

# Schädigung von Fischen in Turbinenanlagen

Schriftenreihe, Heft 12/2012



Untersuchung zu Schädigungen  
abwandernder Smolts des  
Atlantischen Lachses (*Salmo salar*) nach  
Passage der Francis-Turbine einer kleinen  
Wasserkraftanlage  
am Beispiel der WKA Prossen (Lachsbach)

Master-Arbeit im Studiengang  
Fishery Science and Aquaculture  
an der  
Humboldt-Universität zu Berlin  
Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät

vorgelegt von:  
Mario Matk

1. Betreuer: Dr. Gert Füllner, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
2. Betreuer: Prof. Dr. Frank Kirschbaum, Humboldt-Universität zu Berlin

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Literaturrecherche</b> .....	<b>9</b>
2.1	Biologie und Historie des Atlantischen Lachses ( <i>Salmo salar</i> ) .....	9
2.2	Für die Untersuchung relevante Auszüge zur Biologie des Atlantischen Lachses ( <i>Salmo salar</i> ) .....	9
2.3	Fischökologische Aspekte der Smoltabwanderung .....	11
2.4	Wiederansiedlungsprogramm „Elblachs 2000“ .....	12
2.5	Wasserkraftanlagen .....	12
2.5.1	Die Entwicklung der Francis-Turbine .....	13
2.5.2	Wasserkraftnutzung vs. Wasserkraftwerk Prossen .....	14
2.5.2.1	Turbinierung .....	14
2.6	Fischökologische Bedeutung der Turbinierung .....	15
2.6.1	Mortalität durch die Turbinenpassage .....	15
2.6.1.1	Fischschäden durch Turbinen – Einflussgrößen und Verletzungsarten .....	15
2.6.2	Einfluss der Fischlänge auf die turbinenbedingte Mortalität .....	16
2.6.3	Sekundäre Mortalität nach der Turbinenpassage .....	16
2.7	Fischschutz (Schadensminimierung) an Turbinen für abwandernde Fische .....	16
2.7.1	Konstruktive und operationale Maßnahmen zur Vermeidung von turbinenbedingten Fischschäden .....	17
2.8	Mortalitäten an der Fischschutzeinrichtung Rechen .....	17
2.9	Der Fischabstieg .....	18
2.10	Röntgen und Röntgendiagnostik .....	18
2.10.1	Beispiele für die Röntgendiagnostik bei Fischen .....	19
2.11	Elektrofischerei und ihre möglichen Schädigungen von Fischen .....	19
<b>3</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	<b>20</b>
3.1	Untersuchungsgebiet .....	20
3.2	Untersuchungsort – WKA Prossen .....	21
3.3	Versuchsaufbau bzw. -anordnung .....	22
3.4	Versuchsablauf und Versuchsdauer .....	23
3.5	Elektrofischerei .....	24
3.6	Hälterungseinrichtung .....	24
3.7	Wassertemperaturmessung .....	24
3.8	Röntgen .....	24
3.8.1	Die Auswahl der „Röntgenfische“ .....	24
3.8.2	Die Röntgenographie .....	24
3.9	Gewebeuntersuchung .....	25
3.10	Pegelwerte Porsdorf 1 .....	25
3.11	Auswertung und Darstellung .....	25
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>26</b>
4.1	Fangstatistik und abiotische Einflussgrößen .....	26
4.1.1	Fang von anderen Fischarten – Beifänge .....	29
4.2	Verletzungstypen .....	30
4.3	Röntgenaufnahmen – Wirbelsäulenverletzungen .....	31
4.3.1	Röntgen – Gesamtangaben .....	31
4.4	Gewebeuntersuchungen .....	35
4.4.1	Schwimmbase .....	35
4.5	Weitere Ergebnisse .....	35
4.5.1	Elektrofischfang .....	35
4.5.2	Durchflussmenge .....	35
4.5.3	Hydrologische Kennwerte .....	36
4.5.4	Schutzstatus der erfassten Fischarten .....	36

<b>5</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>38</b>
5.1	Die Fangeffektivität des Hamens .....	38
5.2	Die Zahl der abwandernden Smolts.....	38
5.3	Das Elektrofischen .....	39
5.4	Die Längenhäufigkeit .....	39
5.5	Die Abwanderungszeit .....	40
5.6	Die Wanderungsaktivität der Lachssmolts .....	41
5.6.1	Fotoperiodik .....	41
5.6.2	Abwanderungsverlauf, Verlauf der mittleren Durchflussmenge, Wassertemperatur .....	41
5.6.3	Die Mondphase.....	41
5.7	Abwanderungswege .....	42
5.8	Der Stabrechen.....	42
5.9	Schädlichkeit der Francis-Turbine in Bezug auf die Abflussmenge .....	43
5.9.1	Der Anstellwinkel .....	43
5.10	Mortalitäten .....	43
5.10.1	Gewebeverletzungen vs. Mortalität.....	44
5.10.1.1	Verletzungen der Haut .....	44
5.10.1.2	Verletzungen der inneren Gewebe und Organe.....	45
5.10.2	Wirbelsäulenverkrümmungen vs. Mortalität .....	45
5.11	Die Schwimmblasenverlagerung.....	48
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>51</b>
<b>Literatur</b>	.....	<b>53</b>
<b>Anhang 1</b>	.....	<b>57</b>
<b>Anhang 2</b>	.....	<b>67</b>

## Abbildungsverzeichnis

2.1	Schematische Darstellung einer Wasserkraftanlage	13
2.2	Schematische Darstellung einer Francis-Turbine	13
3.1	Lachsbach (rot gekennzeichnet) mit Mündung in der Elbe	20
3.2	Skizze: Untersuchungsort - Lachsbach mit Ausleitung und Wasserkraftanlage	21
4.1	Übersicht der im Untersuchungszeitraum gefangenen Lachssmolts	26
4.2	Übersicht der Smoltgrößenklassen dargestellt durch ein Längenfrequenzhistogramm mit drei Modal-längen	27
4.3	Übersicht der Gesamtfangzahl an Lachssmolts; untergliedert in morgendliche und abendliche Leerun-gen des Hamens	27
4.4	Verlauf der Fangzahlen an Lachssmolts über den Versuchszeitraum	28
4.5	Darstellung der Längen-Massen Regression	28
4.6	Anzahl der sonstigen im Untersuchungszeitraum gefangenen Fischarten	29
4.7	Darstellung der Tageslängenentwicklung gegenüber dem Fangzahlverlauf an Lachssmolts im Unter-suchungszeitraum	29
4.8	Gegenüberstellung der Verläufe der Fangzahl und Wassertemperatur im Untersuchungszeitraum	30
4.9A	Gegenüberstellung der Verläufe der mittleren Abflüsse und der Smoltfänge im Untersuchungszeitraum	62
4.10	Relativer Anteil der an Wirbelsäulenverkrümmungen beteiligten Wirbelkörper (Rot markiert: Wirbel die zu über 50 % Verkrümmungen betroffen waren; orange: zu 21 % bis 49 % und gelb: zu < 20 % betref-fen)	32
4.11	Aufstellung der mittleren Tagesabflüsse im Zeitraum 01. April-31. Mai 2010 am Pegel Porschdorf 1	35

## Bildverzeichnis

3.1	Streichwehr mit Schlauchaufsatz oberhalb der WKA und Beginn des Anstaukanals	22
3.2	Ansicht des gespannten Hamens bei abgeschalteter Turbine vom Steertpfahl aus	23
4.1	Röntgenaufnahme im dorso-ventralen Strahlengang vom 10.05.2010 mit sechs Smolts	33
3.2A	Hamen von schräg rechts	58
3.3A	Hamen bei laufender Turbine	58
3.4A	Kunststoffbehälter mit Belüftung zur Hälterung der Lachssmolts	59
4.2	Röntgenaufnahme im latero-lateralen Strahlengang vom 10.05.2010 mit sechs Smolts	34
4.3A-4.7A	Smolts mit Schuppenverlusten	60
1.1A2	Lachssmolt 1-5: latero-laterale (ll) Ansicht, angeliefert und geröntgt am 03.05.2010, digitalisiert	67
1.2A2	Lachssmolt 1-5: dorso-ventrale (dv) Ansicht, angeliefert und geröntgt am 03.05.2010, digitalisiert	68
2.1A2	Lachssmolt 6-10: ll Ansicht, angeliefert und geröntgt am 03.05.2010, digitalisiert	69
2.2A2	Lachssmolt 6-10: dv Ansicht, angeliefert und geröntgt am 03.05.2010, digitalisiert	70
3.1A2	Lachssmolt 11-15: ll Ansicht, angeliefert und geröntgt am 03.05.2010, digitalisiert	71
3.2A2	Lachssmolt 11-15: dv Ansicht, angeliefert und geröntgt am 03.05.2010, digitalisiert	72
4.1A2	Lachssmolt 1-3: ll Ansicht, angeliefert und geröntgt am 10.05.2010, digitalisiert	73
4.2A2	Lachssmolt 1-3: dv Ansicht, angeliefert und geröntgt am 10.05.2010, digitalisiert	74
5.1A2	Lachssmolt 4-10: ll Ansicht, angeliefert und geröntgt am 10.05.2010, digitalisiert	75
5.2A2	Lachssmolt 4-10: dv Ansicht, angeliefert und geröntgt am 10.05.2010, digitalisiert	76
6.1A2	Lachssmolt 11- 16: ll Ansicht, angeliefert und geröntgt am 10.05.2010, digitalisiert	77
6.2A2	Lachssmolt 11-16: dv Ansicht, angeliefert und geröntgt am 10.05.2010, digitalisiert	78
7.1A2	Lachssmolt 17-23: ll Ansicht, angeliefert und geröntgt am 10.05.2010, digitalisiert	79
7.2A2	Lachssmolt 17-23: dv Ansicht, angeliefert und geröntgt am 10.05.2010, digitalisiert	80
8.1A2	Lachssmolt 24-29: ll Ansicht, angeliefert und geröntgt am 10.05.2010, digitalisiert	81
8.2A2	Lachssmolt 24-29: dv Ansicht, angeliefert und geröntgt am 10.05.2010, digitalisiert	82

## Tabellenverzeichnis

2.1	Unterscheidungsmerkmale zwischen <i>Salmo salar</i> und <i>Salmo trutta</i> nach SCHMIDT (1996) u. a. aus FÜLLNER 2003	10
4.1A	Pegel Porschdorf	64
4.2	Übersicht über die Abflusshauptwerte am Pegel Porschdorf 1	36
4.3A	Übersicht über die in der Polenz gefangenen Fischarten	65
4.4	Schutzstatus der erfassten Fischarten	37
4.5A	Lachsbrutbesatz des Lachsbaches mit Sebnitz und Polenz von 1995 bis 2010	66

# 1 Einleitung

Der Atlantische Lachs (*Salmo salar*) war eine auch in Deutschland ursprünglich heimische Fischart. Mit der Industrialisierung wurden die Flüsse mehr und mehr verbaut. Besonders der Ausbau für den Schiffsverkehr und die damit einhergehende Degradierung der Flusslandschaft sowie der Bau von Wehren und Wasserkraftanlagen zur Energiegewinnung schädigten den Lebensraum des Lachses. Als Folge sank die Durchwanderbarkeit für Fische, die auch als Fließgewässerkontinuum bezeichnet wird, drastisch. Die Einleitung von Industrieabwässern führte weiterhin zu einer extremen Verschlechterung der Wasserqualität. Diese ist besonders wichtig für das Heranreifen der Eier und das Aufwachsen der Lachsbrütlinge. Die Gewässerverbauung ermöglichte es schlussendlich den adulten Laichfischen nicht mehr, ihre Laichplätze im Gewässeroberlauf zu erreichen. Folglich sanken die Laicherbestände trotz gleichbleibendem Fischereidruck. Anfang bis Mitte des 20. Jahrhunderts verschwand der Atlantische Lachs aus Deutschland. Auch am Lachsbach konnte bereits 1830 ein deutlicher Rückgang des Lachsfanges beobachtet werden. Der letzte Lachs wurde dort im Jahre 1930 am Porschdorfer Wehr gefangen (GRAF 1979 aus FÜLLNER et al. 2003).

Im Rahmen des Wiedereinbürgerungsprogramms „Elblachs 2000“ wurde in Sachsen seit 1995 der Atlantische Lachs u. a. durch Besatzmaßnahmen im Lachsbachsystem wieder eingeführt. Querbauwerke wie das betrachtete Flusslaufkraftwerk Prossen stellen ohne Fischwanderungshilfen ein unüberwindbares Hindernis für anadrome sowie katadrome Fischarten dar. Fischaufstiegsanlagen sind dabei für den Fischabstieg nahezu unbedeutend, weil durch die geringe Wassermenge nur wenige bzw. gar keine Fische diese Anlagen finden. Weil die gesamte Population eines Jahrganges bei der Abwanderung die Wasserkraftanlage (WKA) passiert, kommt es mitunter zu dramatischen Dezimierungen. Besonders bei mehreren Wasserkraftanlagen addieren sich die Verluste schnell. Dies kann sich nachhaltig negativ auf die Entwicklung der gesamten Population auswirken und ganze Bestände bedrohen.

Bis heute ist grundsätzlich an allen Gewässern, in denen flussabwärts wandernde Fische Wasserkraftanlagen passieren müssen, mit Schädigungen der Fische zu rechnen. Art und Ausmaß der Verletzungen sind hierbei von den jeweiligen Standortbedingungen abhängig und können stark variieren. Es treten vor allem Schädigungen bei der Überwindung von Stauanlagen, an Wasserentnahmebauwerken und Rechen sowie bei der Passage von Turbinen auf (ATV-DVWK 2004). Das höchste Mortalitätsrisiko bei der Fischabwanderung besteht bei der Turbinenpassage. Müssen Lachse nicht durch die Turbinen einer Wasserkraftanlage ins Meer ziehen, steigen ihre Überlebenschancen erheblich.

Ziel dieser Arbeit ist es, am Beispiel der Kleinwasserkraftanlage Prossen herauszufinden, inwieweit abwandernde Lachssmolts (*Salmo salar*) geschädigt werden. Dazu wurden entsprechende Feld- und Laboruntersuchungen durchgeführt. Als Diagnoseverfahren sollen dabei die Röntgenographie und Gewebeuntersuchungen dienen. Röntgenbilder können aufzeigen inwieweit das Skelett von Lachssmolts nach der Turbinenpassage möglicherweise Schaden genommen bzw. sich zur Normallage verändert hat. Sie ermöglichen es dabei insbesondere die natürliche Lage des Skeletts und bestimmter innerer Organe sichtbar zu machen. Die möglicherweise auftretenden inneren Verletzungen können durch die Gewebeuntersuchungen erkannt und näher differenziert werden.

## 2 Literaturrecherche

### 2.1 Biologie und Historie des Atlantischen Lachses (*Salmo salar*)

Der Atlantische Lachs (*Salmo salar*) ist im nördlichen Teil des Atlantischen Ozeans beheimatet. Sein Vorkommen erstreckt sich im Osten bis zum Kara-Fluss in Russland, im Süden bis zum Duero-Fluss in Portugal und im Westen von Grönland bis Kap Cod bei Boston (USA) (STRUCK et al. 1968). Er gehört zu den anadromen Fischarten. Von Herbst bis Winter jeden Jahres steigen adulte Lachse aus dem Meer zu ihren Laichgebieten in den Flüssen auf, um dort abzulaichen. Die Eier werden an geeigneten Stellen der Äschenregion in den Kies des Flussbettes abgegeben. Daher wird der Lachs auch als Kieslaicher bezeichnet. Nach dem Abilaichen sterben die meisten adulten Lachse. Einige jedoch überleben und kehren wieder ins Meer zurück, um im nächsten Jahr wieder aufzusteigen. Die Junglachse schlüpfen im Gewässergrund und wachsen in ein bis zwei Jahren zu sogenannten „Smolts“ heran. Diese Smolts verfärben sich silbrig und wandern im Frühjahr ins Meer ab. Hier verbleiben sie bis zur Geschlechtsreife, die sie in Abhängigkeit vom Ernährungszustand nach einem bis vier, spätestens nach sechs Jahren erreichen. Meist steigen sie aber nach zwei bis drei Jahren im Meer wieder in die Oberläufe ihrer Geburtsflüsse auf, um dort abzulaichen.

Schon 3000 v. Chr. verlegten die Ägypter den Fluss Nil durch einen 400 m langen und 15 m hohen Natursteindamm. So wurde der Nil von einem in das andere Tal umgeleitet, um die Stadt Memphis vor Überschwemmungen zu schützen. In Mitteleuropa kam es erst im 14. Jahrhundert zu den ersten baulichen Maßnahmen. Der systematische Ausbau der Elbe fand zwischen 1821 und 1905 statt, wobei die Elbe begradigt und ausgebaut wurde. Die Gründe der Fließgewässerverbauung lagen in erster Linie in der Nutzbarmachung der Elbe für den Schiffsverkehr. So wurden die Uferführung begradigt sowie Staustufen und Schleusen angelegt. Weiterhin sollte durch den Bau von Buhnen und Dämmen die Gewässerausdehnung begrenzt, d. h. der Fluss in seinem Bett gehalten und eingeengt werden (SCHÖNBORN 1992; HÜTTE 2000).

Im Jahre 1902 betrug der Lachsfang in der Elbe noch 2.200 Stück (STRUCK et al. 1968). Bis zum Jahre 1920 wurden immer weniger Lachse gefangen, sodass in den darauf folgenden Jahren nur noch einige wenige Exemplare nachgewiesen werden konnten. Eine Ausnahme bildete das Jahr 1932, als noch einmal 100 Lachse gefangen wurden. Gründe für das Verschwinden liegen vor allem in der Abnahme der zur Verfügung stehenden Laichgebiete. So wurden die Lachse durch Stauwehre am Aufstieg gehindert und konnten ihre Laichgewässer nicht mehr erreichen. Die Wasserqualität wurde durch häusliche wie industrielle Zuleitungen drastisch gesenkt. Dem Lachs standen so immer weniger Laichplätze zu Verfügung (STRUCK et al. 1968).

### 2.2 Für die Untersuchung relevante Auszüge zur Biologie des Atlantischen Lachses (*Salmo salar*)

Der Atlantische Lachs (*Salmo salar*) wird den Knochenfischen (Osteichthyes) zugeordnet. Im Gegensatz zu den Knorpelfischen (z. B. Haie und Rochen) haben sie ein teilweise oder vollständig verknöchertes **Skelett**. Das Skelett wird in Kopf-, Achsen- und Flossenskelett unterteilt, zusätzlich sind intermuskuläre Stützgräten vorhanden. Die Wirbelsäule und die mit ihr verbundenen blind endenden Knochen (Rippen) stellen das Achsenskelett dar. Im Gegensatz zum Säugetier findet sich keine Differenzierung der einzelnen Wirbel (Halswirbelsäule, Kreuzbein). Der Schädel kann nicht wie z. B. beim Menschen über die Halswirbel Atlas und Axis gedreht werden. Im Bereich des Rumpfes tragen alle Wirbel Rippen. Auf der Rückenseite der Wirbel finden sich die sogenannten Dornfortsätze, die sich auf der ganzen Länge erstrecken und im Bereich des Schwanzes auch auf der Unterseite vorhanden sind. Diese bilden im Bereich der Rückenflosse die Flossenstrahlen. Neben der Stützfunktion hat die Wirbelsäule die Aufgabe, das Rückenmark sowie die Nerven und Blutgefäße zu schützen. Speziell der Atlantische Lachs (*Salmo salar*) weist hier als Charakteristikum 59 bis 61 Wirbelkörper auf. Die Tabelle 2.1 zeigt dies im Vergleich mit der Bachforelle (*Salmo trutta*).

**Tabelle 2.1: Unterscheidungsmerkmale zwischen *Salmo salar* und *Salmo trutta* (nach SCHMIDT 1996 u. a. aus FÜLLNER et al. 2003)**

Merkmal	Lachs ( <i>Salmo salar</i> )	Bach- bzw. Meerforelle ( <i>Salmo trutta</i> )
Maul	Kürzer, reicht bis höchstens zum hinteren Ende des Auges	Tiefer gespalten, reicht über das hintere Ende des Auges hinaus
Schuppen auf der Seitenlinie	120-130	120-130
Schuppenreihen zwischen Fettflosse und Seitenlinie	11-15	13-19
Kiemenreusenzähne	15-20	14-17
Wirbelzahl	59-61	56-61
Kiemenbogen	Reusendornen gleichmäßig lang	Reusendornen kurz und dicker, oberste und unterste Reusendornen knotenförmig verkümmert
Schwanzstiel	lang und dünn	breit und dick
Kiemendeckel	Die Kiemendeckelknochen <i>Operculum</i> , <i>Suboperculum</i> und <i>Praeoperculum</i> stoßen nicht an einem Punkt zusammen	Die Kiemendeckelknochen <i>Operculum</i> , <i>Suboperculum</i> und <i>Praeoperculum</i> stoßen an einem Punkt zusammen
Kiemendeckelzeichnung	1-4 schwarze Punkte	mehr als 4 schwarze Punkte
Zeichnung	Rote Punkte, immer ohne weißen Hof	Rote Punkte, stets mit weißem Hof
Schwanzflosse	2 Hartstrahlen, Abschluss konkav	Keine Hartstrahlen, Abschluss gerade
Parrs		
Parrstreifen	10-12	9-10
Schwanzflosse	Tief gegabelt, Enden spitz	Flach gegabelt, Enden abgerundet
Brustflossen	Groß, bis über den Ansatz der Rückenflosse reichend	kürzer
Fettflosse	Grau gefärbt	Orange bis rötlich gefärbt

Das **Nervensystem** lässt sich in ein zentrales und ein peripheres Nervensystem einteilen. Das zentrale Nervensystem (ZNS) besteht aus Gehirn und Rückenmark, wobei der Aufbau grundlegend dem von Säugetieren entspricht, das Gehirn aber deutlich einfacher strukturiert ist (z. B. keine Großhirnrinde) und andere Schwerpunkte aufweist, die an das Leben der Fische angepasst sind. Gehirn und Rückenmark sind durch die Meningen (Hirn-, Rückenmarkshaut) umschlossen. Die Räume um und zwischen den Meningen sind flüssigkeitsgefüllt (Cerebrospinalflüssigkeit). Das periphere Nervensystem ist nicht wie das ZNS von knöchernen Strukturen geschützt und besteht aus sogenannten Spinalnerven, welche aus dem Rückenmark hervorgehen. Sie lassen sich in einen motorisch-sensorischen und einen vegetativen Bereich unterteilen. Die motorischen Nerven sind für die willkürliche Bewegung und die vegetativen Nerven für die inneren Organe zuständig wie zum Beispiel das Herz, die glatte Muskulatur der Blutgefäße und die Chromatophoren. Aufgrund der Funktion als Stütze des Körpers und als Schutz des Rückenmarks haben Verletzungen oder Veränderungen im Bereich der Wirbelsäule oft gravierende Auswirkungen auf das Leben eines Fisches mit zum Teil schweren Schäden und Beeinträchtigungen (HOEDT et al. 2010).

Die **Haut** der Fische erfüllt mehrere Funktionen. Sie schützt vor mechanischen Verletzungen wie auch gegen Parasiten durch Schleimabsonderung. Durch die Schleimschicht auf der Haut wird auch der Reibungswiderstand beim Schwimmen reduziert. Weiterhin ist sie eine osmotische Barriere, tarnt den Fisch in seiner jeweiligen Umwelt und besitzt weitere Sinnesorgane wie

z. B. das Seitenlinienorgan. Die Haut besteht aus zwei Schichten, der Epidermis (Oberhaut) und dem darunterliegenden Corium (Lederhaut). Die Epidermis enthält eine Vielzahl an Drüsen, deren Sekret den gesamten Fischkörper überziehen. Schuppen sind ein weiterer Bestandteil der Lederhaut und bestehen u. a. aus Knochen, Dentin und Cosmin. Es gibt mehrere Typen von Schuppen. Beim Atlantischen Lachs sind es sogenannte Cycloidschuppen (Rundschuppen), die dem Körper weiteren Schutz bieten. Rundschuppen, wie der Name schon sagt, sind an dem aus der Lederhaut herausragenden Rand rund. Wenn es zu Verletzungen der Haut als äußeres Organ kommt, kann diese ihre Funktionen nicht mehr ausführen. Bei sogenannten Sekundärinfektionen können Keime in den Körper ungehindert eindringen, weil die Haut ihre Schutzfunktion als Barriere gegen diese teilweise oder ganz verloren hat (GERSTMEIER et al. 1998).

## 2.3 Fischökologische Aspekte der Smoltabwanderung

Die **Durchgängigkeit** unserer Fließgewässer stellt eine bedeutende Grundlage für die Laichwanderungen von *Salmo salar* dar. Denn durch eine Vielzahl von Wanderhindernissen wie Wehre oder Stauanlagen mit und ohne Wasserkraftnutzung wird die Wanderung des Atlantischen Lachses unterbrochen. Die Durchgängigkeit und somit der Erhalt des Fließgewässerkontinuums stellen die Grundlage für die stromaufwärts wie auch stromabwärts gerichteten Wanderungen dar.

Das **Abwanderungsstadium** beim Atlantischen Lachs ist der Smolt. Dabei wird der Übergang vom Süßwasserstadium (Parr) der Junglachse zum Smolt als Smoltifizierung bezeichnet. Diese Metamorphose führt morphologische und physiologische Veränderungen mit sich. Sie wird durch hormonelle Prozesse gesteuert, die wiederum dem Einfluss von exogenen Umweltfaktoren unterliegen. Eine besondere Bedeutung kommt dabei dem Hormon Melatonin zu, das nur bei Nacht synthetisiert wird. So hat die Fotoperiode einen entscheidenden Einfluss (THORPE 1984). Die zunehmende Tageslänge im Frühjahr steuert die Smoltifizierung und ist somit der Zeitgeber für die Abwanderung ins Meer (JONSSON et al. 1990). Die Synchronisation für den Abwanderungszeitpunkt erfolgt über Monate im Gewässer. Je nach Witterungsbedingungen kann dieser Abwanderungszeitpunkt von Jahr zu Jahr variieren. Komplexe Zusammenhänge machen es daher schwer, den Abwanderungszeitpunkt vorauszusagen. Eine besondere Bedeutung als Zeitgeber der Abwanderung haben aber vor allem Abfluss, Temperatur und Mondphase (SCHWEVERS 1998). Die Smoltifizierung setzt in mitteleuropäischen Flüssen in der Regel im Alter von ein bis drei Jahren ein und richtet sich hauptsächlich nach der erreichten Totallänge. Sie passt die Osmoregulation des Lachses für Salzwasser an und macht damit ein Leben im Meer erst möglich.

Als primärer Auslöser sind erhöhte **Abflüsse** und damit steigende Pegel zu sehen. Sie synchronisieren die Abwanderung, erleichtern den Schwimmvorgang und bieten mehr Schutz vor Prädatoren (JONSSON 1991).

Schwellenwerte für die absolute **Wassertemperatur**, bei der die Abwanderung ausgelöst wird, sind nicht pauschal definierbar. Oft ist eine Kombination aus Erwärmung im Frühjahr und der aktuellen Wassertemperatur entscheidend. Temperaturen scheinen oft nur eine Rolle bei der Abwanderung zu spielen, wenn Hochwässer weitestgehend ausblieben (JONSSON 1991).

Auch bei Lachssmolts wird die größte Wanderungsaktivität mit Neumond assoziiert, während bei Vollmond nur wenige Smolts abwandern (LEATHERLAND et al. 1992). Die Aussagen verschiedener Autoren sind aber sehr widersprüchlich, wobei der **lunare Rhythmus** bei Aalen sehr wohl festgestellt wurde.

Um eine erfolgreiche Reproduktion zu gewährleisten, ist eine Koordination der Laichwanderung notwendig. Sie wird durch **endogene Rhythmen**, die durch abiotische Umweltparameter synchronisiert und gesteuert werden, geregelt. Auch die Abwanderung der Smolts ist in der Regel exakt terminiert und synchronisiert, sodass der überwiegende Teil der Smoltpopulation innerhalb eines kurzen Zeitraumes abwandert. INGENDAHL (1993) gibt für den Gave d'Aspe einen Zeitraum von 14 Tagen an, in dem 77 % der Lachssmolts abwanderten. In der Lahn beschränkte sich die Smoltabwanderung auf 32 Tage, wobei die meisten innerhalb der ersten Woche abwanderten (SCHWEVERS & ADAM 1997). Die Abwanderung setzt meist Ende März ein, erreicht im April ihren Höhepunkt und ist Anfang bis Mitte Mai beendet. Je nach geografischer Lage und den jeweiligen standortbedingten abiotischen Faktoren kann dies von Fluss zu Fluss variieren.

Abwandernde Fische orientieren sich negativ rheotaktisch primär an der Hauptströmung des Gewässers (HESTHAGEN & GARNAS 1986). Die Wanderung erfolgt dementsprechend am Ort der höchsten Strömungsgeschwindigkeit – in der Mitte des Flusses. Lachssmolts wandern bevorzugt oberflächennah ab und können so Bypässe nutzen. Sie wandern überwiegend nachts und widerstehen tagsüber der Strömung. Die Abwanderung besteht hierbei aus aktivem und passivem Verhalten (JONSSON et al. 1990).

## 2.4 Wiederansiedlungsprogramm „Elblachs 2000“

Infolge der deutschen Wiedervereinigung 1990 kam es zu Gesetzesänderungen, durch die auch die Gewässer mehr Schutz erfuhren. Dies wirkte sich auch positiv auf die Gewässergüte der Elbe aus. Der Hauptgrund der Gewässergüteverbesserung in den 1990er-Jahren ist aber in der verminderten Einleitung von Abwässern in die Elbe zu sehen. Nach der Wende musste eine Vielzahl DDR-Betriebe schließen, weil sie stark veraltet und nicht konkurrenzfähig waren. Die Einleitung von Abwässern in die Elbe aus den Gebieten der DDR reduzierte sich und die Gewässerverschmutzung nahm ab. Dadurch ist auch eine Zunahme von Kieslaichern wie Barbe (*Barbus barbus*), Quappe (*Lota lota*), Zährte (*Vimba vimba*) und Nase (*Chondrostoma nasus*) zu verzeichnen. Die Wasserqualität der Elbe verbesserte sich stetig. Auch der Lachs nutzt die Elbe wieder als Wanderweg zu seinen Laichgebieten in den Oberläufen.

Die Elbe ist im Vergleich zu den Flüssen Westdeutschlands weitaus weniger verbaut. Durch den geringen Grad der Gewässerverbauung und die reduzierte Gewässerverschmutzung wurden beste Voraussetzungen geschaffen, um in Sachsen mit der Wiederansiedlung des Atlantischen Lachses zu beginnen. Im Auftrag des Arbeitskreises „Elbefischerei“ erarbeitete die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft eine Konzeption für die Wiedereinbürgerung des Atlantischen Lachses in Sachsen. Das 1993 erarbeitete Programm „Elblachs 2000“ knüpft an Vorschläge und Empfehlungen der Internationalen Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE) für die Revitalisierung des Flusses an.

Für in Sachsen besonders geeignet erwies sich nach Gewässeruntersuchungen das Lachsbachsystem (FÜLLNER & PFEIFER mdl. Mitteilung). Der Lachs ist aufgrund seiner hohen Umweltansprüche ein Indikator für ein intaktes Fließgewässer. Weil der Atlantische Lachs in Mitteleuropa ausgestorben war, kam nur ein Besatzprogramm in Frage (FÜLLNER et al. 2003). Dieses wurde im Frühjahr 1995 begonnen, indem der erste Besatz in Form von geschlüpfter Lachsbrut in das Lachsbachsystem ausgebracht wurde. Drei Jahre später, im Herbst 1998, konnten die ersten Wiederkehrer im Lachsbach gefangen werden. Bis heute werden eingeführte Lachseier aus Schweden sowie auch abgestreifte Eier von den im Lachsbach aufsteigenden Lachsen erbrütet und anschließend im Frühjahr in der Polenz und Sebnitz ausgesetzt.

„Ziel des Programms ‚Elblachs 2000‘ ist der Aufbau eines stabilen, sich selbst reproduzierenden, nutzbaren Lachsbestands in der Elbe und ausgewählten Nebengewässern.“ (FÜLLNER et al. 2003).

## 2.5 Wasserkraftanlagen

Wasserkraft oder Hydroenergie ist eine seit jeher genutzte Form zur Bereitstellung von Energie. War es in der Vergangenheit eher mechanischer Art, so wird heute fast ausschließlich elektrische Energie in Wasserkraftwerken generiert. Grundsätzlich gilt das Prinzip: Im Schwerfeld der Erdanziehungskraft wird potenzielle Energie des Wassers in kinetische Energie des Massestroms umgewandelt. Durch den weiteren Kontakt mit einer Turbinenschaufel dreht diese sich und ein Teil der kinetischen Energie des Wassers wird auf die Turbinenwelle übertragen. Die Drehung der Turbinenwelle dient als mechanische Leistung für den Antrieb des Generators. Dieser wandelt letztlich die Rotationsenergie um und erzeugt somit elektrische Energie.

Wasserkraftwerke werden seit vielen Jahrhunderten genutzt und die ältesten Turbinen zur Elektrizitätsproduktion wurden vor über 100 Jahren installiert. Seit den 1990er-Jahren erleben Wasserkraftwerke eine kleine Renaissance als „Regenerative Energien“; nicht zuletzt auch durch staatliche Förderung. Das Potenzial jedoch liegt vielerorts in kleinen Anwendungen als Mikro- oder Kleinstwasserkraftwerke (< 100 kW) und Kleinwasserkraftwerke (0 bis 1 MW). Diese Art der Energiegewinnung wird oft eingesetzt, um zur Deckung von Grund- und Spitzenlast beizutragen.

Eine weitere Einteilung kann in Abhängigkeit der Fallhöhe gemacht werden. Es wird unterschieden zwischen Hochdruckanlagen (Fallhöhe > 100 m), Mitteldruckanlagen (Fallhöhe 15 m bis 100 m) und Niederdruckanlagen (bis 15 m).

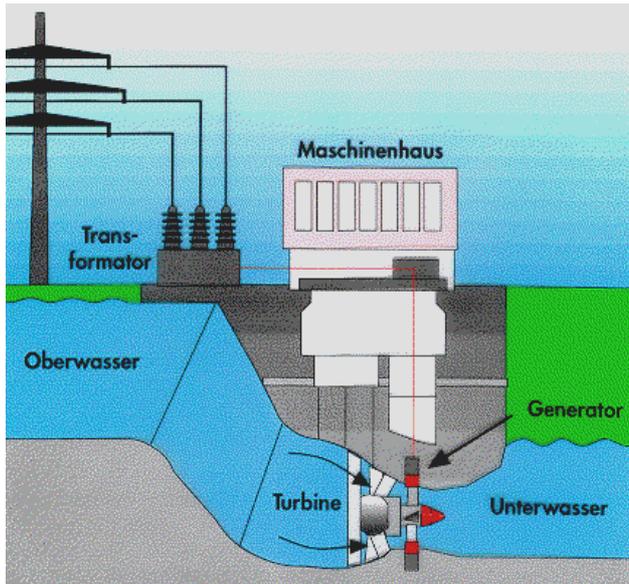


Abbildung 2.1: Schematische Darstellung einer Wasserkraftanlage (Quelle: [www.german-profec.de](http://www.german-profec.de))

### 2.5.1 Die Entwicklung der Francis-Turbine

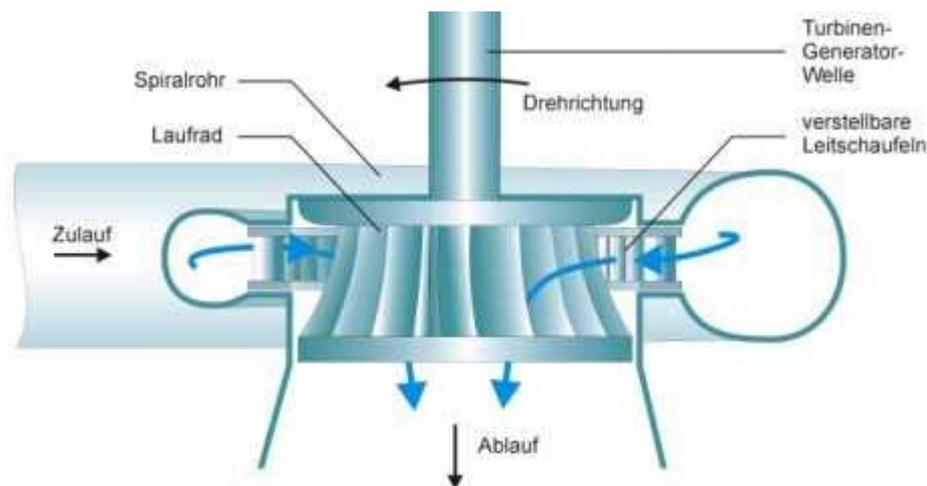


Abbildung 2.2: Schematische Darstellung einer Francis-Turbine (Quelle: <http://www.energieoute.de>)

Die Fourneyron-Turbine war die erste funktionsfähige Wasserturbine. Sie wurde vom Franzosen Benoit Fourneyron im Jahre 1826 entwickelt. Bei dieser Turbine floss das Wasser entlang der Achse auf einen Leitapparat und wurde dann auf ein außen liegendes Laufrad gelenkt. Ein Nachteil von Fourneyrons Reaktions-Turbine war, dass sich beim Übergang des Wassers aus dem innen angebrachten Leitwerk in die Schaufeln des Laufrads Turbulenzen ergaben, die bremsende Wirkung hatten. 1837 kam der Deutsche Karl Anton Henschel auf die Idee, dies zu vermeiden, indem er die Leitschaufeln oberhalb des Laufrads statt in dessen Zentrum anordnete. Weitere Verbesserungen ersannen der Amerikaner Samuel B. Howd, der 1838 das Laufrad ins Innere des Leitwerks verlegte, sowie der Engländer James Thomson, der verstellbare Leitschaufeln und gekrümmte Laufradschaufeln einführte.

1849 konstruierte der angloamerikanische Ingenieur James B. Francis auf diesen physikalischen Grundlagen eine technisch verbesserte Turbine, die einen Wirkungsgrad von rund 90 % erreichte. Von ihm hat die Francis-Turbine ihren Namen, die heute die verbreitetste und am universellsten verwendbare Turbinenart ist. Die größten Francis-Laufräder erreichen ein Gussgewicht von ca. 150 t und Leistungen von über 700 MW.

Die Francis-Turbine kann auch als Pumpe arbeiten. Dies macht man sich in den Pumpspeicher-Kraftwerken zunutze, wo eine Francis-Turbine und der Generator häufig zur sogenannten Pumpturbine vereinigt sind, die sich wahlweise auf (Strom verbrauchenden) Pumpbetrieb oder (Strom erzeugenden) Generatorbetrieb umstellen lässt.

### 2.5.2 Wasserkraftnutzung vs. Wasserkraftwerk Prossen

In Wasserkraftwerken wird die Lage- bzw. Bewegungsenergie des Wassers mit Hilfe von Turbinen in Rotationsenergie und anschließend durch Generatoren in elektrische Energie umgewandelt. Die Leistung der Wasserkraftanlage setzt sich aus der Wassermenge  $Q_{\text{nutz}}$  und der Fallhöhe  $h_{\text{nutz}}$  sowie dem Wirkungsgrad der Anlage zusammen. Der Wirkungsgrad gibt dabei an, wie viel Prozent aus der Lage- bzw. Bewegungsenergie des Wassers in elektrische Energie umgewandelt wird. Kleinkraftwerke haben dabei einen Wirkungsgrad von 80 % gegenüber von 90 % bei Großkraftwerken.

Ein Wasserkraftwerk teilt sich in

- den Wasserentnahmebereich, gekennzeichnet durch ein Wehr, welches das Wasser mit oder ohne Speicherung zum Krafthaus leitet,
- das Krafthaus, das sich aus Turbine und Generator zusammensetzt und
- den Rückgabebereich, bei dem das genutzte Wasser wieder dem Gewässersystem zurückgegeben wird.

Aufgrund des sehr geringen Speichervermögens kann die Wasserkraftanlage Prossen am Lachsbach zu den Laufkraftwerken gezählt werden. Genauer gesagt zu den Kanalkraftwerken, weil das zufließende Wasser oberhalb vom Kraftwerk durch ein Wehr aufgestaut und mit einem offenen, künstlichen Gerinne weiter zum unterhalb liegenden Krafthaus geleitet wird. Dies ist nötig, um die erforderliche Fallhöhe zu erreichen. Das Wasser wird über einen Rückgabekanal in den Lachsbach zurückgeleitet.

Mit einer Maximalleistung von 80 kW zählt die WKA Prossen zu den Kleinst- bzw. Picokraftwerken. Es handelt sich dabei um Wasserkraftwerke, die per Definition eine Leistung von  $\leq 300$  kW aufweisen. Bei dieser Art von Kraftwerk bestimmt der jeweilige Zufluss die Fallhöhe, sodass die Maximalleistung des Kraftwerkes erreicht wird, wenn die zufließende Wassermenge gleich der Ausbauwassermenge  $Q_a$  ist. Bei einem Laufkraftwerk steigt die Fallhöhe mit zunehmend geringerem Abfluss, weil der Wasserspiegel im Unterwasser sinkt. Das gleiche gilt umgekehrt bei höherem Abfluss. Für die Leistung entscheidend ist nicht die Fallhöhe, sondern die nutzbare Wassermenge  $Q_{\text{nutz}}$ . Die Turbinen benötigen einen gewissen Mindestzufluss, weil bei Unterschreitung die Anlage abgeschaltet werden muss.

Kanalkraftwerke werden, wie auch das WKA Prossen, bevorzugt in Gewässerschleifen eingebaut, um den Entnahme- und Rückgabekanal möglichst kurz zu halten. Die Gewässerstrecke zwischen dem Entnahmewehr bis hin zur Wiedereinleitung des Wassers ins Flussbett wird als „Restwasserstrecke“ bezeichnet. Weil beim WKA Prossen eine behördlich festgelegte Mindestwassermenge („Dotierwasser“) von 400 l/s vorgeschrieben ist, wird das Entnahmewehr ständig überflutet und die Restwasserstrecke fällt nie trocken (HÜTTE 2000).

#### 2.5.2.1 Turbinierung

Turbinen werden in Gleichdruck- und Überdruckturbinen eingeteilt. Bei Gleichdruckturbinen ist der Druck vor und nach der Turbine dem Atmosphärendruck entsprechend. Dabei wird nur die kinetische Energie (Strömungsenergie) in elektrische Energie umgewandelt. Zu den Überdruckturbinen gehören Kaplan-, Propeller- und Francis-Turbine. Kennzeichnend für diesen Turbinentyp sind die großen Druckunterschiede vor und hinter dem Laufrad bzw. der Turbine. Je nach Fallhöhe und Wassermenge entscheidet sich, welche Turbine zum Einsatz kommt. Francis-Turbinen werden bei Fließgeschwindigkeiten von bis zu 50 m/s verwendet. Das Wasser wird radial zugeführt und dann über die Laufradschaufeln axial ausgeleitet, wobei die Achse der Turbine horizontal oder vertikal ausgerichtet werden kann. Die heutigen verwendeten Turbinen haben einen Wirkungsgrad von ca. 90 %. Die Francis-Turbine wird dabei am häufigsten eingesetzt.

## 2.6 Fischökologische Bedeutung der Turbinierung

Von Verletzungen durch Wasserkraftanlagen sind vor allem flussabwärts wandernde Fischarten wie Aale, Seeforellen, Äschen und Lachse betroffen. Die Fischmortalität ist grundlegend abhängig vom verwendeten Turbinentyp, der Fischart und der Fischlänge. Am fischschädlichsten ist die Pelton-Turbine einzustufen, weil hier der Wasserstrahl mit bis zu 200 m/s auf die Schaufeln der Turbine trifft. Fischarten, die eher eine hochrückige Form wie beispielsweise der Blei (*Abramis brama*), der Karpfen (*Cyprinus carpio*), die Plötze (*Rutilus rutilus*) und/oder eine große Fischlänge wie der Aal (*Anguilla anguilla*) aufweisen, sind am meisten von der schädigenden Wirkung von Turbinen betroffen. Bei Kaplan- und Francis-Turbinen wird die Mortalität bestimmt durch den Abstand der Schaufeln sowie durch die Umdrehungsgeschwindigkeit der Turbine. Besonders für Aale liegen viele Untersuchungen vor (HADDERINGH & BAKKER 1998; BERG 1987).

Bei der Abwanderung von Fischen sind meist jedoch mehrere WKA zu überwinden, sodass sich die einzelnen Mortalitäten an den WKA addieren.

### 2.6.1 Mortalität durch die Turbinenpassage

Seit Ende des 19. Jahrhunderts ist mit der Entwicklung moderner Turbinentypen (Pelton, Kaplan, Francis) das Problem der Schädigung von Fischen bei der Passage von Turbinen bekannt. Infolge von solchen Beobachtungen wurde im preußischen Fischereigesetz vom 30. März 1880 in Artikel V von Kraftwerksbetreibern verlangt, das Eindringen von Fischen in die Turbinen durch Vorrichtungen zu verhindern. Als Folge führte man einen Rechen mit einer lichten Stabrechenweite von 20 mm ein (SCHWEVERS et al. 1997).

Die Schädigungen der Fische sind abhängig von dem Turbinentyp, dem Wirkungsgrad der Turbine, der Umfangsgeschwindigkeit des Laufrades, der Fallhöhe, den Abständen und Spaltmaßen in der Turbine, dem Wasserdruck und der Wassergeschwindigkeit sowie von der Fischlänge (FÜLLNER 1997).

#### 2.6.1.1 Fischschäden durch Turbinen – Einflussgrößen und Verletzungsarten

Bei einem **Anstellwinkel** der Turbinenradschaufeln von kleiner 20° treten die meisten Schädigungen an Fischen gegenüber einem Anstellwinkel von 25 bis 30° auf (BERG 1987).

Je höher die **Drehzahl**, desto höher ist auch die Umdrehungsgeschwindigkeit. Dies hat zur Folge, dass auch die Turbine-Fisch-Berührungen zunehmen und die Anzahl der Verletzungen steigen können. Eine weitere Einflussgröße stellt auch die **Umfangsgeschwindigkeit** dar. Hier kommt zum Ausdruck, dass bei gleicher Drehzahl Laufräder mit kleineren Durchmessern eine höhere Umfangsgeschwindigkeit haben und es dadurch zu mehr Turbine-Fisch-Berührungen kommt.

Auch nehmen die Verletzungen zu, wenn das Wasser nicht in Drehachsenrichtung auf die Turbine auftrifft. Dies ist zum Beispiel bei der Francis-Turbine der Fall, bei der das Wasser umgeleitet wird.

**Durchmesser der Turbine:** Je kleiner die Turbine, umso größer ist die Umdrehungsgeschwindigkeit und damit auch das Verletzungsrisiko für Fische.

CRAMER & OLIGHER (1964) führten die bei Versuchen festgestellten Verletzungen bei einer Francis-Turbine zu 68 % bis 85 % auf mechanische Schädigungen zurück und den Rest auf Druckschädigungen.

Die bei einer simulierten Kavitation erzeugten kollabierenden Gasblasen führten bei 50 % der pazifischen Junglachse zum Tod, wobei es selten zum Platzen der Schwimmblase sowie zu Blutungen in den Augen und Kiemenplättchen kam (MUIR 1959).

INGENDAHL (1993) stellten am Gave d'Aspe Schuppenverluste am Schwanzstiel fest, die er auf den Rechenkontakt zurückführt.

Nach Untersuchungen und Literaturvergleichen geben HÖFER & RIEDMÜLLER (1996) für die Francis-Turbine eine direkte Mortalität zwischen 0 und 90 % (Mittel 33,7 %; Median 29,3 %) an. Die Mortalitätsrate ist im Allgemeinen abhängig von der Fallhöhe, der Höhe des Laufrades relativ zum Unterwasserpegel und die Laufradgeschwindigkeit, wobei es keine Unterschiede zwischen Kaplan- und Francis-Turbine gibt.

### 2.6.2 Einfluss der Fischlänge auf die turbinenbedingte Mortalität

Die turbinenbedingte Mortalität ist im Wesentlichen von der Fischlänge abhängig (LARINIER & DARTIGUELONGUE 1989) und stellt somit einen entscheidenden Faktor für die Gesamtbetrachtung dar. Größere Fische haben eine höhere Wahrscheinlichkeit, von einer Laufradschaufel getroffen oder eingeklemmt zu werden als kleinere Fische. Auch v. RABEN (1957) führt in seinen Berechnungen die Fischlänge als einen Faktor mit an.

Wichtiger noch als die Fischlänge als Parameter für die Mortalität scheint aber das Verhältnis Fischlänge – Abstand der Laufradschaufeln zu sein (LARINIER & DARTIGUELONGUE 1989). So haben kleinere Turbinen engere Spaltmaße und höhere Umdrehungsgeschwindigkeiten als große Turbinen. Daher kann vermutet werden, dass kleinere Turbinen eher zu Verletzungen und höheren Mortalitäten führen als große Turbinen (GLOSS & WAHL 1983).

### 2.6.3 Sekundäre Mortalität nach der Turbinenpassage

Nach der Turbinenpassage können Lachssmolts desorientiert und benommen sein und deshalb leicht zur Beute von Räubern werden. Nach RAYMOND (1979) kann es so bei *Oncorhynchus* spp. und *Salmo trutta* zu einer durch Räuber verursachten Mortalität von bis zu 33 % kommen. Ebenfalls sind Sekundärinfektionen mit *Saprolegnices* nach einer Verletzung der Haut möglich (TRAVADE & LARNIER 1992).

## 2.7 Fischschutz (Schadensminimierung) an Turbinen für abwandernde Fische

Es gibt zwei verschiedene Maßnahmen zur Minimierung von Fischschäden: **Präventive Maßnahmen** – Verhinderung des Eindringens von Fischen in die Turbine und **konstruktive und operationale Maßnahmen** – Schutz der eingedrungenen Fische während der Turbinenpassage.

**Präventive Maßnahmen** werden in vier Gruppen eingeteilt: Verhaltensbarrieren, physikalische Barrieren, Fischsammelsysteme und Fischleitsysteme. Hierbei verhindern die Barrieren lediglich das Eindringen des Fisches selbst in die Turbine. Für die Passage bzw. Überwindung der Turbine reichen diese Maßnahmen allein nicht aus. Hier setzen die Fischsammel- und Fischleitsysteme an. Sie sollen den Fisch nicht nur vor dem Eindringen abhalten, sondern auch die Überwindung der Turbine ermöglichen (HÖFER & RIEDMÜLLER 1996).

**Verhaltensbarrieren** beinhalten die Ausnutzung natürlicher Verhaltensweisen, die die Annäherung der Fische an den Turbineneinlauf verhindern soll. Zu nennen sind u. a. elektrische Felder, Luftblasenvorhänge, Kettenvorhänge, Blitzlicht, Beleuchtung mit Quecksilberdampflampen oder Glühbirnen, Töne, Wasserstrahlvorhänge und visuelle Orientierungshilfen.

**Physikalische Barrieren** stellen ein festes Hindernis dar, welches das aktive wie auch passive Eindringen von Fischen verhindern soll. Hierzu zählen Rechen, Abschirmungen (feststehende Schirme, vertikal umlaufende Schirme, vertikale und horizontale Trommelschirme), Kiesbettfilter, Drahtkäfigfilter und Abspernetze.

**Fischsammelsysteme** sind mechanische Einrichtungen, die aktiv Fische aus dem Gefahren-Konzentrationsbereich entfernen und z. B. in eine Bypassrinne befördern. Dazu gehören u. a. Fischpumpen und vertikal umlaufende Schirme mit Fischtrögen.

**Fischleitsysteme** sind z. B. Bypasseinrichtungen. Hier werden die Fische gezielt durch Barrieren und Strömungen geleitet. Entscheidend dabei ist die Lockströmung, die durch Volumen, Geschwindigkeit und Strömungsmuster charakterisiert wird.

## 2.7.1 Konstruktive und operationale Maßnahmen zur Vermeidung von turbinenbedingten Fischschäden

### Kavitation

Bei Überdruckturbinen, zu denen auch die Francis-Turbine zählt, nimmt zunächst im Oberwasser der Wasserdruck bis zum Laufrad der Turbine zu, um dann auf der Unterseite des Laufrades im Unterwasser steil abzufallen. Im Extremfall tritt das Phänomen der Kavitation auf. Dabei kann der Unterdruck so stark sein, dass im Wasser Dampfblasen entstehen, die nach kurzer Strecke wieder kollabieren. Hierdurch entstehen stark räumlich begrenzte Druckwellen von bis zu mehreren tausend Bar. Diese Druckwellen können den Fisch verletzen oder gar töten.

Kavitation kann aber konstruktiv vermieden werden und tritt daher nicht im normalen Betrieb auf. Zu Druckunterschieden innerhalb von Millisekunden kommt es aber trotzdem noch. Sie reichen aus, um auch bei Physostomen, zu denen Salmoniden gehören, Schäden an der Schwimmblase (Schwimmblasenriss), Blutergüsse und/oder Augenverletzungen hervorzurufen.

### Wirkungsgrad

Im Bereich maximaler Effektivität treten bei Überdruckturbinen die geringsten Schadensraten an Fischen auf. Grund sind dabei die weniger turbulent auftretenden Durchflussverhältnisse, die mäßigen Unterdruckverhältnisse und damit das Ausbleiben der Kavitation.

### Umfangsgeschwindigkeit des Laufrades

Laut HÖFER & RIEDMÜLLER (1996) steht bei Francis-Turbinen die Umfangsgeschwindigkeit des Laufrades im Zusammenhang mit der turbinenbedingten Verletzungsrate. Verletzungsort ist der Spalt zwischen feststehenden Leitrad-schaufeln und den bewegten Laufradschaufeln. Folglich nimmt mit erhöhter Anzahl der Laufradschaufeln auch die Verletzungswahrscheinlichkeit zu.

### Fallhöhe

Die Fallhöhe beeinflusst die Mortalität nur indirekt, weil mit zunehmender Fallhöhe die Umfangsgeschwindigkeit des Laufrades zunimmt. Hier besteht nach HÖFER & RIEDMÜLLER (1996) ein deutlicher Zusammenhang.

### Abstände und Spaltmaße in der Turbine

Bei Francis-Turbinen ist die Quelle der Fischverletzungen der Spalt zwischen Leitschaufeln und Laufradschaufeln. Hier werden Fische gequetscht oder durchtrennt. Meist ist das Maß des Spaltes nicht fest, sondern ändert sich mit der Stellung der Leitschaufeln. Bei maximaler Beaufschlagung ist der Spalt am kleinsten und somit das Verletzungsrisiko am größten.

## 2.8 Mortalitäten an der Fischschutzeinrichtung Rechen

HÖFER & RIEDMÜLLER (1996) ermittelten in Untersuchungen mit Hilfe von Bachforellen (*Salmo trutta*) eine sogenannte Grenzlänge: Die Totallänge eines Fisches, bei der er einen gegebenen lichten Rechenstababstand noch passieren kann. Dabei ist der kleinste passierbare lichte Rechenstababstand [mm] = 1,01 \* Grenzlänge [cm] oder vereinfacht: Kleinster passierbarer lichter Rechenstababstand [mm] = Totallänge des Fisches [cm]. Auch MONTÉN (1985) gibt 11 % der Totallänge für die Breite von Lachssmolts an. Eine Übertragung der Ergebnisse von Bachforellen ist aufgrund der hohen anatomischen Ähnlichkeit der Salmoniden möglich (EICHER 1987; LARINIER & DARTIGUELONGUE 1989; GLOSS & WAHL 1983).

Auch durch Fischabstiegsanlagen selbst kann es zu einer erhöhten Mortalität kommen. Wie z. B. durch einen Durchflussmesser innerhalb einer Fischabstiegsanlage beim Red Bluff Damm in Sacramento (Kalifornien) (ADAM et al. 1997). Auch bei Rechen mit kleineren lichten Rechenweiten, wie sie zum Schutz vor Treibgut und auch zum Schutz für Fische oft verwendet werden, treten unter Umständen hohe Verluste auf. So werden Fische zwar durch den Rechen am Eindringen in die Turbine gehindert, jedoch können sie bei hohen Anströmgeschwindigkeiten nicht mehr fliehen. Durch einen hohen Wasserdruck werden sie an den Rechen gedrückt und erleiden Wirbel- und innere Verletzungen, die oft letal sind. Auch der Rechenreiniger führt bei den angepressten Fischen zu Verletzungen (SCHWEVERS 1998).

## 2.9 Der Fischabstieg

Um die Fischpopulationen in Fließgewässern zu erhalten, ist die Barrierefreiheit ein sehr wichtiger Aspekt. Sowohl bei Salmoniden als auch Nicht-Salmoniden hängt die Erhaltung der Populationen entscheidend von der Bewegungsfreiheit im Gewässer ab. So kommt es je nach Fischart und Lebensstadium zu täglichen, jahreszeitlichen und jährlichen Wanderungen. Untersuchungen in Schweizer Flusssystemen haben gezeigt, dass dies wichtig für die Migration, den Wechsel zwischen verschiedenen Habitaten sowie die Ausbreitung und das Überleben einer Population ist (PETER 1998).

Durch die hohe Anzahl von modernen Wasserkraftanlagen steht die Notwendigkeit des Schutzes von flussabwärts wandernden Fischen mehr denn je im Vordergrund. Um Fische beim Fischabstieg vor Turbinen zu schützen, bedarf es geeigneter Geräte bzw. Anlagen. Kritische Elemente im Design von Fischabstiegsanlagen sind die Auffindbarkeit des Bypasses, die Gestaltung einer „Lockströmung“, auf Fischverhalten abgestimmte leitende Geräte, Bypass-Lokalisation, Gitter, Leitwände, Vorhangwände (Schleier), Überzüge an Gittern, um den Einfluss zu reduzieren, Drahtsiebe, Absperrnetze, Verhaltensbarrieren, Fördermechanismen, Eintauchbecken sowie die Charakteristik des Unterwassers. Die Gestaltung der Fischabstiegsanlage ist dabei immer einzigartig und jeweils von den örtlichen Gegebenheiten abhängig (ODEH & ORVIS 1998).

Des Weiteren wurden in den USA, im Columbia-Flusssystem, für juvenile Salmoniden Oberflächenwasser ableitende Bypass-Systeme entwickelt. Bei diesen Systemen wird versucht, den Großteil der abwandernden Smolts am Gewässer oberflächlich anzuziehen, zu leiten und über einen Bypass ins Unterwasser zu fördern. Dabei soll vermieden werden, dass abwandernde Smolts in den Turbinenabfluss schwimmen und dann in die Turbine geraten (FERGUSON et al. 1998).

## 2.10 Röntgen und Röntgendiagnostik

Röntgenstrahlen sind elektromagnetische Wellen mit Photonenenergien zwischen 100 eV und einigen MeV. Dabei handelt es sich um UV-Strahlung der Wellenlängen von unter 50 nm bis weniger als 1 pm (weiche bis harte Röntgenstrahlung). Röntgenstrahlen liegen damit im elektromagnetischen Spektrum zwischen Gammastrahlung und ultravioletten Licht (WEIS et al. 2006). Entdeckt wurde die Röntgenstrahlung 1895 von Wilhelm Conrad Röntgen. Der heute bekannte Begriff Röntgen umfasst dabei das Durchstrahlen eines Körpers mit Röntgenstrahlen. Dabei wird die aus dem Körper austretende Röntgenstrahlung auf geeignetem Filmmaterial sichtbar, indem sie dieses schwärzt. Die Intensität beim Schwärzen des Röntgenfilms hängt vom durchstrahlten Gewebe ab. Weiches Gewebe wie Fett, Muskeln und Haut absorbiert weniger Strahlung als Knochen.

Die Röntgenuntersuchung ist in der Humanmedizin wie auch in der Veterinärmedizin gängiger Bestandteil der Diagnose von bestimmten Krankheiten und Verletzungen. Insbesondere können Veränderungen der Skelettstruktur mithilfe von Röntgenaufnahmen sichtbar gemacht werden. So ist die Röntgendiagnostik beim Menschen und bei Wirbeltieren ein etabliertes Diagnosemittel. Auch bei Osteichthyes (Knochenfischen) kommt Röntgendiagnostik sinnvoll zum Einsatz. So sind qualitativ hochwertige Röntgenaufnahmen auch mit der Standardröntgentechnik bei Fischen möglich.

Drei klinische Beispiele von Röntgendiagnostik bei Fischen sind z. B. das undifferenzierte Sarkom (ein bösartiger Tumor, der vom Stützgewebe ausgeht und frühzeitig in die Blutgefäße [*hämatogen*] metastasiert), die Schwimmblasenherniation (das pathologische Hervortreten eines Gewebes durch eine normalerweise verschlossene Körperstruktur oder einen Geweberiss) und die Skoliose (Verkrümmung der Wirbelsäule). Die konventionelle Röntgenographie scheint bestens für die Bewertung von Erkrankungen des Skeletts und Schwimmblasenerkrankungen geeignet zu sein (LOVE et al. 1997).

Die Röntgenuntersuchung ist eine nichtinvasive Methode, das Skelettsystem sowie durch Applizierung von Kontrastmitteln die Lage der Bauchhöhlenorgane und des Gefäßsystems zu untersuchen. Voraussetzung für die Beurteilung pathologischer Befunde ist die Kenntnis des Normalbildes der Röntgenaufnahme der entsprechenden Fischart (BÖTTCHER et al. 2000).

Aus Gründen der immer mehr an Bedeutung gewinnenden Fischethik stellt die Diagnose mittels Röntgenuntersuchung eine Alternative zur Sektion, bei der der Fisch getötet wird, dar. Durch die Röntgenuntersuchung kann der lebende Fisch nach morphologischen Veränderungen untersucht werden (STOSSKOPF 1993 aus BÖTTCHER et al. 2000).

### 2.10.1 Beispiele für die Röntgendiagnostik bei Fischen

Begleitend zur Diagnose empfehlen sich neben der Röntgenographie auch die Computertomographie (CT) sowie der Ultraschall. So konnte beim Pfauenaugenbuntbarsch (*Astronotus ocellatus* Cuvier 1829) eine Schwellung abdominal festgestellt werden. Im Röntgenbild zeigte sich nur eine Stauchung kaudoventral der Schwimmblase. Mit Hilfe der CT und des Ultraschalls konnte ein großes tumorartiges Parenchym im Abdomen kaudal sichtbar gemacht werden (GUMPENBERGER et al. 2004).

Eine Fraktur der Wirbelsäule und Subluxation des Nervenstrangs der Wirbels 5 und 6 (T5-T6) konnte zusammen mit der Radiographie, Szintigraphie und durch CT diagnostiziert werden. Die Nutzung von multiplen bildgebenden Verfahren war zur Diagnose und Festsetzung eines Behandlungsplanes sehr nützlich (BAKAL et al. 1998).

Im Zuge der Erstellung einer anatomischen Referenz wurden von *Ictalurus punctatus* sowohl Aufnahmen mit der konventionellen Radiographie als auch Xeroradiographie gemacht. Bei den Aufnahmen durch die Xeroradiographie zeigte sich die detailgenauere Darstellung der Skelett- und Weichteil Anatomie gegenüber der konventionellen Radiographie (SMITH & SMITH 1994).

Perosomus, eine morphologische Wirbelkörperveränderung trat in einer Lachsfarm bei juvenilen (1 ½- bis 2-jährigen) Lachsen (*Salmo salar*) spontan auf. Das Krankheitsbild äußerte sich in den verkrüppelten Körperformen. Mit Röntgenaufnahmen und Alzianblaufärbungen wurden enge scheibenförmige Wirbelkörper anstatt der normalen x-förmigen Wirbelkörper sichtbar. Diese Komprimierung von mehreren Wirbeln zeigte sich pathologisch in einer durchschnittlichen Verkürzung der Fischlänge (HANSEN & YALEW 1988).

Bei der Diagnose und klinischen Beurteilung vieler Anomalien bei Fischen zeigen sich die Bedeutung und die Nützlichkeit der Radiographie. Ursachen der anatomischen Anomalien sind z. B. ernährungsbedingte Mangelerscheinungen, parasitärer Befall, umweltbedingte oder toxische Insulte, entwicklungsbedingte Anomalien, genetische Defekte und traumatische Verletzungen. So können z. B. entweder durch Vitamin C-Mangel oder eine Vergiftung mit Toxaphen (Insektizid) ernste anatomische Anomalien der Wirbelsäule auftreten (SMITH & SMITH 1994).

Eine allgemeine Fischerkrankung lässt sich oft durch akkumulierte Flüssigkeiten sowie Organvergrößerungen erkennen. Abnormes Schwimmverhalten hingegen kann ein Hinweis auf eine Schwimmblasenerkrankung oder Gastroenteritis sein. Auch unnormales Wachstum, welches schon äußerlich sichtbar ist, kann durch Radiographie untersucht und von einem Neoplasma, einem Fremdkörper oder einer Entzündung abgegrenzt werden (SMITH & SMITH 1994).

Das Röntgenbild der Fische zeigt die natürliche Lage der einzelnen Skeletteile wie auch der Schwimmblase. Durch verschiedene Injektionstechniken mit Kontrastmitteln lässt sich der Blutkreislauf, wie auch Teile des Verdauungstraktes darstellen. Pathologische Veränderungen, besonders des Knochenapparates, werden durch das Röntgenbild beim Fisch sehr gut sichtbar. Auch zur Systematisierung von Fischen wurden und werden Röntgenbilder benutzt und sind so in vieler Hinsicht eine Alternative zu Skelettpräparaten.

## 2.11 Elektrofischerei und ihre möglichen Schädigungen von Fischen

Die Bachforelle und der Hecht gehören zu den auf die Elektrofischerei empfindlich reagierenden Fischen, zu denen folglich auch die Lachssmolts zu zählen sind. Bei den Untersuchungen von RÜMMLER (1998) führte keine der getesteten Stromarten (Gleichstrom und Impulsstrom) zu pathophysiologischen Veränderungen und die erfassten Blutparameter lagen weitgehend im Normalbereich, wie sie bei der Aquakultur bzw. unter Stressbedingungen (Angeln, Setzkescherhälterung) auftreten.

Die ermittelte Rate an Wirbelsäulenverletzungen für die Gesamtheit der gefangenen Fische von 4,8 % 1995 und 6,5 % 1997 ist unter den gegebenen Versuchsbedingungen mit z. T. sehr hohen Leistungen und Spannungen als gering einzuschätzen. Bei der Anwendung von geglättetem Gleichstrom der niedrigsten Leistungsstufe (2 kW – Praxiswert) traten keine Wirbelsäulenschädigungen auf. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass die Rate der Wirbelsäulenverletzungen, ihre Schwere und die Stressbelastung der Fische mit der Intensität und der Frequenz einer geräteabhängigen Restwelligkeit steigen.

Die Gefahr des Auftretens von Wirbelsäulenschäden ist bei der praktischen Elektrofischerei für alle Fischarten sehr gering und als sehr seltene und zufällig auftretende Ausnahme einzuschätzen.

Die fachgerechte Ausübung des Elektrofischfangs beinhaltet neben einer umsichtigen und qualifizierten Durchführung auch den Einsatz von gut geglättetem Gleichstrom oder richtig eingestelltem Impuls Gleichstrom mit niedriger Spannung und geringer Impulsfrequenz. Unter dem Gesichtspunkt guter Fangeigenschaften sowie geringer nachhaltiger Schädigungen und Stresswirkungen wird der vorzugsweise Einsatz von gut geglättetem Gleichstrom mit einer Restwelligkeit unter 5 % empfohlen. Die Geräteeinstellung ist unproblematisch, und hohe Feldintensitäten führen nur zu einer Verstärkung des narkotischen Effektes ohne nachhaltige physiologische Auswirkungen (RÜMMLER 1998).

## 3 Material und Methoden

### 3.1 Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungen wurden am Lachsbach in Sachsen, Landkreis Sächsische Schweiz-Osterzgebirge, durchgeführt. Er ist zusammen mit seinen Zuflüssen ein Mittelgebirgsbach und gehört zum Gewässertyp der Äschenregion. Der Lachsbach ist Bestandteil des Flusssystemes der Elbe, in die er rechtsseitig mündet. Beginn des Lachsbaches ist der Zusammenfluss der Sebnitz und der Polenz bei Porschdorf ( $50^{\circ} 56' 35,5''$  N,  $14^{\circ} 8' 5,6''$  O).

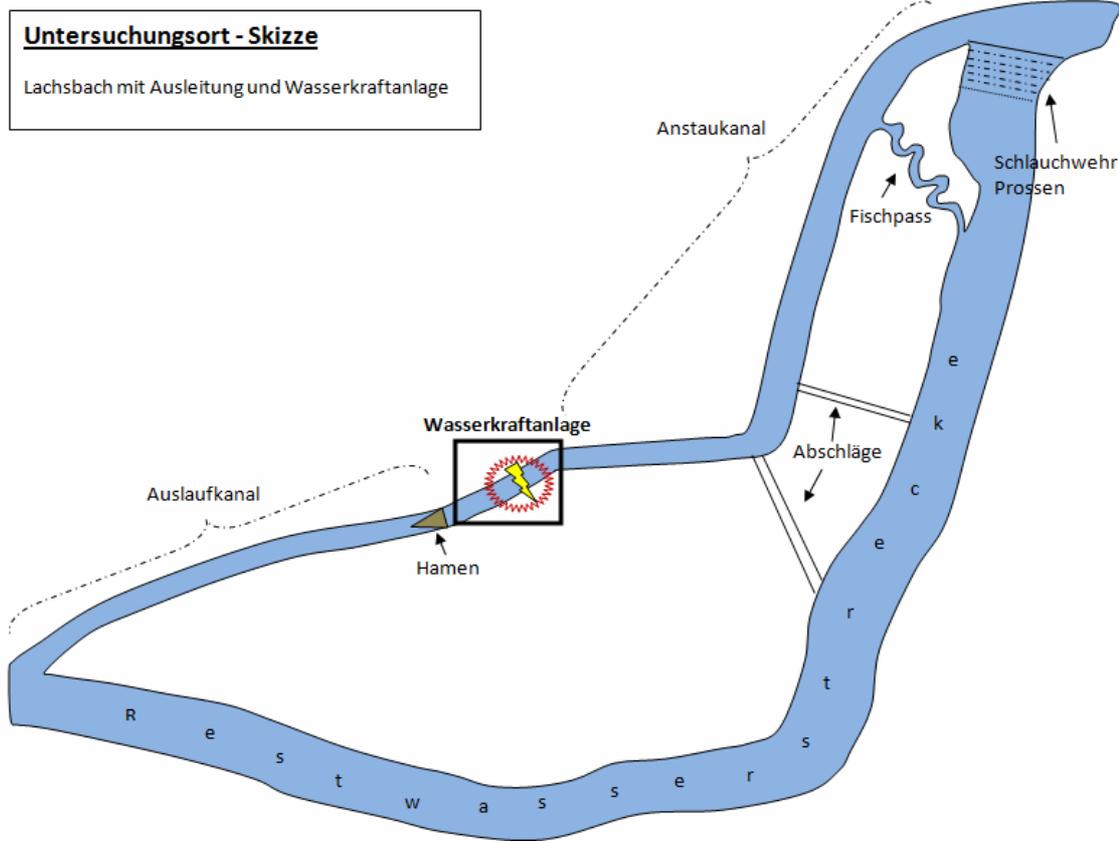


**Abbildung 3.1: Lachsbach (rot gekennzeichnet) mit Mündung in der Elbe (Quelle: <http://www.maps-for-free.com>, Zugriff am 05.01.2011)**

Der Zusammenfluss von Polenz und Sebnitz liegt in 142 m ü. NHN, die Mündungshöhe in 127,8 m ü. NHN, sodass sich ein Höhenunterschied von 14,2 m und eine Länge von 3,1 km ergeben. Die Mündung liegt oberhalb des Prossener Winterschutzhafens ( $50^{\circ} 55' 25,7''$  N,  $14^{\circ} 7' 47,6''$  O). Die beiden Zuflüsse des Lachsbaches, die Polenz und die Sebnitz haben eine Länge von 31,3 km bzw. 30,8 km. Das Einzugsgebiet des Lachsbachsystems beträgt 270,32 km<sup>2</sup>.

## 3.2 Untersuchungsort – WKA Prossen

Untersuchungsort ist das Lachsbachsystem, speziell die Kleinwasserkraftanlage Prossen.



**Abbildung 3.2: Prinzipskizze der Wasserkraftanlage Prossen (Lachsbach)**

Die Wasserkraftanlage (WKA) Prossen (Gebietskennzahl: 537129) ist ein Ausleitungskraftwerk zur Energieerzeugung und wurde im November 1991 wieder in Betrieb genommen. Es handelt sich dabei um ein festes Wehr nach DIN 4048-1,3.19 mit einem Freifluter. Die WKA liegt am Lachsbach bei Flusskilometer 1,8 und ist im Messtischblatt 5050/Bad Schandau verzeichnet.

Die Wasserkraftanlage selbst hat eine Wehrhöhe von 1,8 m und eine Breite von 17 m. Der für die Anstauung benötigte Kanal hat eine Länge von 480 m und eine Breite von 6 m. Die Rückführung des genutzten Wassers erfolgt über einen 250 m langen und 5 m breiten Kanal. Die gesamte Ausleitungsstecke erstreckt sich über 775 m, an deren Ende das entnommene Wasser bei Flusskilometer 0,85 wieder in den Lachsbach zurückfließt.

Durch eine Fischaufstiegsanlage ist das Wehr der WKA Prossen stromaufwärts für Fische passierbar. Es handelt sich dabei um einen klassischen, naturnah gestalteten Raugerinne-Beckenpass. Zum Schutz gegen das Einströmen von Treibgut sowie zur Verhinderung des Einschwimmens von Fischen in die Turbine der WKA ist direkt vor dem Einlauf ein Stabrechen mit elektrischer Rechenreinigung installiert. Der Stabrechen hat einen lichten Rechenstababstand von 20 mm (Sächsische Wehrdatenbank 2010).

Während des gesamten Versuchszeitraumes lief die WKA Prossen mit ihrer Maximalleistung von 80 kW, weil die hierfür benötigte Ausbauwassermenge von 2,43 m<sup>3</sup> pro Sekunde zur Verfügung stand. Weitere Daten der WKA Prossen sind im Anhang 1 unter 3.1A und 3.2A aufgeführt.



**Bild 3.1: Streichwehr mit Schlauchaufsatz oberhalb der WKA und Beginn des Anstaukanals**

### 3.3 Versuchsaufbau bzw. -anordnung

Um die abwandernden Lachssmolts zu fangen, die durch die Turbine der Wasserkraftanlage Prossen ins Unterwasser gelangen, wurde ein für diese Untersuchung angefertigter Hamen verwendet. Dabei handelt es sich um eine Netzkonstruktion zum schonenden Fangen von Lachssmolts. Der Hamen wurde am Ende des untertunnelten Teils des Auflaufkanals installiert. Er besteht aus zwei Flügeln, die mittig einen Steertsack mit zwei Kehlen aufweisen (siehe Bild 3.1 und Anhang 1, Bilder 3.2A - 3.4A). Der eigentliche Hamen besteht aus einem Netz mit 20 mm Maschenweite. Der Sack ist anfangs ebenso wie die erste Kehle aus Netzmaterial von 18 mm Maschenweite hergestellt und wird durch einen kunststoffummantelten Metallring von 50 cm Durchmesser offengehalten. Nach dem ersten Haus schließt sich der eigentliche Steert mit einer weiteren Kehle an. Beides ist aus Netzmaterial von 12 mm Maschenweite hergestellt (PFEIFER 2011). Bodenseitig werden die beiden Flügel des Hamens mit einer am Netztuch angeschlagenen grobgliedrigen Eisenkette sowie einer Bleileine bündig am Untergrund gehalten.

Die Installation des Hamens erfolgte, indem er an vier Punkten aufgespannt bzw. befestigt wurde. Am Boden wurden jeweils links und rechts am Auslaufkanal zwei Eisenstangen so dicht wie möglich an der Kanalwand eingeschlagen. Aufgrund eines am Boden gemauerten Steinsockels blieb ein an den Seiten ca. 20 cm großer Spalt offen, der mit dem Hamen nicht verschlossen werden konnte. Oberseitig befanden sich an der Decke des Kanals, links und rechts zwei eingemauerte Eisen, an denen die Flügel des Hamens aufgespannt wurden (siehe Bild 3.3A).

Am vierten Untersuchungstag wurde bei der täglichen Inspektion und Reinigung des Hamens eine Unterspülung festgestellt. Daraufhin erfolgte die Befestigung der Unterleine mit ca. 25 cm langen Eisenheringen (gebogene Eisenhaken) fest im grobkie-sigen Untergrund. Diese nachträgliche Sicherung des Hamens hielt bis zum Untersuchungsende.



**Bild 3.2: Ansicht des gespannten Hamens bei abgeschalteter Turbine vom Steertpfahl aus**

### 3.4 Versuchsablauf und Versuchsdauer

Am 29.04.2010 wurden die ersten Lachssmolts der Saison 2010 im Forellenzuchtbetrieb Rathmannsdorf gesichtet. Weil der Zuleiter des Forellenzuchtbetriebes das Wasser vom Lachsbach bezieht, schwimmen trotz Abgitterung jedes Jahr zum Zeitpunkt des Abstieges Smolts in die Anlage ein. Das jährliche Erscheinen der Smolts in der Forellenanlage wird deshalb als relativ sichere Anzeige für den Beginn des Smoltabstiegs angenommen. Der Versuch begann einen Tag später, am 30.04.2010.

Mit Hilfe des oben beschriebenen Hamens sollten nach Möglichkeit alle Lachssmolts gefangen werden, die die Turbine auf ihrer Abwanderung passieren. Um Verletzungen durch den Fang weitestgehend auszuschließen, war eine umsichtige Handhabung notwendig. Der Hamen wurde zweimal täglich um 9 Uhr und um 18 Uhr geleert. Dabei erfolgte auch die Reinigung, wobei die Turbine abgestellt wurde und so der Wasserspiegel im Auslaufkanal auf ca. 20 cm sank. Bei vollem Betrieb der WKA betrug der Wasserstand im Auslaufkanal ungefähr 1 m. Wenn der Hamen durch Treibgut verstopfte, staute sich das Wasser vor ihm bis 1,20 m.

Die im Hamen gefangenen Lachssmolts und anderen Fische hielten sich beim Leeren meist in der zweiten Kehle des Steertsackes auf. Sie wurden in einem mit Wasser gefüllten Eimer aus dem Turbinenkanal gebracht und anschließend auf ihre äußerlichen Schädigungen untersucht. An morphometrischen Daten wurde die Länge mit Hilfe eines Messbrettes (LfULG-Standard) sowie die Stückmasse auf 1 Gramm genau mit einer elektronischen Waage der Firma Sartorius ermittelt. Fische anderer Arten wurden nur gezählt.

Der Versuch belief sich über eine Dauer von 11 Tagen, von 30.04. bis zum 10.05.2010. Die Fangeinrichtung konnte dabei 20-mal geleert werden. Die erste Leerung erfolgte am Abend des 30.04.2010 und die letzte Leerung am Morgen des 10.05.2010. Folglich kann man von neun vollen Versuchstagen sprechen, in denen zweimal pro Tag geleert wurde.

## 3.5 Elektrofischerei

Zum Fang der sich vor dem Hamen aufhaltenden Lachssmolts wurde zweimal ein Elektrofischfanggerät vom Typ EFGI 650 (BSE - Bretschneider Spezialelektronik) eingesetzt. Die Kenndaten sind nachfolgend aufgelistet.

- Ausgangsspannung: 115...565 V mit 3 Grob- und 11 Feinabstufungen
- Leistung:
  - bei Gleichspannung bis 650 W
  - bei Pulsspannung bis 1200 W
- Impulse: 20...200 Imp/ s
- Batterie: 24 V/ max. 30 A (GS)
- Feldradius der Fangelektrode: ca. 1,5 m

Am 06. und 11.05. wurde im Unterwasser zwischen Turbinenauslauf und Hamen mit einem Elektrofischfanggerät gefischt. Das Elektrofischen wurde von erfahrenen Fachleuten des LfULG so fischschonend wie möglich durchgeführt. Es wurde mit Gleichstrom und der jeweils kleinstmöglichen Spannung gearbeitet, bei der noch Lachssmolts gefangen werden konnten.

## 3.6 Hälterungseinrichtung

Die Hälterung bestand aus zwei 120 l-Kunststoffbehältern (60 cm x 40 cm x 50 cm). Diese wurden permanent mit einem Kompressor über zwei Plastikschläuche und zwei Belüftungssteine belüftet. Einmal täglich wurde ein Großteil des Wassers durch frisches Wasser aus dem Lachsbach gewechselt. In der Hälterung verbrachten die Lachssmolts zwischen einem und drei Tagen, bevor sie anschließend zur Röntgenuntersuchung gebracht wurden.

## 3.7 Wassertemperaturmessung

Die Wassertemperatur wurde zweimal pro Tag mit einem Flüssigkeitsthermometer für Wasser gemessen. Das erste Mal morgens um 9 Uhr und das zweite Mal um 18 Uhr abends, jeweils vor der Leerung des Hamens. Gemessen wurde im Auslaufkanal der Wasserkraftanlage.

## 3.8 Röntgen

### 3.8.1 Die Auswahl der „Röntgenfische“

In den ersten beiden Tagen des Versuches wurden relativ viele Lachssmolts gefangen, sodass aufgrund der begrenzten Hälterungsmöglichkeiten entschieden wurde, nur einen Teil davon zu hältern. In den darauffolgenden Tagen ging die Fangmenge zurück, sodass dann alle gefangenen Smolts gehältert wurden.

### 3.8.2 Die Röntgenographie

Die Lachssmolts wurden lebend in die Tierarztpraxis Mohr (Dresdener Str. 38 in 01877 Bischofswerda) per Pkw mittels einem 120 l-Kunststoffbehälter gebracht. Die Fahrt dauerte ca. 45 min. Die Röntgenaufnahmen wurden von dem praktizierenden Tierarzt Christopher Mohr durchgeführt. Die Transporte mit direkt anschließendem Röntgen erfolgten jeweils am 03.05., 06.05. und 10.05.2010.

Bei dem Röntgengerät handelte es sich um ein Gerät der Marke Gierth RHF 200ML mit folgenden technischen Daten:

- Raster: 43 Linien/ cm, 6:1, fokussiert
- Filme: HS Panoramic X-Ray Film, Pan G, Green sensitive im Format 18 X 24
- Verstärkerfolie: Gierth SE-ortho 200

- Film-Fokus-Distanz: 75 cm
- Entwicklermaschine: Agfa Crurix 1000
- Entwicklungstemperatur: 32 °C

Das verwendete Narkosemittel war 2-Phenoxyethanol. Die Dosierung betrug ca. 2 ml pro 5 Liter Leitungswasser. Es wurden immer mehrere Fische gleichzeitig narkotisiert und dann anschließend auch zusammen geröntgt. Die Dauer des Narkosebades richtete sich nach der Wirkung auf den einzelnen Fisch.

Bei jeder Charge von Lachssmolts wurden zwei Strahlengänge durchgeführt. Dabei wurden die Röntgenaufnahmen von allen Fischkörpern im latero-lateralen und dorso-ventralen Strahlengang gemacht. Die Belichtungsdaten betragen 40 KV und 0,04 mAs/s. Fische, die im Röntgenbild deutliche Veränderungen an der Wirbelsäule zeigten, wurden für die Sektion ausgewählt und sezirt. Insgesamt sechs Lachssmolts wurden histologisch untersucht. Lachssmolts in weit fortgeschrittenem Stadium der Autolyse wurden nicht geröntgt, weil hier kein kausaler Zusammenhang zu möglicherweise intra vitam zugefügten Verletzungen mehr möglich erschien.

Die Digitalisierung der Schwarz-Weiß-Negative mit anschließender Speicherung der Daten auf CD erfolgte durch den RIS/PACS-System-Administrator André Mosler vom HELIOS Klinikum Berlin-Buch.

## 3.9 Gewebeuntersuchung

Die Gewebeproben in Form von ganzen Fischen wurden von Dr. Cornelia Mohr (Sächsische Tierseuchenkasse, Fischgesundheitsdienst Königswartha) zur Gewebeuntersuchung in die Landesuntersuchungsanstalt für das Gesundheits- und Veterinärwesen Sachsen (LUA) in Dresden eingeschickt. Die Proben trafen am 07.05.2010 mit einem und am 18.05.2010 mit fünf Lachssmolts in der LUA ein. Die histologische Untersuchung der Gewebeproben erfolgte durch Verena Bulla.

## 3.10 Pegelwerte Porschdorf 1

Die Tagesmittelwerte des Abflusses am Pegel Porschdorf 1 wurden von Doreen Fritsch vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Referat Landeshochwasserzentrum, Gewässerkunde, zur Verfügung gestellt. Die Messungen sowie die Aufzeichnung der Tagesmittelwerte erfolgen automatisch am Standort. Bei den zur Verfügung gestellten Daten handelt es sich um ungeprüfte Rohdaten.

## 3.11 Auswertung und Darstellung

Die im Versuch ermittelten und auch die zur Verfügung gestellten Daten sind mit Hilfe von Microsoft Office Excel 2007 ausgewertet und dargestellt worden. Die Bearbeitung der digitalisierten Röntgenaufnahmen erfolgte mit dem Bildbearbeitungsprogramm GIMP 2.0. Die Skizzen wurden mit Microsoft Office Power Point 2007 angefertigt.

# 4 Ergebnisse

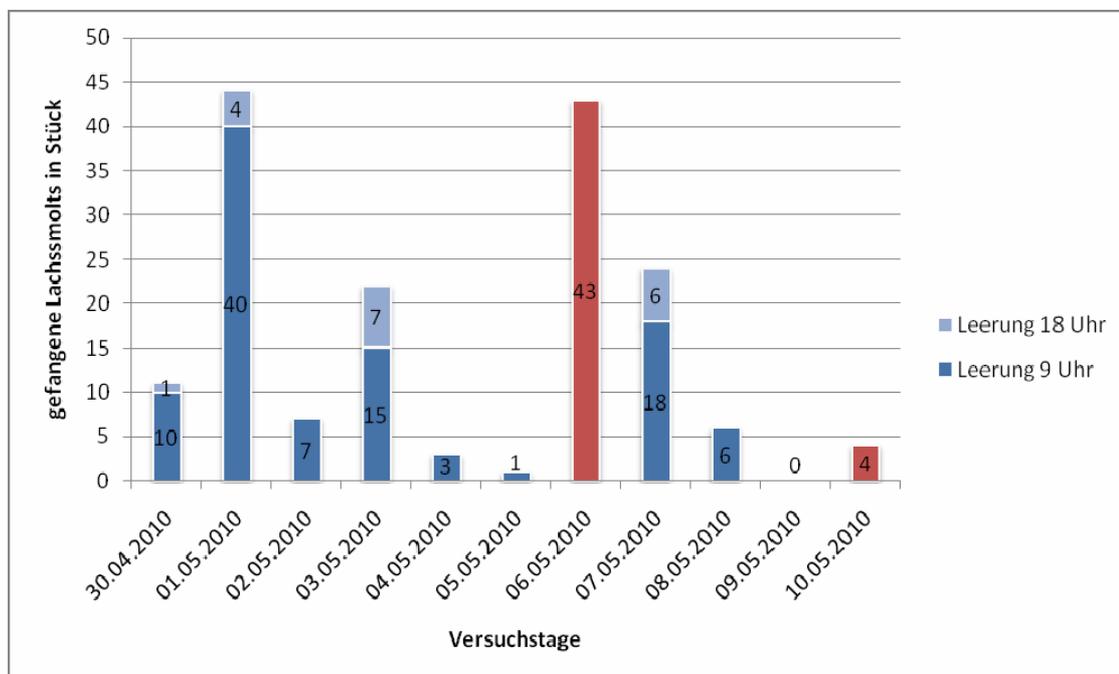
## 4.1 Fangstatistik und abiotische Einflussgrößen

Über den Versuchszeitraum vom 30.04. bis 10.05.2010 konnten nach der Turbinenpassage insgesamt 165 Lachssmolts (*Salmo salar*) mit Hamen und Elektrofischereigerät gefangen werden. Lachse waren während des Versuchs die am häufigsten gefangene Fischart.

Von 165 erfassten Lachssmolts sind im Hamen zehn Stück tot aufgefunden worden: neun Stück am 07.05. und ein Smolt am 08.05.2010. Es ergibt sich somit eine direkte Mortalitätsrate durch die Turbine von 6,1 % im Untersuchungszeitraum.

Am Rechen wurden während des Versuches fünf tote Lachssmolts gezählt, die mit dem Rechenreiniger geborgen wurden. Die direkte Mortalitätsrate durch den Rechen beträgt somit ~ 3 %. Zusammen mit der Mortalitätsrate durch die Turbine ergibt sich eine direkte Gesamtmortalitätsrate der WKA Prossen von ca. 8,8 %.

Abb. 4.1 zeigt die täglich bei den beiden Leerungen am Morgen und am Abend gefangenen Smolts sowie den täglichen Gesamtfang.

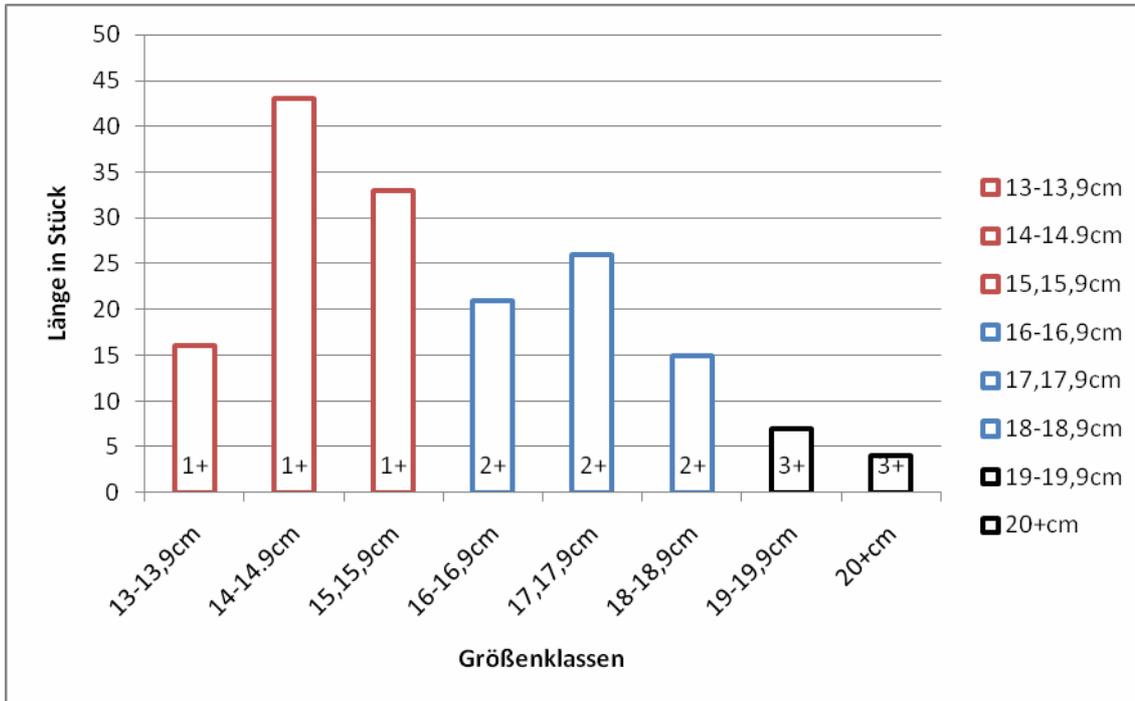


**Abbildung 4.1: Übersicht der im Untersuchungszeitraum gefangenen Lachssmolts**

Abb. 4.1 zeigt die täglichen Smoltfänge im Untersuchungszeitraum. Sie sind in einem gestapelten Balken veranschaulicht. Dabei wird die tägliche morgendliche Leerung dunkelblau und die abendliche Leerung hellblau dargestellt.

Am 06. und 10.05. sind keine Smolts mit Hamen, sondern nur mit Elektrofischereigerät gefangen worden. Sie sind in Abb. 4.1 rot markiert. Diese Fänge fließen nicht in alle nachfolgenden Betrachtungen mit ein.

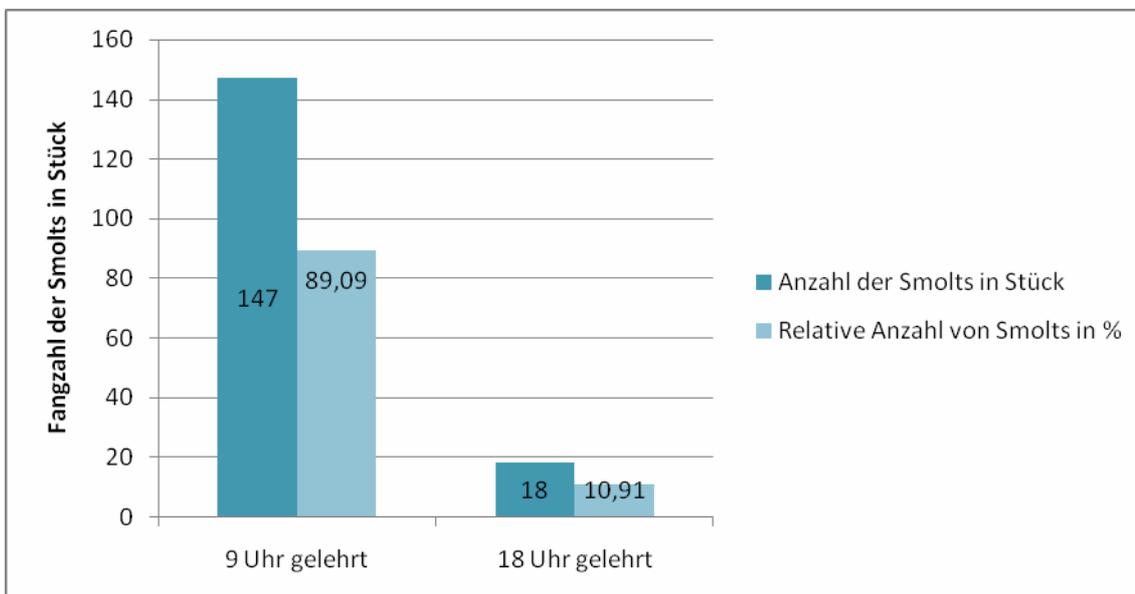
Das arithmetische Mittel der Totallänge der Lachssmolts liegt bei 16 cm, der Median der Totallänge beträgt 15,6 cm und der Modalwert 14,5 cm. Das arithmetische Mittel der Stückmasse der Lachssmolts beträgt 33,4 g. Der Median der Stückmasse liegt bei 30,3 g und der Modalwert bei 24,8 g. Der kleinste Smolt hatte eine Totallänge (TL) von 13,1 cm und war gleichzeitig der leichteste Fisch mit 18,4 g. Der größte Smolt hatte eine TL von 20,5 cm. Der schwerste Smolt hatte eine TL von 19,3 cm und eine Stückmasse von 62,3 g.



**Abbildung 4.2: Übersicht der Smoltgrößenklassen, dargestellt durch ein Längenfrequenzhistogramm mit drei Modal-längen**

Nach der Abb. 4.2 können die gefangenen Smolts in zwei bis drei Größenklassen unterteilt werden. Die erste Größenklasse wurde festgesetzt bei 13,0 bis 15,9 cm. Sie schließt die meisten Smolts (92 Stück) mit ein. Die zweite Größenklasse erstreckt sich von 16,0 cm bis 18,9 cm. Ihr sind 62 Smolts zuzuordnen. Eine mögliche dritte Größenklasse beginnt ab 19,0 cm+. Hierzu zählen 11 Smolts.

Nach der Formel von HÖFER & RIEDMÜLLER (1996) beträgt die berechnete durchschnittliche Breite der Lachssmolts 16,1 mm mit einer Spanne von 13,2 bis 20,7 mm.



**Abbildung 4.3: Übersicht der Gesamtfangzahl an Lachssmolts; untergliedert in morgendliche und abendliche Leerungen des Hamens**

Beim Vergleich der Abend- und Morgenleerung wurden nur die tatsächlich vom Hamen entnommenen Smolts benutzt. Bei der morgendlichen Leerung des Hamens um 9 Uhr sind 147 Stück oder 89,09 % (anteilmäßig vom Gesamtfang) gefangen worden, am Abend dagegen 18 Smolts, welche 10,91 % am Gesamtfang ausmachen (siehe Abb. 4.3). Die am Morgen aus dem Hamen entnommenen Fische stehen für die nächtliche Abwanderung und die am Abend entnommenen für eine Abwanderung am Tag.

Die mit dem Elektrofischereigerät gefangenen Smolts bleiben in dieser Betrachtung unberücksichtigt (siehe auch Abb. 4.1).

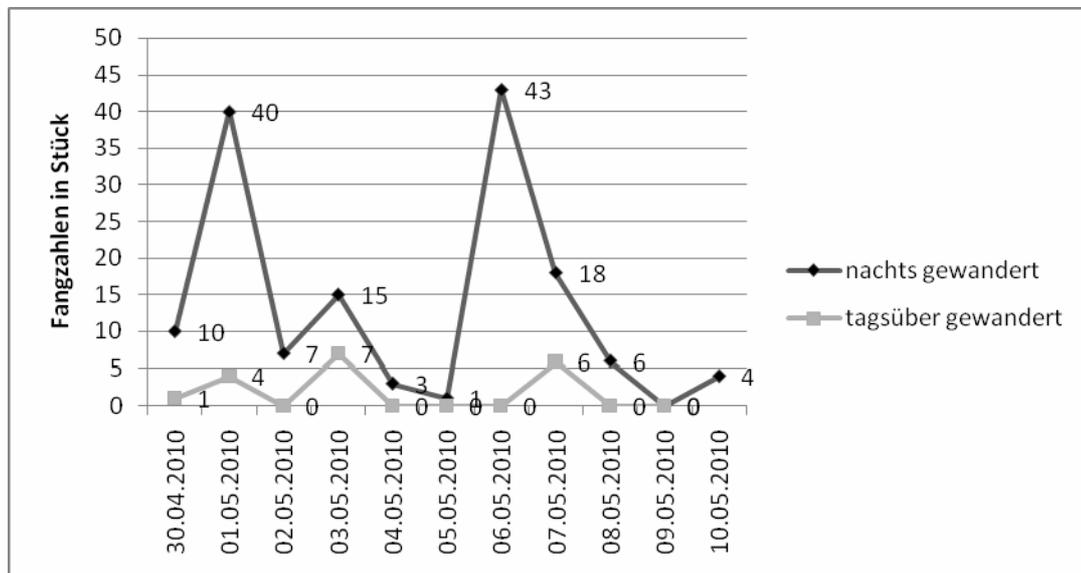


Abbildung 4.4: Verlauf der Fangzahlen an Lachssmolts über den Versuchszeitraum

Abb. 4.4 verdeutlicht die Schwankungen der Fangzahlen über die einzelnen Versuchstage. Auch die unterschiedlichen Fangzahlen zwischen morgendlicher und abendlicher Leerung des Hamens werden aufgezeigt.

Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass die Fänge am 06.05.2010 und 10.05.2010 nur mittels Elektrofischerei erfolgten. Sie wurden in der Gesamtstatistik mit berechnet, aber bei der Betrachtung der einzelnen Tage nicht berücksichtigt.

Die Fangzahlen bei der Leerung um 9 Uhr reichen von 0 bis 40 Stück und liegen im Durchschnitt bei elf Stück. Bei der Leerung um 18 Uhr sind die Fangzahlen deutlich niedriger und reichen von 0 bis 7 Stück. Im Durchschnitt wurden hier bei jeder Leerung zwei Stück gezählt. Pro Tag wurden insgesamt durchschnittlich 13 Stück gefangen. Im ganzen Untersuchungszeitraum sind am Morgen jeweils mehr Lachssmolts gefangen worden als am Abend.

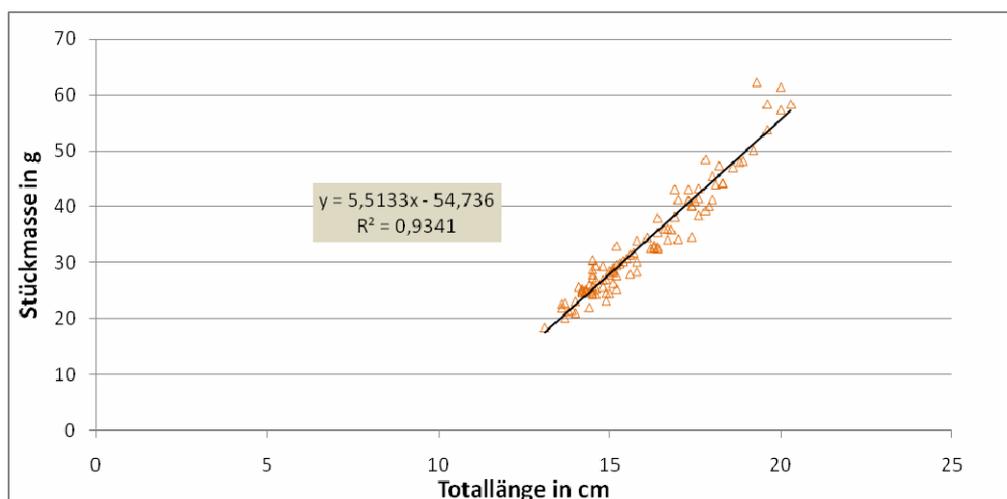


Abbildung 4.5: Darstellung der Längen-Massen-Regression

In Abb. 4.5 ist eine Längen-Massen-Regression von 103 Lachssmolts aus dem Wertepaar Totallänge und Stückmasse dargestellt. Hierbei wurde mit der Methode der kleinsten Quadrate eine Gerade in Form:  $y = mx + b$  berechnet und dargestellt. Sie zeigt mit einem Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) von 0,93 eine deutliche Abhängigkeit zwischen Totallänge und Stückmasse. Hierbei ist die Trendlinie mit der Funktion  $y = 5,5133x - 54,736$  angegeben.

#### 4.1.1 Fang von anderen Fischarten – Beifänge

Es wurden auch zahlreiche andere Fischarten im Hamen gefangen und deren Anzahl registriert, wie die beiden folgenden Abbildungen zeigen. In Abb. 4.6 sind alle sonstigen Fischarten ohne Lachssmolts dargestellt.

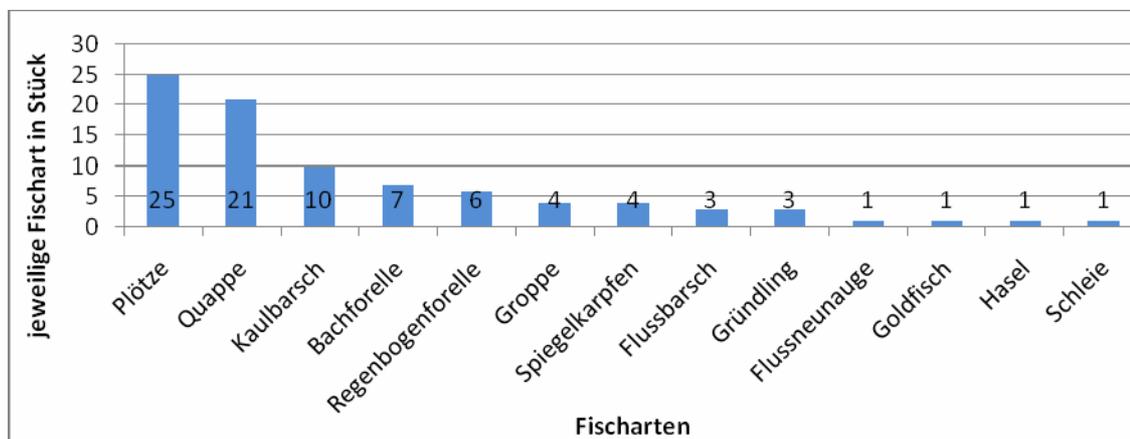


Abbildung 4.6: Anzahl der sonstigen im Untersuchungszeitraum gefangenen Fischarten

Neben den Lachssmolts (*Salmo salar*) mit 165 Stück (~ 65,5 %) war die Plötze (*Rutilus rutilus*) mit 25 Stück (~ 10 %) die häufigste gefangene Fischart. Gefolgt wurde sie von der Quappe (*Lota lota*) mit 21 Stück (~ 8,3 %) und dem Kaulbarsch (*Gymnocephalus cernua*) mit 10 Stück (~ 4 %). Insgesamt wurden im 10-tägigen Untersuchungszeitraum 252 Individuen 14 verschiedener Arten mit dem Hamen gefangen und erfasst. Die vier häufigsten Arten hatten einen Anteil von ~ 87,8 %.

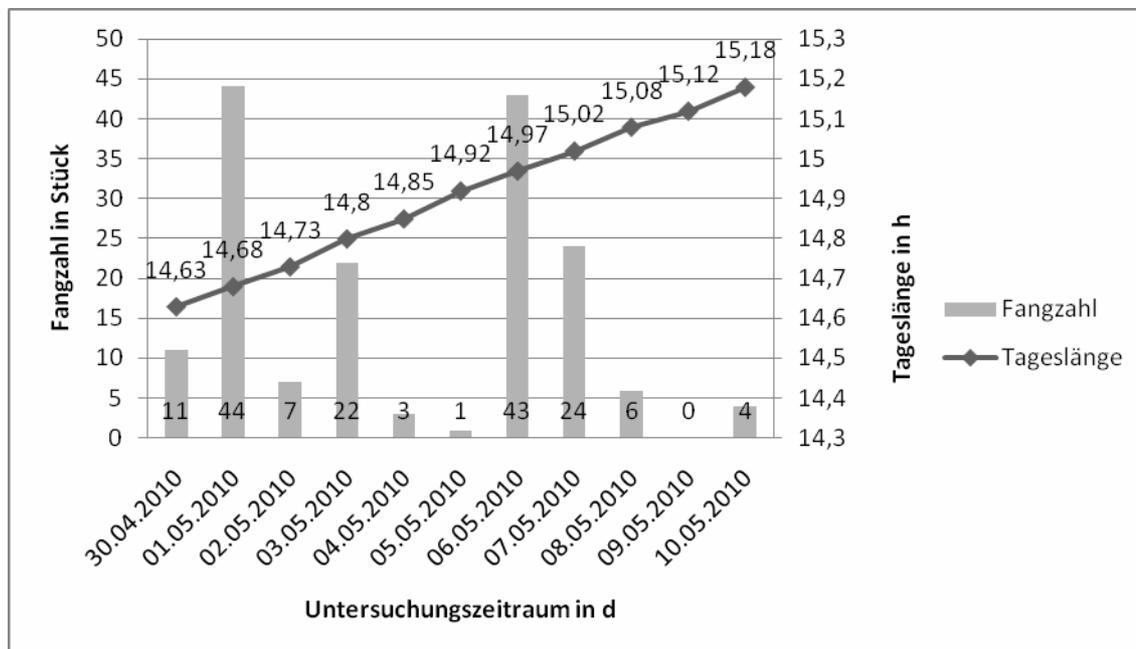


Abbildung 4.7: Darstellung der Tageslängenentwicklung gegenüber dem Fangzahlverlauf an Lachssmolts im Untersuchungszeitraum

In der Abb. 4.7 sind die täglichen Gesamtfangzahlen der Tageslänge gegenübergestellt. Mit den in der Untersuchung erfassten Daten besteht zwischen Tageslänge und Fangzahlen keine Abhängigkeit. Über den Versuchszeitraum schwanken die Fangzah-

len zwischen 0 und 44 Stück pro Tag. Dabei wurden nur die mit dem Hamen gefangenen Smolts berücksichtigt. Die Tageslänge nimmt kontinuierlich zu.

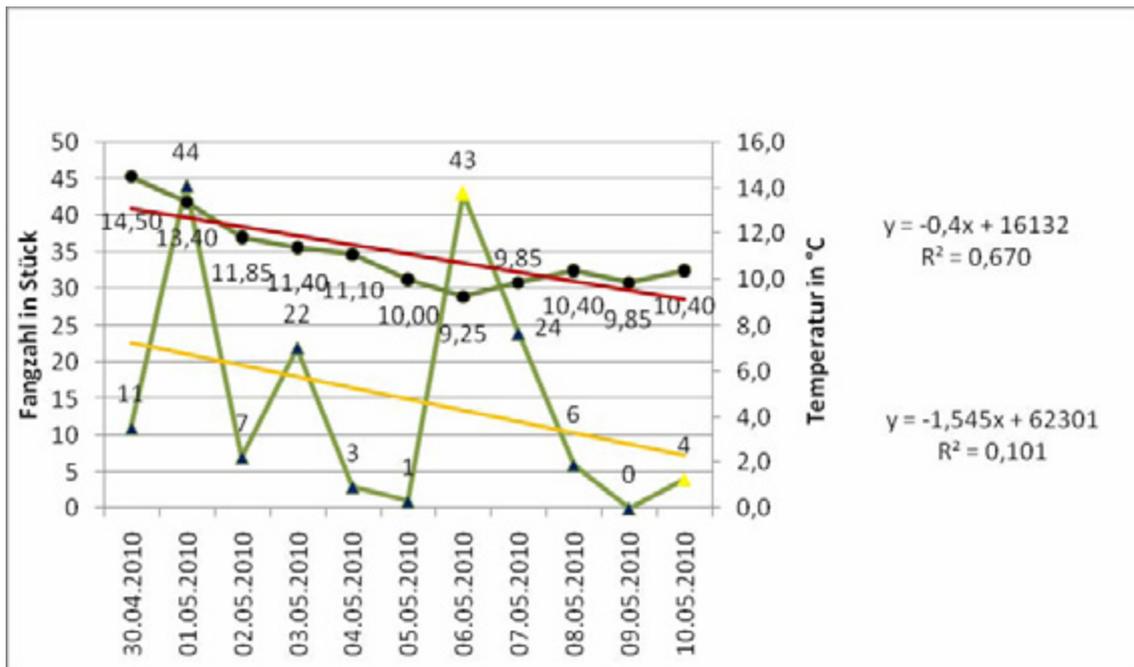


Abbildung 4.8: Gegenüberstellung der Verläufe der Fangzahl und der Wassertemperatur im Untersuchungszeitraum

In der Abb. 4.8 sind die Fangzahlen der Wassertemperatur gegenübergestellt. Der Wassertemperaturverlauf beginnt am 30.04.2010 mit der bei der Untersuchung höchsten gemessenen Wassertemperatur von 14,5 °C. Vom 30.04. bis zum 06.05.2010 sinkt die Wassertemperatur um 5,25 K (Kelvin) auf 9,25 °C, um dann wieder leicht bis zum Untersuchungsende am 10.05.2010 auf 10,4 °C anzusteigen. Über den Untersuchungszeitraum weisen sowohl der Verlauf der Wassertemperatur als auch die Abwanderungszahlen eine leicht fallende Tendenz auf. Ein signifikanter Zusammenhang besteht jedoch nicht.

Wie vorher bereits erwähnt, sind die Fangzahlen über den Untersuchungszeitraum sehr schwankend, wobei am 06. und am 10.05.2010 ohne Elektrofischerei keine Smolts gefangen worden wären. Auch hier ist über den Untersuchungszeitraum eine leicht fallende Tendenz in den Fangzahlen zu erkennen. Statistisch gibt es auch mit den korrigierten Fangzahlen keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Wassertemperaturverlauf und den Fangzahlen. Eine Abhängigkeit zwischen Wassertemperatur und Abwanderungszahlen ist nur tendenziell und zeitweise erkennbar.

In Abb. 4.9A (siehe Anhang 1) sind die mittleren Durchflussmengen und die Fangzahlen gegenübergestellt. Die Abwanderung der Lachssmolts setzte am 29.04.2010 ein. Bis zu diesem Zeitpunkt sank die mittlere Durchflussmenge. Sie lag im Untersuchungszeitraum bei durchschnittlich 3,14 m³/s. Im Vergleich zu den restlichen Untersuchungstagen wurde am 03., 06. und 07.05.2010 eine deutlich erhöhte mittlere Durchflussmenge von bis zu 3,97 m³/s gemessen. An diesen Tagen (mit Ausnahme des 06.05.2010 aufgrund des Elektrofischens) konnte eine erhöhte Abwanderungszahl festgestellt werden. An den jeweiligen Folgetagen sind mit fallender mittlerer Durchflussmenge auch die Abwanderungszahlen gesunken. Tendenziell konnte so eine partielle Abhängigkeit beobachtet werden.

## 4.2 Verletzungstypen

Es treten in der Untersuchung nur zwei der fünf Verletzungstypen, die HOLZNER (1999) klassifiziert hat, auf: Verletzungstyp I - augenscheinlich unverletzt und Verletzungstyp II – Schuppenverluste, Schürfungen, Blutungen.

Von allen gefangenen Smolts wiesen 86,7 % (143 Stück) keine äußerlichen Verletzungen auf. Sie zählen daher zum Verletzungstyp I. Zum Verletzungstyp II sind demnach 13,3 % (22 Stück) zu rechnen.

Die Schuppenverluste waren ventral am Fischkörper festzustellen und waren meist streifenförmig oder rel. großflächig (siehe Anhang 1, Bilder 4.3A - 4.7A).

## 4.3 Röntgenaufnahmen – Wirbelsäulenverletzungen

Zum Röntgen in die Tierarztpraxis Mohr in Bischofswerda wurden dreimal Smolts gebracht: am 03.05.2010 57 Stück, am 06.05.2010 50 Stück und am 10.05.2010 35 Stück. Angefertigt wurden 21 Paar Röntgenaufnahmen mit je drei bis neun Smolts pro Aufnahme.

Die aus 59 Wirbelkörpern bestehende Wirbelsäule lag dabei besonders im Augenmerk. Jeder einzelne Wirbelkörper hat bei den hier geröntgten Lachssmolts eine Breite von ungefähr 1,5 bis 3 mm je nach Fischgröße. Um einen besseren Vergleich zwischen den verschiedenen Fischgrößen zu ermöglichen, wurde diese Breite als eine Wirbelkörperbreite definiert. Es handelt sich dabei um eine relative Einheit, um die Amplitude der Verkrümmung(en) aufzuzeigen.

Am 03.05.2010 sind 15 Smolts geröntgt worden. 11 Smolts wiesen eine Verkrümmung der Wirbelsäule auf. Sie hatten alle eine Skoliose und zwei davon hatten zusätzlich eine Lordose. Die Skoliose trat im Bereich der Wirbel 2 bis 42 (von insgesamt 59 Wirbeln) auf. Die Lordose konnte im Bereich der Wirbel 7 bis 27 festgestellt werden. Durchschnittlich umfasst eine Verkrümmung bei diesen Smolts 7,4 Wirbelkörper. Es wurden durchschnittlich 2,4 Verkrümmungen pro Smolt gemessen.

Am 04.05.2010 wurden 25 Smolts geröntgt. Diese hatten keine optisch sichtbaren Wirbelsäulenverkrümmungen - weder eine Skoliose noch eine Lordose. In der dorso-ventralen Sicht konnte auf den Röntgenbildern bei 72 % der Smolts eine Dislokation der Schwimmblase nach lateral festgestellt werden. Mehrere Verkrümmungen bei jeweils dem gleichen Smolt sind immer in der gleichen lateralen Richtung.

Am 06.05.2010 konnten 50 Smolts gefangen werden, wobei 43 davon elektrisch gefischt wurden. Diese wurden nicht von den mit dem Hamen gefangenen Smolts getrennt. 39 Smolts kamen zum Röntgen. Bei zweien konnte eine Wirbelsäulenverkrümmung festgestellt werden. Dabei handelte es sich bei dem einen Lachssmolt um eine Lordoskoliose sichtbar von dorso-ventraler und aus latero-lateraler Sicht, die die Wirbel 36 bis 40 umfasst. Die Verkrümmung hat ca. eine Wirbelbreite. Bei dem anderen Smolt war die Skoliose im dorso-ventralen Strahlengang sichtbar, von Wirbel 36 bis 41. Es handelte sich um eine leichte Verkrümmung mit ca. 1/3 Wirbelbreite.

Eine Dislokation der Schwimmblase nach lateral weisen 29 von 39 Smolts oder ca. 74 % der am 06.05.2010 geröntgten Fische auf. Bei zwei Smolts war eine im vorderen Bereich geteilte Schwimmblase zu erkennen.

Am 10.05.2010 wurden alle 35 Smolts (davon vier elektrisch gefischt) geröntgt. Auch hier sind die elektrisch gefischten Smolts nicht von den anderen zu unterscheiden, weil sie nicht getrennt bzw. markiert worden sind. 22 Smolts wiesen eindeutige Verkrümmungen an der Wirbelsäule auf. Sie hatten alle ein bis fünf sehr deutlich zu erkennende Verkrümmungen. Diese lateralen Verkrümmungen der Wirbelsäule aus dorso-ventraler Sicht werden als Skoliose bezeichnet. Des Weiteren hatten von diesen Smolts vier eine Lordose und/oder Lordoskoliose, eine Kombination von Skoliose und Lordose im gleichen Wirbelsäulenabschnitt.

Alle Verkrümmungen traten im Bereich der Wirbel 3 bis 43 auf, die Lordosen dagegen eher im vorderen Bereich der Wirbelsäule, die Wirbel 7 bis 24 umfassend. Die Stärke der Verkrümmung ist in Wirbelkörperbreite angegeben und streckte sich so von einem Viertel eines Wirbelkörpers bis hin zu einem ganzen Wirbelkörper.

### 4.3.1 Röntgen – Gesamtangaben

Insgesamt wurden 142 Lachssmolts zur Untersuchung in die Tierarztpraxis Mohr in Bischofswerda gebracht. Davon wurden 114 (ca. 80 %) geröntgt und 28 (ca. 20 %) aufgrund vorangeschrittener Autolyse aussortiert. Einige Fische verstarben während der Hälterung, wurden aber trotzdem zur Untersuchung vorbereitet. Die bei diesen Fischen eingesetzte Zersetzung des Gewebes erschien jedoch letztlich für eine aussagekräftige Röntgenuntersuchung zum Teil als nicht mehr geeignet. Im Anhang 2 befinden sich alle digitalisierten Aufnahmen vom 03.05 und 10.05.2010.

Von 165 insgesamt gefangenen Smolts sind 46 Smolts elektrisch mit Gleichstrom gefischt worden. Dies entspricht ~ 28 %. Von allen geröntgten Smolts (114 Stück) wiesen 36 Stück eine bis mehrere Verkrümmungen der Wirbelsäule auf. Dies entspricht ~ 31,6 %.

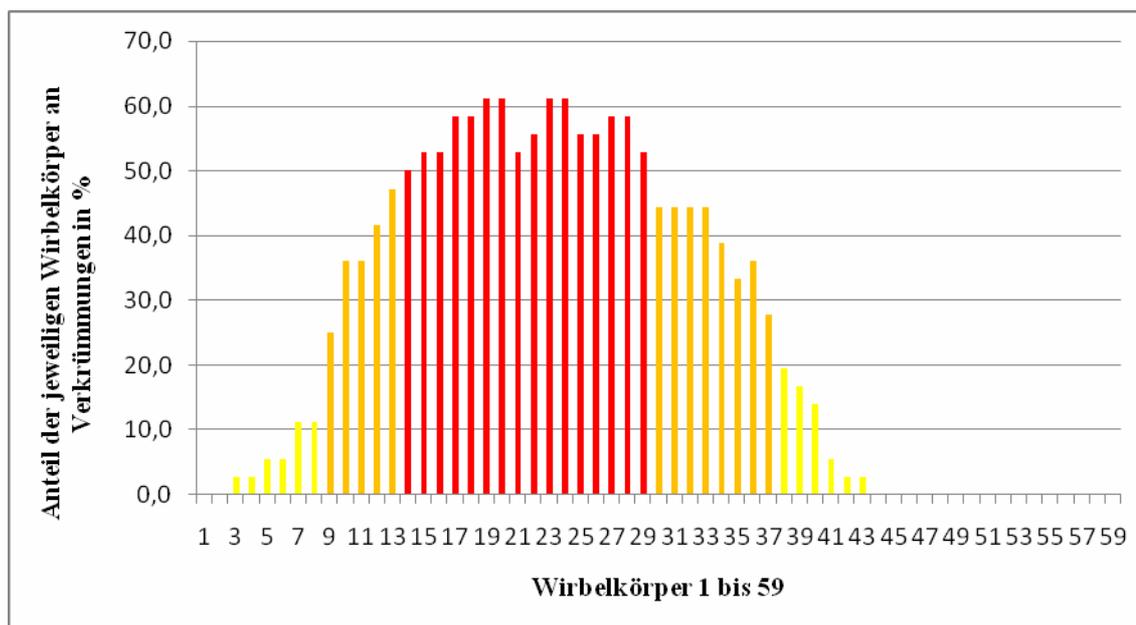
Aus dorso-ventraler (dv) Sicht konnten ein bis fünf Verkrümmungen pro Lachssmolt festgestellt werden. Dabei handelte es sich um Verkrümmungen der Wirbelsäule lateral (Skoliose). Aus laterol-lateraler (ll) Sicht konnten ein bis zwei Verkrümmungen, bei der sich die Wirbelsäule nach dorsal oder ventral verschoben hatte beobachtet werden. Durchschnittlich zeigten die 36 Smolts mit Verkrümmung(en) an der Wirbelsäule, in Betracht der Skoliose, durchschnittlich ~ 2,3 Verkrümmungen (bei insgesamt 81 Verkrümmungen) und zusammen mit der Lordose ~ 2,6 Verkrümmungen (bei insgesamt 91 Verkrümmungen).

Bei den am 03.05. geröntgten Fischen bestand eine Verkrümmung aus durchschnittlich 7,4 Wirbelkörpern, bei den am 06.06. geröntgten Fischen aus 5,5 und bei den am 10.05. geröntgten Fischen aus 8,6 Wirbelkörpern. Eine einzelne Krümmung hatte dabei eine Spannweite von 3 bis 14 Wirbelkörpern. Bei allen Smolts mit Verkrümmungen (36 Stück) erstreckte sich eine Verkrümmung der Wirbelsäule durchschnittlich über 8,2 Wirbelkörper.

Der Wirbelsäulenverkrümmungsgrad der geröntgten Smolts erstreckt sich über 0,25 bis 1,5 Wirbelkörperbreiten. Die Amplitude der Verkrümmungen beträgt durchschnittlich ~ 0,55 Wirbelbreiten (WB), dies entspricht absolut 0,825 mm bis 1,65 mm.

Verkrümmungen der Wirbelsäule treten bei allen Größen der Smolts auf. Im relativen Vergleich sind die Amplituden der Verkrümmungen bei Smolts > 15 cm tendenziell größer ( $\geq 0,5$  WB) als bei Smolts < 15 cm ( $\leq 0,5$  WB). Von den 36 Smolts mit Verkrümmungen sind 11 Stück kleiner 15 cm und 25 Stück größer 15 cm.

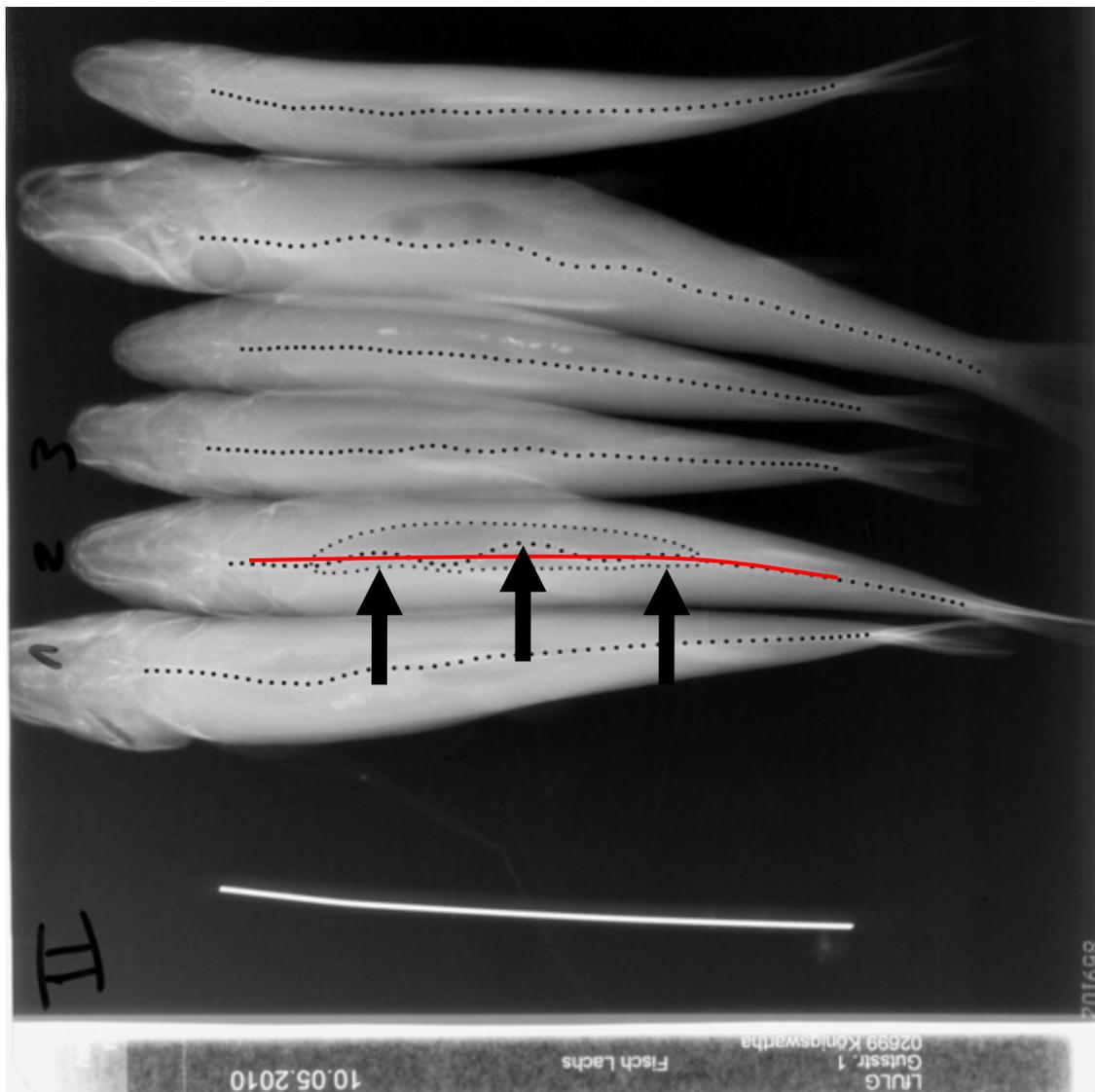
Im latero-lateralen (ll) Strahlengang sind sehr wenig und wenn, dann sehr geringfügige Veränderungen der Wirbelsäule um 1/5 WB und kleiner in Form von Verkrümmungen sichtbar. Im latero-lateralen Strahlengang konnten nur sehr wenige (7 Stück) eindeutig als Verkrümmung bewertet werden.



**Abbildung 4.10: Rel. Anteil der an Wirbelsäulenverkrümmungen beteiligten Wirbelkörper (Rot markiert: Wirbel die zu über 50 % bei Verkrümmungen betroffen waren; orange: zu 21 % bis 49 % betroffen und gelb: zu < 20 % betroffen)**

Die Verkrümmungen sind allgemein in Anzahl und Stärke der Amplitude sehr unterschiedlich. Sie reichen von kaum erkennbar ( $\frac{1}{4}$  Wirbelkörperbreite und kleiner) bis stark ausgeprägt (1,5 Wirbelkörperbreiten). Auch die Anzahl der Verkrümmungen pro Wirbelsäule reicht von eins bis fünf. Die Verkrümmungen einer Wirbelsäule sind überwiegend nach einer Seite ausgerichtet! Dies bedeutet, dass sie aus dv-Sicht ihren Scheitelpunkt auf der gleichen Seite haben.

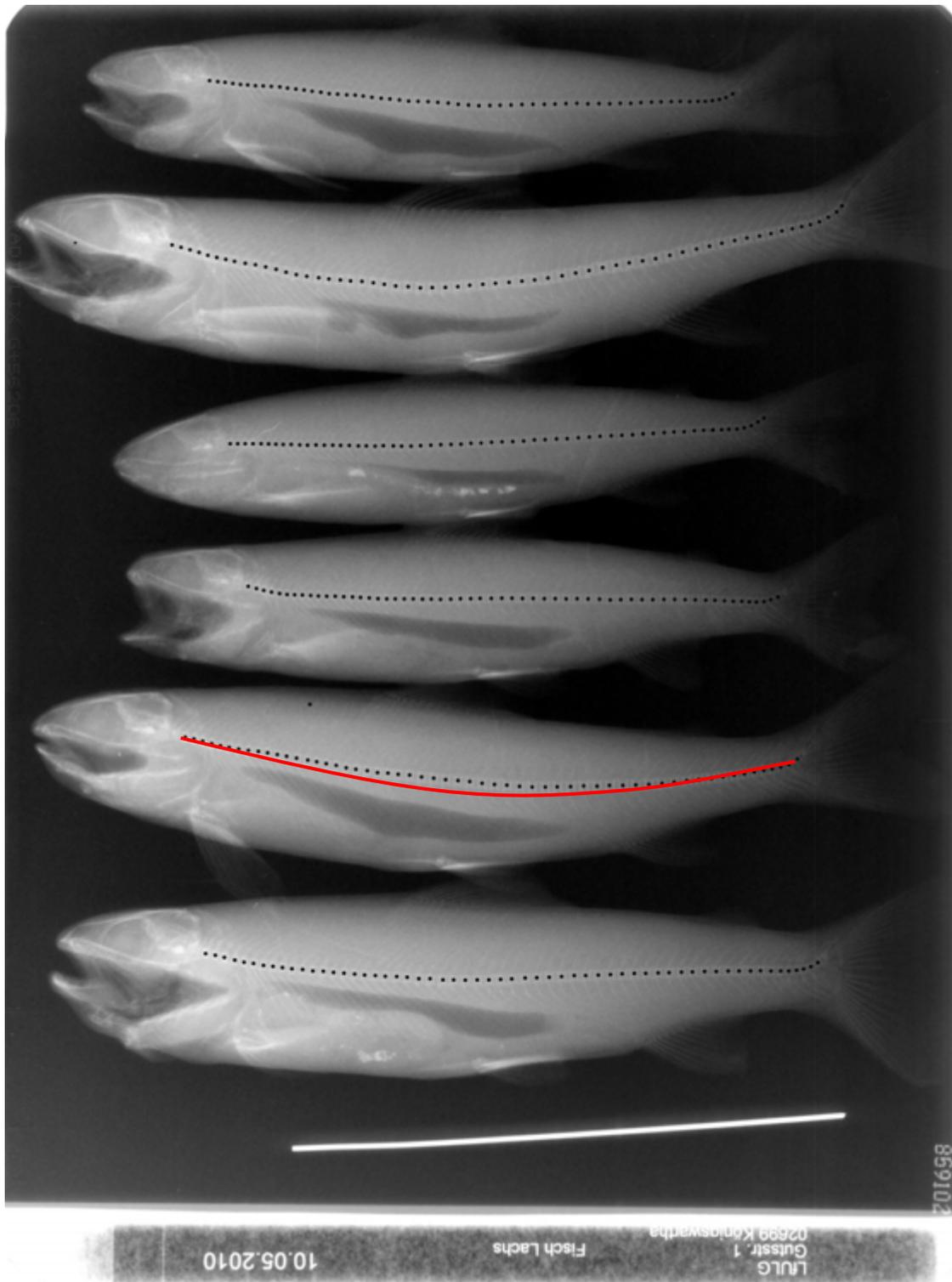
Die Wirbelkörper 14 bis 29 sind mit  $\geq 50\%$  am häufigsten an den insgesamt festgestellten Verkrümmungen beteiligt. Diese liegen dabei im zweiten und dritten Fünftel ( $23,7\% - 49,2\%$ ) der Wirbelsäule. Mit  $\geq 20\%$  und  $\leq 50\%$  an Verkrümmungen beteiligt sind die Wirbelkörper 9 bis 37. Insgesamt treten die Verkrümmungen in der Häufigkeit mehr im vorderen Bereich der Wirbelsäule auf. An den Verkrümmungen nicht beteiligt waren die Wirbelkörper 1 und 2 sowie 44 bis 59. Die Wirbelkörper 3 bis 8 und 38 bis 43 weisen mit  $\geq 0$  und  $\leq 20\%$  die geringste Beteiligung an Verkrümmungen auf. Ca.  $75\%$  aller von Verkrümmungen betroffenen Wirbelkörper liegen in der ersten Hälfte der Wirbelsäule (siehe Abb. 4.10).



**Bild 4.1: Röntgenaufnahme im dorso-ventralen Strahlengang vom 10.05.2010 mit sechs Smolts**

Bild 4.1 zeigt sechs Smolts, bei denen die Wirbelkörper mit einem Punkt markiert sind, um den Verlauf der Wirbelsäule aus dorso-ventraler Sicht hervorzuheben. Der mit II 2 markierte Smolt weist aus dorso-ventraler Sicht drei wellenförmige, sehr deutliche Verkrümmungen der Wirbelsäule nach links auf. Wissenschaftlich wird diese Wirbelsäulenverkrümmung Skoliose genannt. Diese sind mit drei schwarzen Pfeilen gekennzeichnet. Die rote Linie soll den Normalverlauf der Wirbelsäule darstellen.

Dieser markierte Smolt zeigt ein typisches Bild der in der Röntgenaufnahme ermittelten Veränderungen an der Wirbelsäule. Die unter den Smolts zu sehende weiße Linie ist ein Metallstab mit einer Länge von 10 cm, der als Maßstab diente.



**Bild 4.2: Röntgenbild im latero-lateralen Strahlengang vom 10.05.2010 mit sechs Smolts**

Bild 4.2 zeigt die gleichen Smolts in der gleichen Reihenfolge wie im Bild 4.1. Der in Bild 4.1 beschriebene Smolt weist aus latero-lateraler Sicht nur sehr geringe bis keine Abweichungen der Wirbelsäule (Lordose) auf. Auch hier soll die rote Linie den Normalverlauf der Wirbelsäule darstellen.

## 4.4 Gewebeuntersuchungen

Die Gewebeuntersuchungen wurden an Gewebeproben der Smolts, die auf den Röntgenaufnahmen vom 03.05. und 06.05.2010 gekennzeichnet wurden, durchgeführt. Es handelt sich dabei um die Smolts mit den Kennzeichnungen: Lachs I, I2, II2, III1, III2 und IV1. Die Auswahl fiel auf sechs Smolts mit stark veränderter Wirbelsäule aus dv-Sicht.

Bei allen Proben konnten Gewebeverletzungen festgestellt werden. Die Ergebnisse der pathologisch-histologischen Untersuchung der Gewebeproben befinden sich im Anhang 1 (4.1). Alle angefertigten Röntgenaufnahmen befinden sich im Anhang 2.

Bei allen sechs histologisch untersuchten Smolts konnten Blutungen festgestellt werden. Besonders im Bereich der Nieren, im Neuralbogen und im bzw. am Rückenmark. Drei Smolts hatten einzelne bis mehrere myolytische, sich auflösende Muskelfasern. Bei einem der sechs Smolts (III 2) wurde eine seitliche Fraktur bzw. seitliche Zerstörung eines Wirbelkörpers festgestellt.

### 4.4.1 Schwimmblase

Eine Schwimmblasendislokation hatten nach eigener Einschätzung 81 (71,05 %) von 114 Smolts. Bei seitlichen Wirbelsäulenverkrümmungen aus dv-Sicht konnte in der Regel eine Verschiebung der Schwimmblase in Richtung des Scheitelpunktes der Verkrümmung(en) festgestellt werden. Die Schwimmblasen hatten bei einer Dislokation aus dorso-ventraler Sicht oft auch seitliche wellenförmige Ein- und Ausbuchtungen (siehe auch Bild 4.1).

## 4.5 Weitere Ergebnisse

### 4.5.1 Elektrofischfang

Zweimal wurde mit einem Elektrofischereigerät zwischen Turbine und Hamen gefischt. Beim Elektrofischen am 06.05.2010 sind 43 Stück und am 10.05.2010 vier Smolts gefangen worden, die noch am selben Tag geröntgt wurden.

### 4.5.2 Durchflussmenge

Die Übersicht der mittleren Durchflussmenge am Pegel Porschdorf I vom 01.04.2010 bis zum 30.05.2010 können im Anhang 1 eingesehen werden. In den Monaten April und Mai lag der durchschnittliche mittlere Abfluss (MQ) bei 3,89 m<sup>3</sup>/s, im Untersuchungszeitraum etwas geringer bei 3,14 m<sup>3</sup>/s. Der niedrigste mittlere Abfluss (NQ) über beide Monate lag bei 2,64 m<sup>3</sup>/s und der höchste mittlere Abfluss (HQ) bei 9,33 m<sup>3</sup>/s; im Untersuchungszeitraum bei NQ bei 2,71 m<sup>3</sup>/s und HQ bei 3,97 m<sup>3</sup>/s (siehe Abb. 4.11 und im Anhang 1 Tab. 4.1A).

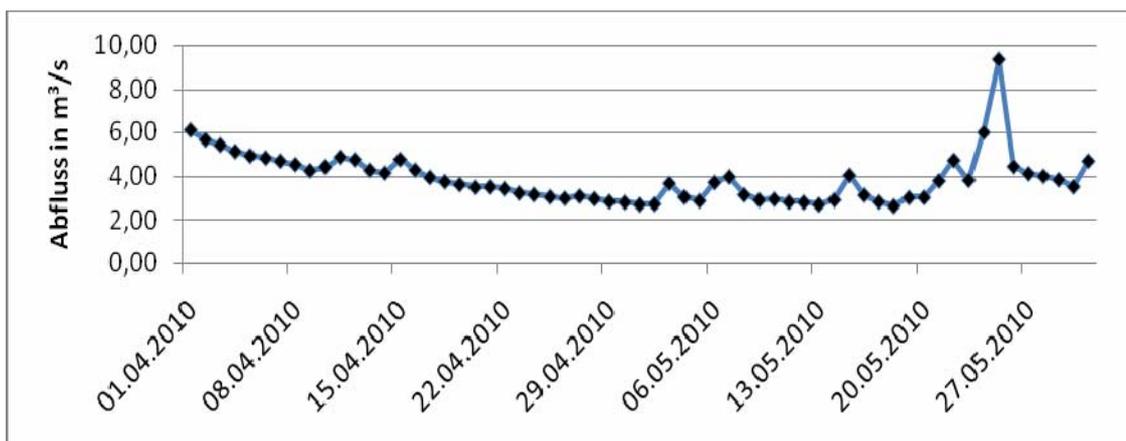


Abbildung 4.11: Aufstellung der mittleren Tagesabflüsse im Zeitraum vom 01.04. bis 31.05.2010 am Pegel Porschdorf I

### 4.5.3 Hydrologische Kennwerte

Die Tab. 4.2 gibt eine Übersicht über die am Pegel Porschdorf I ermittelten und im Folgenden genannten Abflusswerte der jeweiligen Monate: NQ = niedrigster Abflusswert, MNQ = mittlerer Niedrigwasserabflusswert, MQ = mittlerer Abflusswert, MHQ = mittlerer Hochwasserabflusswert, HQ = höchster Abflusswert, NNQ = niedrigster jemals gemessener Niedrigwasserabflusswert, HHQ = höchster jemals gemessener Hochwasserabflusswert.

**Tabelle 4.2: Übersicht über die Abflusshauptwerte am Pegel Porschdorf I**

Abflüsse															Nebenflüsse der oberen Elbe			
<div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin: 0;">Q</div> <div style="margin: 0;">m<sup>3</sup>/s</div>																		
Hauptwerte																		
Pegel-KZ <sup>(1)</sup>		Pegel Gewässer		Extremwerte									Reihe <sup>(2)</sup> A <sub>Eo</sub>					
	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Win	Som	Jahr			
	550190		Porschdorf 1						NNQ 27.07.1945+			0,120		1912 / 2009				
			Lachsbach						HHQ 13.06.1995			87,1		268,43 km <sup>2</sup>				
Jahr	1947	1917	1954	1954	1947	1918	1983	1947	1945	1945	1947	1947	1917	1945	1945			
NQ	0,330	0,200	0,360	0,360	0,500	0,700	0,350	0,290	0,120	0,160	0,160	0,250	0,200	0,120	0,120			
MNQ	1,51	1,76	2,03	2,30	2,55	2,62	1,87	1,51	1,34	1,21	1,25	1,32	1,23	0,964	0,862			
MQ	2,41	3,38	3,93	4,10	4,76	4,08	2,78	2,41	2,43	2,02	1,88	2,06	3,78	2,27	3,02			
MHQ	7,21	12,0	14,7	13,6	15,1	10,6	8,26	8,48	10,0	8,91	6,37	6,52	26,5	19,1	30,8			
HQ	39,5	74,3	75,2	50,6	64,3	54,3	48,8	87,1	61,4	53,3	33,4	51,2	75,2	87,1	87,1			
Jahr	1998	1986	2003	1946	2005	2006	1941	1995	1958	1978	1941	1974	2003	1995	1995			

Tab. 4.3A (siehe Anhang 1) soll als Referenzquelle dienen, um einen Abgleich zu den bei der Untersuchung am WKA Prossen bzw. am Lachsbach gefangenen Fischarten zu ermöglichen.

### 4.5.4 Schutzstatus der erfassten Fischarten

Von den 17 verschiedenen Fischarten, die in der Polenz (einer der beiden Zuflüsse des Lachsbaches) vorkommen (siehe Tab. 4.4), konnten während des Versuches direkt unterhalb des WKA 10 Fischarten nachgewiesen werden (siehe Abb. 4.6). Zusätzlich zu den in Tab. 4.4 angegebenen Fischarten wurden Kaulbarsche (*Gymnocephalus cernua*), Spiegelkarpfen (*Cyprinus carpio carpio*), ein Schleier (*Tinca tinca*) sowie ein Goldfisch (*Carassius auratus auratus*) gefangen. Während des Untersuchungszeitraumes sind mit einem Hamen direkt unterhalb der WKA Prossen neben der Zielfischart, dem Atlantischen Lachs (*Salmo salar*), 13 weiteren Fischarten nachgewiesen worden. Von den 14 erfassten Fischarten sind fünf (mit *Salmo salar*) in der Roten Liste aufgeführt. Inklusive dem Atlantischen Lachs haben die Rote-Liste-Arten einen Anteil am Gesamtfang von ~ 78,6 % (198 Stück); ohne den Atlantischen Lachs einen Anteil von 13,2 % (33 Stück).

**Tabelle 4.4: Schutzstatus der erfassten Fischarten**

Fischart	Wissenschaftlicher Name	Rote Liste Sachsen, 2005
Goldfisch	<i>Carassius auratus auratus</i>	-
Groppe	<i>Cottus gobio</i>	2
Karpfen	<i>Cyprinus carpio carpio</i>	-
Gründling	<i>Gobio gobio</i>	-
Kaulbarsch	<i>Gymnocephalus cernua</i>	-
Hasel	<i>Leuciscus leuciscus</i>	-
Quappe	<i>Lota lota</i>	1
Regenbogenforelle	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	-
Flussbarsch	<i>Perca fluviatilis</i>	-
Plötze	<i>Rutilus rutilus</i>	-
Lachs	<i>Salmo salar</i>	1
Bachforelle	<i>Salmo trutta f. fario</i>	3
Schlei	<i>Tinca tinca</i>	-
Flussneunauge	<i>Lampetra fluviatilis</i>	1

Legende:

- 0 ... ausgestorbene oder verschollene Arten;
- 1 ... vom Aussterben bedrohte Arten;
- 2 ... stark gefährdete Arten;
- 3 ... gefährdete Arten,
- ... nicht in der Roten Liste aufgeführt

Nach der Bundesartenschutzverordnung zählt nur *Lampetra fluviatilis* zu den besonders geschützten Arten. Neben *Salmo salar* und *Lampetra fluviatilis* konnte auch *Cottus gobio* zu den erfassten FFH-Arten gezählt werden. *Cottus gobio* steht im Anhang II der FFH-Richtlinie. *Lampetra fluviatilis* und *Salmo salar* stehen jeweils beide im Anhang II und V der FFH-Richtlinie.

# 5 Diskussion

## 5.1 Die Fangeffektivität des Hamens

Die örtlichen Bedingungen an der WKA Prossen gestalteten den Fang der Lachssmolts als schwierig. Durch einen Steinsockel an den beiden Seitenwänden des Auslaufkanals konnte das Hamen seitlich nicht randschlüssig an diese angebracht werden. An diesen beiden Seiten (ab ca. 30 cm vom Grund bis zur Wasseroberfläche) war es den Fischen jederzeit möglich, über einen ca. 20 cm breiten Spalt den Hamen ungehindert zu passieren. Es muss davon ausgegangen werden, dass eine erhöhte Strömung an den Seiten des Hamens dazu führte, dass einige abwandernde Smolts dort lang schwammen. Die Fangeffektivität des Hamens, der am Ende des Turbinenauslaufkanals installiert wurde, muss als nicht optimal bewertet werden. So kann es sein, dass vorrangig die unverletzten Smolts den Hamen an seinen unverschlossenen Seiten passiert haben. Die durch die Röntgenaufnahmen „geschätzte“ Schädigungsrate könnte somit zu hoch sein.

Entgegen dieser Vermutung steht die Beobachtung eines Smoltschwarms, der sich vor dem Hamen bildete. Er konnte über mehrere Tage beim Säubern des Hamens beobachtet werden. Der Smoltschwarm schwamm augenscheinlich weder in den Hamen hinein noch seitlich am Hamen vorbei. Ein Grund dafür könnte der durch den Hamen gebildete unnatürliche bzw. untypische Strömungswiderstand sein. Dieser schreckte die Fische vielleicht vom Einschwimmen und Passieren ab.

Durch starke Verschmutzung des Hamens mit Treibgut (meist Laub und kleinere Äste) infolge des längeren Regens, wurde der Hamen an zwei Nächten leicht (einige Zentimeter) überspült. Der damit zunehmende Wasserdruck verursachte Schäden am Hamen; speziell im Übergang der Halteseile zum Netz. Stellenweise kam es auch zur Anhebung des Hamens bzw. dessen Unterspülung. Auch hier können Smolts den Hamen ungehindert passiert haben.

## 5.2 Die Zahl der abwandernden Smolts

Im Untersuchungszeitraum wurden an der WKA Prossen im Durchschnitt 15 Smolts pro Tag gefangen. Im Vergleich zu WOLF (2009) mit 30 Smolts pro Tag sind dies nur halb so viele. WOLF (2009) ermittelte in seiner Untersuchung die Abwanderungsraten bzw. Überlebensraten der eingesetzten Lachsbrütlinge, Halbjährige und Einjährige (Smolts). Im Durchschnitt ergaben sich für 2007 und 2008 Überlebensraten von 3,5 % bis 13,8 %, wobei die Überlebensrate bei den Brütlingen zwischen 1,9 und 7,4 % lag. Ausgegangen von im Durchschnitt insgesamt 210.000 pro Jahr in den Lachsbach, die Polenz und die Sebnitz eingesetzten Brütlingen (siehe auch Tab. 4.5A) müssten demnach ca. 4.000 bis 15.000 Smolts pro Jahr abwandern.

Die meisten im Jahr 2010 abwandernden Smolts stammen aus dem Vorjahr. Ausgehend von den Besatzzahlen des Jahres 2009 (124.000 Brütlinge) ergibt sich eine Überlebensrate bzw. Abwanderungszahl zwischen 2.000 und 9.000 Smolts.

Weil der Untersuchungszeitraum nur 11 Tage betrug und bei WOLF (2009) 82 Tage, müssen die Werte relativiert werden. Bei 1/8 ergeben sich Abwanderungszahlen zwischen 250 und 1125 Smolts. Auch muss von großen Schwankungen in den Abwanderungszahlen im Ablauf der Abwanderung ausgegangen werden, sodass vielleicht noch ein Teil erst nach dem Untersuchungszeitraum abgewandert ist. Aufgrund des relativ kurzen Zeitraums kann dies aber kaum ab- bzw. eingeschätzt werden.

Hiernach ergeben sich in den Ergebnissen aus dieser Untersuchung und der von WOLF (2009) gewisse Parallelen in den Abwanderungszahlen. Auch ist zu erkennen, dass es dabei von Jahr zu Jahr zu großen Schwankungen kommt. Des Weiteren sind die von WOLF (2009) ermittelten Überlebensraten nur bedingt übertragbar, weil die Besatzgruppen zum Teil unmittelbar vor der Abwanderung eingesetzt worden sind. Die im Lachsbach, der Polenz und der Sebnitz 2009 ausgesetzten 124.000 Brütlinge bilden im Vergleich zum Durchschnitt von 210.000 Brütlingen fast nur die Hälfte. Alles zusammen und zudem noch schlechte Umweltbedingungen wie einen harten Winter mit niedrigen Temperaturen können eine Ursache für die niedrige Fangzahl im Untersuchungszeitraum sein. So befanden sich die Durchschnittstemperaturen in Sachsen über drei Monate (Dezember 2009, Januar und Februar 2010) hinweg unter dem langjährigen Monatsmittel. Über den gesamten Januar 2010 herrschte sogar Dauerfrost mit durchschnittlich > 4 K unter dem langjährigen Monatsmittel (DWD 2009/2010).

## 5.3 Das Elektrofischen

Angesichts der relativ wenigen mit dem Hamen gefangenen Smolts schien der Fang des sich vor dem Hamen gebildeten Smoltschwarms als sinnvoll. Hierzu sollte ein Elektrofischereigerät zu Einsatz kommen. Das dabei auftretende Risiko von Verletzungen der Smolts durch das Elektrofischen ist zu vernachlässigen. Dies zeigen auch Untersuchungen von RÜMMLER (1998) zu eventuell möglichen Schädigungen bei fachgerechter und schonender Befischung mit Gleichstrom.

## 5.4 Die Längenhäufigkeit

Nach HVIDSTEN et al. (1995) wird die Smoltifizierung mit dem Erreichen einer bestimmten Körpergröße eingeleitet. Weil Fische poikilotherme Organismen sind, entspricht ihre Körpertemperatur der der Wassertemperatur. Die Wachstumsgeschwindigkeit ist folglich u. a. von der Wassertemperatur abhängig. So smoltifizieren Lachssmolts in Nord-Norwegen zum Teil erst mit sechs Jahren.

Für Junglachse in Mitteleuropa gibt SCHWEVERS (2003) folgende Richtwerte an: 12 bis 14 cm für einsömmrige Smolts, 14 bis 17 cm für zweisömmrige Smolts und größer 18 cm für dreisömmrige und ältere Smolts. Letztere kommen aber eher selten vor.

Unterschiede im Wachstum können mit dem jeweiligen Habitat zu tun haben. Nach FÜLLNER et al. (2003) waren Junglachse vom Lachsbach im Vergleich zur Polenz länger und schwerer. Wie auch die Ergebnisse dieser Untersuchungen vermuten lassen, wandern zumeist verschiedene Jahrgänge ab. Durch die in Abb. 4.2 dargestellte mehrgipflige Längenhäufigkeitsverteilung wird eine altersbezogene Verteilung auf mindestens zwei unterschiedliche Jahrgänge, 1+ und 2+ aufgezeigt. Wie und wo genau sich die Altersklassen abgrenzen, kann nicht exakt gesagt werden, weil die Smolts mit zunehmendem Alter immer stärker auseinanderwachsen. Einzelne Jahrgänge vermischen sich in ihren Größen mehr und mehr und machen somit eine Differenzierung immer schwerer. Von den erfassten Smolts aber nimmt mit zunehmender Totallänge (TL) die Stückzahl, besonders ab 18 cm, ab. Das heißt, die meisten Smolts im Lachsbach wandern, wie auch in den Ergebnissen von FÜLLNER et al. (2003) beschrieben, als 1+ Smolts ab.

Nach FÜLLNER et al. (2003) hatten die 1+ Smolts aus dem Lachsbach eine durchschnittliche TL von 17,1 cm und eine durchschnittliche Stückmasse von 48,9 g. Im Vergleich dazu hatten die in der Untersuchung an der WKA Prossen erfassten 1+ Smolts nach Abb. 4.2 eine durchschnittliche TL von 14,6 cm und eine durchschnittliche Stückmasse von 26,3 g.

Gründe für diese Abweichung können z. B. biotische und abiotische Umwelteinflüsse wie Nahrungsangebot und Wassertemperatur sein. Diese schwanken von Jahr zu Jahr und haben eventuell zu einem unterschiedlichen Wachstum geführt. Des Weiteren können entgegen der Abb. 4.2 alle gefangenen Smolts, 1+ Smolts sein. Auch in FÜLLNER et al. (2003) umfassten die 1+ Smolts Totallängen von bis zu 20 cm. Hier ist der Unterschied zwischen den beiden Erhebungen mit einer TL von ~ 16 cm zu 17,1 cm und einer Stückmasse von 33,4 g zu 48,9 g viel geringer.

Hinzu kommt, dass die Smolts aus dieser Untersuchung zum Anfang der Wachstumsperiode im Mai und die bei FÜLLNER et al. (2003) erst zum Ende der Wachstumsperiode im November erfasst wurden. Wird davon ausgegangen, dass Smolts über den Winter Masse verlieren, nähern sich die beiden Erhebungen in TL und Stückmasse noch mehr an.

Ein weiterer Unterschied kann sich durch die unterschiedliche Fangmethode sowie die Fangzeit ergeben haben. So wurde bei FÜLLNER et al. (2003) aktiv elektrisch gefischt, hingegen in dieser Untersuchung die Smolts passiv mit einem Hamen gefangen.

Die von WOLF (2009) erfassten Lachssmolts hatten eine durchschnittliche TL von 14,3 cm bei einer Streuung von 10 bis 21 cm. Im Vergleich sind die an der WKA Prossen gefangenen Smolts eindeutig größer und weisen auch nicht so eine große Streuung in den Totallängen auf.

Letztendlich kann aufgrund der Tatsache, dass innerhalb eines Jahrganges große Streuungen auftreten, keine eindeutige Aussage zum Alter der in der Untersuchung gefangenen Smolts getroffen werden. Nach SCHWEVERS (2003) schwanken die Körperlängen von abwandernden Smolts je nach Nahrungsangebot und Witterungsverhältnissen zwischen 10 und 30 cm. Genauere Aussagen lassen sich aber nur durch eine Altersbestimmung u. a. mit Hilfe von Schuppen sicher darlegen.

Die in der Untersuchung ermittelten Totallängen und Stückmassen entsprechen weitestgehend den Literaturangaben.

## 5.5 Die Abwanderungszeit

Die Abwanderungszeit für Lachssmolts liegt grundsätzlich im Frühjahr. Sie setzt je nach Gewässer in Mitteleuropa im März ein, erreicht im April ihren Höhepunkt und läuft Anfang bis Mitte Mai ihrem Ende entgegen (SCHWEVERS 2003). Der genaue Beginn der Abwanderung ist von vielen Umweltfaktoren sowie deren Kombinationen abhängig und kann bis heute nicht exakt bestimmt werden. Bei einigen Untersuchungen gab es einen signifikanten Zusammenhang zwischen Abwanderung und Abfluss, bei anderen hingegen nicht (SCHWEVERS 1998).

Der festgestellte Abwanderungsbeginn am 29.04.2010 war im Vergleich mit den Literaturangaben relativ spät. Er kann jedoch nach JENS (1953) in ein und demselben Gewässer von Jahr zu Jahr erheblich variieren. Die Abflussverhältnisse waren auch schon im April (siehe Anhang) ähnlich wie die im Untersuchungszeitraum und sind als ausreichend einzustufen. ZAHN (1999) konnte in seinen Untersuchungen eine starke Temperaturabhängigkeit des Wanderverhaltens feststellen. So setzten Anfang April beim Überschreiten der mittleren Wassertemperatur von 8 °C die ersten Lachs-Smoltfänge ein. Diese Beobachtung konnte nicht gemacht werden, weil zu Beginn der Untersuchung am Vormittag des 30.04.2010 die Wassertemperatur des Lachsbaches schon 14,5 °C betrug. Auch die niedrigste im Verlauf der Untersuchung gemessene Wassertemperatur lag mit 9,25 °C deutlich über der sogenannten Initialtemperatur von 8 °C. Die Abwanderung könnte daher bereits deutlich vor dem 29.04.2010 eingesetzt haben.

Nach BEALL & MARTY (1983) ist es möglich, wenn der primäre Zeitgeber für die Abwanderung fehlt, dass andere Umweltfaktoren, die normalerweise nicht als Zeitgeber dienen, die Abwanderung auslösen. Letztendlich kann der späte Beginn der Abwanderung im Jahr 2010 nicht vollständig erklärt werden.

Die täglichen Schwankungen im Fang waren von Anfang an sehr groß, sodass keine Tendenz aufgezeigt werden kann. Weder ein Höhepunkt noch ein Auslaufen der Abwanderung konnte festgestellt werden. Mit 165 Stück wurden nur relativ wenige Smolts während des Versuches gefangen. Ein Grund dafür könnte der kurze Untersuchungszeitraum von nur zehn Tagen sein. Im Vergleich dauerte eine ähnlich aufgebaute Untersuchung bei WOLF (2009) an der Stepenitz mit 82 Tagen achtmal so lang. Letztendlich konnte so vielleicht auch nicht der vollständige Abwanderungszeitraum erfasst werden, der z. B. bei WOLF (2009) 45 Tage betrug. Bei Literaturangaben aus SCHWEVERS (1998) jedoch dauerte die Abwanderung oft insgesamt nur einen Monat, wobei die meisten Smolts innerhalb der ersten oder der ersten beiden Wochen abwanderten.

Weitere Gründe könnten das Verpassen der Hauptabwanderung bzw. die ungenügende Fangeffektivität des Hamens sein. Ein Verpassen der Hauptabwanderungszeit scheint ziemlich unwahrscheinlich, weil das Einsetzen der Abwanderung alljährlich durch das gleichzeitige Einschwimmen von Smolts in die Forellenzuchtanlage am Lachsbach angezeigt wird. Weiterhin muss davon ausgegangen werden, dass aufgrund des an den Auslaufkanalseiten nicht schließenden Hamens Smolts diesen ungehindert passiert haben. Abwandernde Fische orientieren sich negativ rheotaktisch primär an der Hauptströmung des Gewässers (HESTHAGEN & GARNAS). Die Smolts könnten sich an den schneller durchströmten Seiten orientiert haben und so am Hamen vorbeigeschwommen sein.

Ob aber während der Untersuchungszeit bedeutende Fangmengen ausgeblieben sind, kann nicht gesagt werden, weil zuvor noch keine Smoltabwanderung am Lachsbach untersucht wurde.

## 5.6 Die Wanderungsaktivität der Lachssmolts

Um die Tag-und-Nacht-Unterschiede im Wanderverhalten der Smolts herauszustellen, wurde der Hamen zweimal am Tag geleert: am frühen Abend mit eintretender Abenddämmerung und am Morgen. Wie sich dabei herausstellte, wanderten sechsmal so viele Lachssmolts (ca. 85 % - ohne Elektrofischerei) in der Nacht als am Tage ab (siehe Abb. 4.3). Auch in SCHWEVERS (1998 und 2003) wird die überwiegend nächtliche Abwanderung von Lachssmolts beschrieben. Ein ähnliches Ergebnis mit 89 % während der Nacht abwandernden Lachssmolts ermittelten in ihren Untersuchungen auch WOLF (2009) sowie JONSSON (1969).

Es kann daher von einem typischen Bild der Abwanderungszeiten (Tag-Nacht) ausgegangen werden. Grund für die erhöhte nächtliche Wanderungsaktivität ist, wie in der Literatur beschrieben, der geringere Prädationsdruck von optisch orientierten Fressfeinden in der Nacht (WOOD et al. 1993). Auch die Hauptwanderungszeit von Aalen lag bei Untersuchungen von BERG (1987) selbst im Herbst erst nach 20 Uhr.

### 5.6.1 Fotoperiodik

Im Gegensatz zu WOLF (2009) konnte wie in Abb. 4.7 kein direkter Einfluss der Fotoperiodik auf die Abwanderungszahlen festgestellt werden. Bei WOLF (2009) nahmen mit zunehmender Tageslänge auch die Abwanderungszahlen bis zu einem gewissen Zeitpunkt zu.

### 5.6.2 Abwanderungsverlauf, Verlauf der mittleren Durchflussmenge, Wassertemperatur

Die Abwanderung setzte am 29.04.2010 mit einer über den April verlaufenden abfallenden Durchflussmenge ein (siehe Abb. 4.11 und 4.9A). Einerseits verzögerte bzw. verhinderte der tendenziell fallende mittlere Abfluss des Lachsbaches die Abwanderung, andererseits nahmen die Tageslänge und die Wassertemperatur während des Aprils zu. Die Smolts könnten so auf ein Frühjahrshochwasser gewartet haben, welches aber ausblieb und so andere Faktoren für den Abwanderungsbeginn wie z. B. die Wassertemperatur ausschlaggebend waren. Nach SCHWEVERS (2003) fungieren hohe bzw. steigende Abflüsse als primäre Auslöser für die Abwanderung von Smolts. WOLF (2009) konnte in seiner Untersuchung an der Stepenitz beobachten, dass eine steigende Durchflussmenge erhöhte Abwanderungszahlen zur Folge hatte.

Zwei bis drei Anstiege im Abfluss am 03.05, 06.05. und 07.05.2010 um rund  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , wie in Abb. 4.9A zu sehen, zeigen einen tendenziellen Zusammenhang zwischen Fangzahlen und Abfluss. Diese starken Anstiege im mittleren Abfluss um über ein Drittel während der Untersuchung waren die höchsten seit fast drei Wochen. Wie in Abb. 4.9A zu sehen, sind in diesem Zusammenhang auch die Fangzahlen gestiegen. Dies spiegeln auch die Untersuchungsergebnisse bei WOLF (2009) wider.

Weitere Erklärungen für die späte Abwanderung 2010 zeigen sich in den Ergebnissen aus Untersuchungen im südwestnorwegischen Fluss Imsa von JONSSON & RUUD-HANSEN (1985). Hier waren nicht die absolute Temperatur oder die Zahl der Tagesgrade für die Abwanderung die entscheidenden Faktoren, sondern eine Kombination aus aktueller Wassertemperatur und dem Temperaturanstieg im Frühjahr. Auch in Norwegen wandern viele Lachs- und Meerforellen-Smolts erst bei Wassertemperaturen von über  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  ab (JONSSON 1991). Insgesamt stellt die Wassertemperatur für die Smoltabwanderung im Lachsbach 2010 keinen entscheidenden Einfluss dar. So wanderten bei WOLF (2009) die Lachssmolts zwischen Wassertemperaturen von  $4$  bis  $15,6 \text{ }^\circ\text{C}$  ab. Am zweiten Untersuchungstag am Lachsbach wurden bei einer Wassertemperatur von  $13,4 \text{ }^\circ\text{C}$  mit 43 Stück die meisten Smolts pro Tag gefangen. Dies konnte auch WOLF (2009) bei einer ähnlich hohen Wassertemperatur beobachten. Hier erreichten die Abwanderungszahlen der Smolts bei einer Durchschnittstemperatur von  $12,8 \text{ }^\circ\text{C}$  ihr Maximum.

Schlussendlich kann gesagt werden, dass die Abwanderung und ihr Verlauf nicht von einem Faktor allein abhängig ist, sondern immer von mehreren und aus deren Kombination. So kann die Abwanderungszeit und -dauer von einem zum anderen Jahr erheblich voneinander abweichen (VOLLESTAD et al. 1986 und JENS 1953).

### 5.6.3 Die Mondphase

Der Einfluss der lunaren Rhythmik auf die Abwanderung von Smolts wie in SCHWEVERS (1998 und 2003) beschrieben, wurde in dieser Untersuchung nicht betrachtet. Nach VOLLESTAD et al. (1986), HVIDSTEN et al. (1995) und JONSSON, JONSSON & RUUD-HANSEN (1985) konnte keine Korrelation der Abwanderung von Lachssmolts zu bestimmten Mondphasen festgestellt werden.

## 5.7 Abwanderungswege

Für die abwandernden Lachssmolts bieten sich im Lachsbach drei Möglichkeiten bzw. drei Abwanderungswege, die WKA Prossen zu passieren. Als erstes über den Anstaukanal und dann durch die Francis-Turbine ins Unterwasser; als zweites über das defekte Schlauchwehr, welches zum Anstau und zur Umleitung des Lachsbaches in den Anstaukanal dient und drittens über den Fischpass, der den Anstaukanal im Oberwasser mit der Restwasserstrecke im Unterwasser verbindet (siehe auch Grafik 3.1 in Material und Methoden).

Durch die Gegenüberstellung des in der Untersuchungszeit durchschnittlichen mittleren täglichen Abflusses von 3,14 m<sup>3</sup>/s und der Ausbauwassermenge der Turbine (maximal mögliche Wassereinleitung in die Turbine) wird deutlich, dass im Untersuchungszeitraum die Hauptströmung über den Anstaukanal und nicht über die Restwasserstrecke oder gar über den Fischpass abfließt. Über die Restwasserstrecke muss ganzjährig eine Mindestwassermenge von 400 Litern abgeleitet werden. Mit Blick auf die Abflussstatistik (Abb. 4.11 in Ergebnisse) wird klar, dass nur in Ausnahmefällen mehr Wasser über das Schlauchwehr bzw. die Restwasserstrecke fließt, als über den Anstaukanal abfließt. Auch über den Fischpass fließt generell nur eine sehr kleine Menge Wasser ab, sodass dieser Abwanderungsweg von Lachssmolts nur durch Zufall gefunden wird. Folglich befindet sich die Hauptströmung fast immer im Anstaukanal.

Weil abwandernde Smolts die Hauptströmung wählen (HESTHAGEN & GARNAS 1986; TESCH 1994) ist zu vermuten, dass nahezu alle Smolts über den Anstaukanal für die WKA Prossen abwanderten bzw. abwandern werden. Diese Vermutung bestätigt auch WOLF (2009). Hier hatten bei verschiedenen zur Auswahl stehenden Abwanderungswegen die mit dem größten Abfluss auch die meisten abwandernden Smolts. Kleinere potenzielle Abwanderungswege mit geringen Abflüssen wie z. B. der Hagengraben wurden von den Smolts nicht benutzt. Ähnliches kann so auch für die Restwasserstrecke am Lachsbach gelten, die überhaupt nicht bzw. sehr sporadisch als Abwanderungsweg genutzt wurde bzw. wird. Inwiefern Smolts den Stabrechen vor der WKA Prossen scheuen und gar wieder umkehren, geht aus der Untersuchung nicht hervor.

## 5.8 Der Stabrechen

Die Berechnungen der Breite aller erfassten Lachssmolts nach HÖFER & RIEDMÜLLER (1996) ergab, dass nahezu alle erfassten Smolts in der Lage waren, den 20 mm-Stabrechen am WKA Prossen zu passieren. Bei einer Totallänge von 13,1 bis 20,5 cm hatten sie eine berechnete Breite von 13,2 bis 20,7 mm.

Folglich bietet der installierte Rechen keine Barriere für das Einschwimmen von Lachssmolts, besonders unter dem Gesichtspunkt, dass im Lachsbach hauptsächlich 1+ Smolts abwandern, die durchschnittlich deutlich unter 20 mm breit sind. Auch einzelne große, im Hamen gefangene Exemplare waren mit einer berechneten Breite von 20,7 mm anscheinend in der Lage, den 20 mm-Stabrechen zu durchschwimmen. Ein Grund könnten auch größere Öffnungen im Stabrechen, die z. B. durch Treibgut entstanden sind, sein.

Ein anderer Grund kann nach ALLEN (1944) das vereinzelt Aufsteigen von Smolts sein, die den Hamen beim Aufsteigen passieren und beim Abwandern gefangen wurden. Ein Beweis, dass das Aufsteigen über den Hamen möglich war, zeigen die gefangenen Quappen. Diese konnten aufgrund ihrer Breite von deutlich über 20 mm nicht den Rechen, sondern müssen folglich stromaufwärts den Hamen passiert haben.

Rechen haben andererseits auch eine nicht zu unterschätzende Scheuchwirkung, die die Abwanderung zumindest unterbricht. Auch bei einer angebotenen Wanderhilfe in Form eines Bypasses schwammen 10 % der Smolts wieder stromaufwärts (LARNIER et al. 1993 aus SCHWEVERS 1998). Im Allgemeinen ist zu vermuten, dass es durch den Kontakt des Fisches mit dem Rechen zu erheblichen Schuppenverlusten kommt.

Wie auch in der Untersuchung festgestellt, scheint der Anströmdruck des Wassers bei der WKA Prossen relativ hoch zu sein, weil am Rechen mehrere Smolts angepresst und verendet aufgefunden worden sind.

## 5.9 Schädlichkeit der Francis-Turbine in Bezug auf die Abflussmenge

Durch die Ausbauwassermenge WKA Prossen von 2,43 m<sup>3</sup>/s und einer Abflussmenge des Lachsbaches während der Untersuchung von MQ = 3,14 m<sup>3</sup>/s wurde die Francis-Turbine während des gesamten Untersuchungszeitraumes mit Volllast gefahren. Folglich erreichte sie auch ihre maximale Drehzahl von 140 U/min, sodass von einer maximalen möglichen Schädigung dieser Turbine gegenüber Fischen ausgegangen werden kann (HEMSEN 1960; CRAMER & OLIGHER 1964). Es ist mit einer gleichbleibenden Schädigungsrate zu rechnen.

Für Berechnungen zur Berührungshäufigkeit von Fischen an den Turbinenradschaufeln, wie sie von v. RABEN (1957) durchgeführt wurden, fehlten leider die technischen Daten der Turbine wie Turbinendurchmesser, Anstellwinkel der Turbinenradschaufel und deren Anzahl. Aus diesen Berechnungen lässt sich zwar nicht die direkte Mortalität berechnen, sie gibt aber die Anzahl der Berührungen zwischen Fisch und Turbinenradschaufeln an. WOLF (2009) stellte eine schädigende Wirkung vom Rechen und besonders von der Francis-Turbine fest. Viele Fische und Rundmäuler, die im turbinenseitigen Fangkasten entnommen wurden, waren oft tot oder verletzt. Auffällig war dabei besonders, dass diese Fische fehlende Schuppen aufwiesen. Die Mortalität über alle erfassten Fische und Rundmäuler lag bei ca. 3 %.

Diese Aussagen von WOLF (2009) sowie die Ergebnisse aus Untersuchungen von HÖFER & RIEDMÜLLER (1996); v. RABEN (1957); SCHWEVERS (1998) und BERG (1987) stützen die Vermutung, dass die in der Untersuchung festgestellten Schäden in einer fischschädigenden Wirkung der WKA Prossen zu sehen sind.

### 5.9.1 Der Anstellwinkel

Ein Einfluss des jeweiligen Anstellwinkels der Turbinenschaufeln auf die Verletzungsrate der Fische bei unterschiedlichen Abflussmengen kann ausgeschlossen werden. Ein Verstellen des Anstellwinkels ist bei der Francis-Turbine der WKA Prossen nicht möglich. Die Veränderung des Anstellwinkels hat nach BERG (1987) einen Einfluss auf die Verletzungsrate. So wird bei geringerer Durchflussmenge der Anstellwinkel kleiner und die Verletzungsrate nimmt zu.

Bei der Francis-Turbine des WKA Prossen steigt mit zunehmendem Durchfluss die Drehzahl und somit auch die theoretische Schädigungsrate; mit abnehmendem Durchfluss sinkt diese folglich.

## 5.10 Mortalitäten

Eine Abhängigkeit zwischen der Totallänge der Lachssmolts und der direkten Mortalität konnte nicht nachgewiesen werden. Ein Grund dafür ist der zu geringe Stichprobenumfang. Des Weiteren waren die toten Smolts fast alle einheitlich groß, sodass keine Differenzierung möglich war.

Die direkte Mortalität durch die Turbinenpassage an der WKA Prossen ist mit ~ 6 % im Vergleich zu anderen Untersuchungen (HÖFER & RIEDMÜLLER 1996, TRAVADE, DARTIGUELONGUE & LARNIER 1987) mit bis zu 90 % als sehr gering einzustufen. Die Ursache(n) der direkten Mortalität konnte(n) nicht eindeutig geklärt werden. Zum einen kann eine Kollision des Fisches mit den Turbinenradschaufeln die Todesursache sein. Zum anderen können Lachssmolts aufgrund des geringen Platzes im Hamen, der zum Teil einer großen Anzahl von Smolts sowie der starken Strömung standhalten musste, ans Netz gepresst, dabei verletzt und dann auch zum Teil verendet sein.

Die Druckunterschiede der WKA Prossen mit einer Fallhöhe von nur 4,5 m sind als sehr gering zu bewerten, sodass Verletzungen und Mortalitäten ausgeschlossen werden können (FÜLLNER 1997). Dazu kommt die direkte Mortalitätsrate am Stabrechen von ~ 3 %. So werden zwar die Lachssmolts durch den Stabrechen zum Teil am Eindringen in die WKA gehindert, können jedoch nicht gegen die Strömung aus dem Gefahrenbereich fliehen, sondern werden aufgrund des Wasserdruckes gegen den Stabrechen gepresst. Hierdurch können äußere Verletzungen (Schuppenverluste) wie auch innere Verletzungen auftreten (ADAM et al. 1997).

Als Grenzgeschwindigkeit (maximale Strömungsgeschwindigkeit des Wassers, bei dem ein angepresster Fisch sich wieder vom Rechen lösen kann) ermittelten ADAM et al. (1997) in Laboruntersuchungen für Aale eine Fließgeschwindigkeit von 0,5 m/s. Für Lachssmolts wurde diese noch nicht ermittelt.

In den Arbeiten zum Thema Fischsterblichkeit durch die Turbinenpassage wird meist nur die direkte Mortalität erfasst (HÖFER & RIEDMÜLLER 1996; SCHWEVERS 1998). Aussagen zur indirekten Mortalität können nur ansatzweise getroffen werden. Hierunter wird der Tod von Fischen nicht unmittelbar nach der Turbinenpassage, sondern in einer gewissen Zeit danach verstanden. Gründe können Verletzungen sein, bei der ihre letale Wirkung erst zeitlich verspätet auftritt (siehe 5.10.1.1 Verletzungen der Haut). Überlebende Lachssmolts können nach der Turbinenpassage so betäubt sein, dass sie im Unterwasser leicht zu Opfern von Prädatoren werden (HVIDSTEN & HANSEN 1988; WOOD et al. 1993; ČADA 2001). In jedem Fall ist von einer gewissen sekundären Mortalität auszugehen. Als Kriterium der Schädlichkeit der jeweiligen Turbine bzw. Wasserkraftanlage reicht es somit nicht aus, nur die direkte Mortalitätsrate und Verletzungsrate heranzuziehen. Nach HOLZNER (1999) können so oft äußerlich unverletzte Fische zum Teil massive innere Verletzungen haben.

Nach HOLZNER (1999) treten die meisten Sekundärmortalitäten innerhalb von zwei Tagen nach der Turbinenpassage auf. Die Hälterungsbedingungen während der Untersuchungszeit sind als nicht optimal einzustufen, weil die 120 l-Container nur mit Luft belüftet wurden. Dadurch besteht die Möglichkeit, dass die in der Hälterung gehaltenen Smolts nicht aufgrund von Verletzungen, sondern aufgrund schlechter Haltungsbedingungen verendet sind.

Es muss des Weiteren davon ausgegangen werden, dass ein Teil (28 Stück) der während der Hälterung verendeten Smolts vor dem Röntgen wegen vorangeschrittener Autolyse aussortiert und nicht geröntgt wurden. Unter Umständen sind so Smolts aussortiert worden, die ebenfalls starke Wirbelsäulenverkrümmungen hatten.

## 5.10.1 Gewebeverletzungen vs. Mortalität

### 5.10.1.1 Verletzungen der Haut

Die mit dem Hamen gefangenen Smolts befanden sich in der ersten, zumeist aber in der zweiten Kehle des Steertsackes. Durch den relativ hohen Wasserdruck und die engen Kehlen hatten sie oft Kontakt zum Netz. Einige waren auch an das Netz gepresst, sodass davon ausgegangen werden kann, dass Schuppenverluste zum Teil durch den Netzkontakt beim Fang verursacht worden sind. Zum Teil hatten die Schuppenverluste eine Streifenform, die durch das Anpressen an den 20 mm Stabrechen herkommen kann oder durch einen Schlag mit einer Turbinenschaufel. Weil es sich dabei nur um jeweils eine Strieme handelt, ist dieser Schuppenverlust im Kontakt mit den Turbinenschaufeln zu sehen.

Eine oft beobachtete Verletzung besteht in der Verletzung der äußeren Hautschicht (Epidermis) wie auch der inneren Hautschicht (Corium). Dabei wird die Schleimschicht, die den Strömungswiderstand des Wassers senkt und als erste Barriere gegen Keime und Parasiten dient, zerstört. Des Weiteren bedeutet der Verlust der Schuppen eine Minderung des mechanischen Schutzes. Dies erleichtert und verstärkt um ein Vielfaches die vorher genannten negativen Auswirkungen auf den Fisch (SCHWABE 2008).

INGENDAHL (1993; in HOLZNER 1999) stellt bei abwandernden Lachssmolts Schuppenverluste am Schwanzstiel fest. Nach Beobachtungen befreien sich die in die Rechenstäbe geratenen Smolts mit starken Schwanzschlägen, von denen die genannten Verletzungen resultieren. Wie auch bei HOLZNER (1999) kann diese Art der Verletzung nicht eindeutig auf die Turbinenpassage zurückgeführt werden.

Durch eine Verletzung des äußeren Organs, der Haut, wird diese in ihrer Funktionalität stark eingeschränkt. Der Verlust der äußeren „Schutzschicht“ ist nicht unmittelbar letal (primäre Mortalität), sondern kann infolge einer Sekundärinfektion mit Pilzen (*Saprolegnia ssp.*) zum Tode führen. Man spricht dann von einer sekundären Mortalität (ČADA 2001).

Von einer gewissen Verletzung der Schleim produzierenden Epidermis ist bei allen gefangenen Smolts auszugehen, zum einen durch die Turbinenpassage, zum anderen auch durch den Kontakt des Fisches mit dem Netz des Hamens beim Fang. Bei 13,3 % (22 Stück) der gefangenen Smolts konnte ein Schuppenverlust festgestellt werden. Im Vergleich zu HOLZNER (1999) mit 57 % ist dies aber ein relativ kleiner Prozentsatz. Inwiefern es bei diesen Smolts zu einer Infektion mit Pilzen oder zum Befall

von Parasiten kam, konnte nicht beurteilt werden. Nur durch eine Langzeithälterung wie bei SCHWABE (2008) kann der Infektionsgrad geklärt werden. Im Vergleich mit den Ergebnissen aus HOLZNER (1999) und HÖFER & RIEDMÜLLER (1996) ist der Grad der äußeren, sichtbaren Verletzungen durch die Francis-Turbine der WKA Prossen insgesamt als gering einzuschätzen.

#### 5.10.1.2 Verletzungen der inneren Gewebe und Organe

Speziell Myolysen und innere Blutungen können auch parasitären Ursprungs sein. Hier sind z. B. Myxosporea zu nennen, bei denen vor allem der Befall mit Kudoa- & Unicapsula-Arten zur Myolyse von Muskelfasern führt. Diese Infektionen treten im Allgemeinen eher selten und meist nur im marinen Milieu auf. Auch die Ausbreitung der befallenen Abschnitte im Körper erfolgt erst postmortal (PRIEBE 2007).

Weiterhin gibt es giftige Dinoflagellaten, die Myolysen von Muskelfasern verursachen. Großes Fischsterben u. a. durch *Pfiesteria piscicida* kann die Folge sein. Für Fischarten im Süßwasser spielen giftige Dinoflagellaten aber nur eine untergeordnete Rolle, weil sie nahezu ausschließlich im marinen Bereich vorkommen.

In der Humanmedizin wie auch in der Veterinärmedizin sind Myolysen von Muskelfasern infolge von Krankheiten sehr bekannt (HASSLER 2000). Wahrscheinlicher jedoch ist die Entstehung einer Myolyse von Muskelfasern infolge einer Quetschung (BLANKL 2002), wie sie durch den Kontakt Fisch – Turbine aufgetreten sein kann.

„Die Folgen massiver traumatischer Muskelzerstörungen werden als Crush-Syndrom bezeichnet. Myoglobin wird analog wie Hämoglobin in der Niere abgelagert: sogenannte *myoglobinurische Nephrose* (kann in Zusammenhang mit dem Schock des ursächlichen Traumas bis zum Nierenversagen eskalieren)“, schrieb dazu BLANKL (2002). Inwiefern diese humanmedizinischen Erkenntnisse auch auf Fische übertragbar sind, ist bisher noch nicht erforscht. Doch auch im Fischmuskel ist Myoglobin enthalten, welches durch Muskelmyolysen austritt. Somit könnten ebenfalls beim Fisch Schädigungen der Nieren auftreten.

Auffällig ist, dass bei allen sechs histologisch untersuchten Smolts (3,6 % der 165 erfassten Smolts), die inneren Verletzungen dieselbe Örtlichkeit aufweisen - die Wirbelsäule selbst und den Bereich um die Wirbelsäule. Blutungen im Bereich der Niere, im Neuralbogen und im Rückenmark konnten bei allen sechs Smolts angetroffen werden. Bei einem der sechs histologisch untersuchten Smolts konnte sogar eine seitliche Zerstörung eines Wirbelkörpers festgestellt werden. Diese Verletzung war vermutlich nicht sofort letal, lässt aber eine exogene Druckeinwirkung vermuten. Alle sechs Smolts wurden nach dem Kriterium der Wirbelsäulenverkrümmung ausgesucht. Hiernach liegt die Vermutung nahe, dass alle 34 Smolts mit Wirbelsäulenverkrümmungen mehr oder weniger die benannten inneren Verletzungen aufweisen.

Auch bei HOLZNER (1999) traten die Blutungen im Gewebe, meist im Rückenbereich, und dort auch entlang der Wirbelsäule auf. Es wurden auch Blutungen in der Niere festgestellt. Aufgrund der Örtlichkeit der benannten Blutungen ist von einer gewissen Schädigung des Rückenmarks auszugehen. Bei HOLZNER (1999) waren bei 5 % aller erfassten Forellen (*Salmo trutta* & *Oncorhynchus mykiss*) Gewebe und innere Organe geschädigt.

Die Ähnlichkeit mit den Ergebnissen von HOLZNER (1999) unterstützt die Vermutung, die Ursachen der Schädigungen in der Turbinenpassage zu sehen. Um eine eindeutige Aussage über den Ursprung der inneren Verletzungen zu treffen, muss jedoch eine Vergleichsprobe herangezogen werden. Dazu sollten Smolts verwendet werden, die im Röntgenbild keine verkrümmte Wirbelsäule zeigen bzw. keiner Turbinenpassage ausgesetzt waren. Dabei ist zu beachten, dass sie dem gleichen Gewässer und Jahrgang angehören.

#### 5.10.2 Wirbelsäulenverkrümmungen vs. Mortalität

*Salmo salar* lässt sich besonders gut in seinem juvenilen Stadium aufgrund der Größenverhältnisse mit *Salmo trutta* vergleichen. Ergebnisse aus der Literatur von *Salmo trutta* u. a. von HOLZNER (1999) sollen daher als Vergleich herangezogen werden.

Verkrümmungen des Skeletts in dieser Form nach einer Turbinenpassage konnten nur in JAGSCH et al. (2006) bei einer Röntgenaufnahme einer Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) gefunden werden. Auch hier wurde eine Skoliose (zwei seitliche Verkrümmungen) in ähnlicher mittlerer Lage der Wirbelsäule in der Projektion von ventral festgestellt. Im Grad der Verkrümmung ist die größte der beiden mit denen in der Untersuchung vom Lachsbach festgestellten stärksten Verkrümmungen vergleichbar. Dabei handelte es sich, der Aufnahme nach zu urteilen, um ungefähr eine Wirbelbreite im Vergleich zum an der WKA

Prossen festgestellten maximalen Verkrümmungsgrad von 1,5 Wirbeln. In der Röntgenaufnahme der erwähnten Regenbogenforelle aus latero-lateraler Sicht ist bei JAGSCH et al. (2006) und auch bei der Röntgenaufnahme einer Renke (*Coregonus lavaretus* L.) in REICHENBACH-KLINKE (1974) im Vergleich mit der Untersuchung an der WKA Prossen ebenfalls so gut wie keine Verkrümmung der Wirbelsäule zu erkennen. Dies kann ein weiteres Indiz sein, dass nur ein seitlicher Druck gewirkt hat.

Weil auch bei JAGSCH ET AL. (2006) nur einzelne Fische geröntgt wurden, ist davon auszugehen, dass auch hier ein großer, aber unbestimmter Teil der Untersuchungsfische eine Wirbelsäulenverkrümmung aufwies. Aufgrund der Ähnlichkeit des klinischen Bildes kann auch für die am Lachsbach aufgetretenen Verkrümmungen als Ursache eine Quetschung infolge der Turbinenpassage vermutet werden.

Wie sich bei der Literaturrecherche herausstellte, werden Röntgenbilder zur Diagnosefindung im Allgemeinen aber so gut wie nie eingesetzt und nicht zu Ermittlungen von Verletzungen, die speziell durch eine Turbinenpassage aufgetreten sein könnten, herangezogen. In der Veterinärmedizin sind sie aber zur Diagnosefindung bei Zierfischen üblich (BÖTTCHER 2000).

Die Veränderungen der Wirbelsäule in Form von Verkrümmungen (Skoliose), wie sie in der Untersuchung festgestellt wurden, sind als krankhaft oder als Verletzungen einzustufen. Dies wird besonders im Vergleich zu Normalbildern einer Bachforelle (*Salmo trutta fario*) wie auch mit Röntgenbildern von anderen Fischarten in REICHENBACH-KLINKE (1974) deutlich. Speziell in der dorso-ventralen Projektion besteht kein Zweifel in der Anomalie der festgestellten Rückgratverkrümmungen im Vergleich zum Normalbild. In REICHENBACH-KLINKE (1974) wurden durch Zufall ebenfalls Rückgratverkrümmungen bei einer Renke (*Coregonus lavaretus* L.) entdeckt, wobei sich auch hier in der latero-lateralen Ansicht nur schwache Verbiegungen und erst in der dorso-ventralen Ansicht erhebliche Verkrümmungen zeigten. Die Verkrümmungen umfassten hier je vier Wirbel: den 12. bis 15. und den 26. bis 29. Im Vergleich der Röntgenaufnahmen der Renke mit denen der Lachssmolts umfasst die seitliche Verkrümmung der Wirbelsäule mehr als nur vier Wirbel. Die Zahl der die Verkrümmung umfassenden Wirbel hängt anscheinend stark von der Zählweise ab. Bei JAGSCH et al. (2006) und REICHENBACH-KLINKE (1974) umfassten die Verkrümmungen je 4 Wirbel, in der am Lachsbach durchgeführten Untersuchung jedoch durchschnittlich 8,2 Wirbel. Geht man nach ähnlicher Verfahrensweise wie bei der Auswertung der Ergebnisse vom Lachsbach vor, müsste bei den Röntgenaufnahmen von JAGSCH et al. (2006) und REICHENBACH-KLINKE (1974) eine Wirbelzahl von 8 bis 10 herauskommen.

Ein ganz anderes Bild von einer Rückgratverkrümmung ergibt sich aus dem Röntgenbild einer Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) nach überstandener Drehkrankheit. So sind hier in der dorso-ventralen Projektion nur geringe Verkrümmungen (Skoliose), aber in der latero-lateralen Projektion sehr starke Verkrümmungen des Rückgrates (Lordose) zu erkennen. Diese Verkrümmungen umfassen dabei einen Bereich, der sich teilweise über mehr als die Hälfte der Länge der Wirbelsäule erstreckt.

Laut VOLKMANN (mündlich, 2011) können Wirbelsäulenverkrümmungen durch den Fang von Fischen mit Hilfe eines Elektrofisherscherefanggerätes entstehen. Diese sind zuerst äußerlich nicht erkennbar. Durch Beobachtungen während der Hälterung in Aquarien wurden im Laufe der Zeit die Verkrümmungen auch nach außen hin sichtbar. Das die Wirbelsäule umfassende Muskelgewebe muss sich so den Verkrümmungen angepasst haben.

Ein signifikanter schädlicher Einfluss des Elektrofishens für diese Untersuchung kann aber ausgeschlossen werden. Gerade bei den am 06.05.2010 ausschließlich durch Elektrofishen gefangenen Smolts (43 Stück), die noch am selben Tag geröntgt wurden, wiesen nur zwei Smolts Verkrümmungen auf. Im Verhältnis zu den „normal“ gefangenen Smolts wurden bei diesen unterdurchschnittlich wenige Verkrümmungen festgestellt. Andere Möglichkeiten sind, dass diese Smolts die Turbinenpassage am besten überstanden haben und deshalb nicht in den Hamen eingeschwommen, vom Unterwasser wieder aufgestiegen oder gar über den Rechenreiniger ins Unterwasser gelangt sind. Erst mit dem Elektrofishereigerät konnten sie gefangen werden.

Nach VOLKMANN (mündlich, 2011) können Wirbelsäulenverkrümmungen durch unsachgemäßes Elektrofishen verursacht werden. Nach einer gewissen Zeit werden diese auch äußerlich beim Fisch sichtbar. Das heißt, das Muskelgewebe „passt“ sich nach und nach der „neuen“ Form der Wirbelsäule an, sodass die Verkrümmungen auch äußerlich sichtbar werden. Bei den erfassten Fischen mit Verkrümmungen konnten äußerlich keine Formveränderung festgestellt werden, sodass die Ursache der Verkrümmungen nicht allzu fern der Vergangenheit zu vermuten ist. Zeitlich gesehen können daher die Wirbelsäulenverkrümmungen ihren Ursprung in der Turbinenpassage haben.

Gleichzeitig sind die festgestellten Wirbelsäulenverkrümmungen als irreversibel einzuschätzen. Auch beim Menschen sind Wirbelsäulenverkrümmungen nur bis zu einem bestimmten Grad umkehrbar. Das heißt, dass ohne eine Behandlung der Verkrümmung diese auch nicht heilbar bzw. reversibel sind. So kann davon ausgegangen werden, dass sich Rückgratverkrümmungen bei Knochenfischen manifestieren, weil diese nicht behandelt werden können.

Die Rückgratverkrümmungen der betroffenen 34 Smolts hatten eine unterschiedlich stark Ausprägung, sodass von einer geringen bis starken Schädigung gesprochen werden kann. Welche Folgen sich für den jeweiligen Lachssmolt ergeben, kann nicht abgeschätzt werden, weil diesbezügliche Untersuchungen fehlen. Manche nicht so starken Verkrümmungen werden vielleicht bis zu einem gewissen Grad keine Nachteile für den Smolt haben, andere vielleicht sogar das Überleben unmöglich machen. Entscheidend dabei sind die Umweltbedingungen. Inwiefern der Grad der beobachteten Verkrümmungen zum Tode führt, kann nicht beantwortet werden.

Bei den gefangenen, aufgestiegenen adulten Lachsen waren keine äußerlich sichtbaren Verkrümmungen zu erkennen. Theoretisch ist es daher möglich, dass Lachse mit bzw. aufgrund ihrer Verkrümmungen während des Aufenthalts im Meer verendet sind.

Zu der direkten Mortalität von ~ 3 % am Stabrechen und ~ 6 % nach der Turbinenpassage würde im schlimmsten Fall (Worst-Case-Szenario) eine indirekte Mortalität in Höhe von 31,6 % kommen. Dies würde einer Gesamtmortalität von 40,6 % entsprechen. Hinzu kommen dann noch Verluste durch eventuelle Sekundärinfektionen, die bereits im Lachsbach ihren Ursprung hatten. Weil die Auswirkungen der festgestellten Rückgratverkrümmungen nicht bekannt sind, ist eine Vermutung bzw. Schätzung über Mortalitätsraten aber sehr schwer aufzustellen. Es wird jedoch sichtbar, wie schnell sich einzelne Mortalitäten zu einer relativ hohen Gesamtmortalität addieren.

Wirbelsäulenverkrümmungen oder auch Anomalien können andererseits auch viele andere exogene Ursachen haben. Dies gilt es bei einer abschließenden Beurteilung der geröntgten Smolts mit Wirbelsäulenverkrümmungen zu berücksichtigen. Nach SMITH & SMITH (1994) zählen dazu u. a. ernährungsbedingte Mangelerscheinungen, parasitärer Befall, umweltbedingte oder toxische Insulte (Schlaganfall), entwicklungsbedingte Anomalien, genetische Defekte und traumatische Verletzungen. So können z. B. entweder durch Vitamin-C-Mangel oder eine Toxaphen-Vergiftung Verkrümmungen auftreten. Auch in anderen wissenschaftlichen Arbeiten konnten Veränderungen des Skelettsystems aufgrund von Medikamenten (TOFTEN & JOBLING 1996), von Pestizideinwirkungen (MIDDAUGH et al. 1990), der Wasserströmung (DIVANACH et al. 1997), der Wirkung bestimmter Krankheitserreger oder von Futterinhaltsstoffen (MADSEN & DALSGAARD 1999, aus BÖTTCHER et al. 2000) auftreten.

Die meisten Smolts (86,7 %) wiesen keine äußerlichen Verletzungen auf. Dies entspricht auch den Ergebnissen von JAGSCH et al. (2006), die ebenfalls nach dem Prinzip von HOLZNER (1999) die Verletzungsart bewerteten. Hierbei stellte sich eine fast annähernd gleiche Zahl von 86,9 % unverletzte Fische (alle gefangenen Arten) ein.

Eine neuartige von Adolf Brinnich entwickelte Wasserkraft-Staudruckmaschine zeigte im „Worst-Case-Szenario“ eine Verletzungsrate von 13,1 % (davon 5,1 % letal). Röntgenaufnahmen zeigten dabei starke Verkrümmungen und Abrisse der Wirbelsäule. Trotz der hier festgestellten relativ geringen Mortalitätsrate bleiben die zum Teil schweren Verletzungen als großes Negativum festzuhalten. 13,1 % Verletzungsrate sind zwar als gering, aber nicht vernachlässigbar einzustufen. BERG (1987) wiederum stellte bei zahlreichen äußerlich unverletzten Aalen und HOLZNER (1999) bei Bach- und Regenbogenforellen (*Salmo trutta* und *Oncorhynchus mykiss*) innere Verletzungen wie Blutungen und Wirbelfrakturen erst bei einer anschließenden Sektion fest.

Die Verkrümmungen der Wirbelsäule, die seitliche Zerstörung eines Wirbelkörpers bei einem Smolt und die Örtlichkeit der Gewebeerletzungen könnten einen gemeinsamen Ursprung haben. So ist es vielleicht möglich, dass durch eine abrupte Lageveränderung der Wirbelsäule bzw. der Wirbelkörper Risse in den angrenzenden Geweben hervorgerufen wurde. Ursache dafür können eine exogene Druckeinwirkung (mechanische Schlagwirkung) oder eine Quetschung des Muskelgewebes durch einen nicht schneidenden, stumpfen Gegenstand, z. B. einer Turbinenradschaufel, sein. Durch Krankheit entstandene Lageveränderungen der Wirbelsäule sind zwar, wie aus der Literatur bekannt, möglich, treten aber meist nicht gleichzeitig mit Verletzungen in Form von Geweberissen und Myolysen auf. Gerade die örtliche Nähe der Gewebeerletzungen zu den Wirbelsäulenverkrümmungen, die Teilerstörung eines Wirbelkörpers sowie der Gewebeerletzungen lassen die Vermutung zu, dass die Verletzungsursache im Kontakt des Fisches mit Teilen der Turbine zu suchen ist. Hierfür spricht auch die Tatsache, dass die inne-

ren Verletzungen bei allen sechs histologisch untersuchten Smolts an der gleichen Stelle auftraten. Ebenfalls war die Art der Verletzungen sehr ähnlich.

Wie auch schon im Teil Gewebeerletzungen angesprochen, kann die Ursache der Wirbelsäulenverkrümmungen nur näher eingegrenzt werden, indem neben den Lachssmolts, die eine Turbine „durchschwommen“, auch Lachssmolts geröntgt werden, die die Turbine nicht „durchschwommen“ haben. Im Vergleich dieser beiden Gruppen könnten die Auswirkungen der Turbinenpassage eindeutiger von möglichen anderen Ursachen für eine Rückgratverkrümmung abgegrenzt bzw. zugeordnet werden. Zwei wichtige Voraussetzungen, um zeitlich begrenzte Einflüsse abzugrenzen, sind, dass die Lachssmolts der Vergleichsgruppen im gleichen Habitat aufgewachsen sind und dem gleichen Jahrgang angehören.

## 5.11 Die Schwimmblasenverlagerung

Nach eigener Einschätzung konnte bei ~ 71 % aller geröntgten Smolts (114) eine Schwimmblasenverlagerung festgestellt werden. Dies würde auch dem Verletzungsbild der histologischen Untersuchungen entsprechen. Äußere mechanische Druckwirkungen könnten so auch zu einer Schwimmblasenverschiebung geführt haben. Aus Mangel an Erfahrung kann die Richtigkeit dieser Einschätzung nicht garantiert werden. Zum einen fehlen Vergleichsaufnahmen von gesunden Smolts ohne Turbinenpassage, zum anderen kann auch die subjektive Bewertung der Röntgenaufnahme zu Fehleinschätzungen geführt haben. Zu einem Großteil entsprechen die Schwimmblasenverlagerungen die der relativ veränderten Lage der Wirbelsäule (betrachtet bei einer Verkrümmung). Das heißt, dass bei einer seitlichen Wirbelsäulenverkrümmung sich auch die Schwimmblase in die gleiche Richtung verlagert hat.

Eine weitere mögliche Quelle, die zu einer Fehleinschätzung in der Bewertung der Röntgenaufnahmen führt, ist die Röntgenaufnahme selbst. Einige Smolts lagen bei der Röntgenaufnahme leicht schief auf dem Lagerungstisch der Röntgenanlage und wurden folglich nicht exakt in dorso-ventraler Sicht geröntgt. Hierdurch kommt es dann zu einer scheinbaren Lageveränderung der Schwimmblase zur Wirbelsäule. Auf der Röntgenaufnahme entsteht so der Eindruck, dass die Schwimmblase seitlich verlagert ist.

# 6 Schlussfolgerungen

Bis heute wird in der Fischmedizin die Röntgenographie nicht oft zur Diagnose von Erkrankungen bzw. von möglichen inneren Verletzungen genutzt. Gerade aber in dieser Untersuchung hat sich gezeigt, dass die Röntgenographie zusammen mit der Gewebeuntersuchung ein hervorragendes Diagnosemittel ist. Nur so war es möglich, die inneren Verletzungen festzustellen. Ohne dieses Diagnosemittel hätten die Lachssmolts nach der Turbinenpassage nur äußerlich betrachtet werden können. Ein Verdacht auf eine sekundäre Mortalität infolge von inneren Verletzungen wäre so nahezu unmöglich.

Die festgestellten massiven bis hochgradigen Wirbelsäulenverkrümmungen vor allem aus dorso-ventraler Sicht stehen im direkten Zusammenhang mit den inneren Verletzungen. Beim Vergleich mit HOLZNER (1999) und JAGSCH et al. (2006) wird deutlich, dass die Ursache dieser Verletzungen in der Turbinenpassage zu sehen ist. Um die festgestellten Verletzungen von anderen möglichen Ursachen abgrenzen zu können, müsste eine zweite vergleichende Untersuchung durchgeführt werden.

Die zur Gewebeuntersuchung eingeschickten Smolts zeigten innere Verletzungen. Es wurden nur Smolts ausgewählt, die im Röntgenbild deutliche Verkrümmungen erkennen ließen. Wichtig wäre es herauszufinden, inwiefern Smolts mit weniger starken bzw. keinen Verkrümmungen nach der Turbinenpassage innere Verletzungen aufweisen. Hierzu sollte bei zukünftigen Untersuchungen eine Gewebeuntersuchung Klarheit verschaffen. So lässt sich dann genauer abschätzen, in welchem Zusammenhang die inneren Verletzungen mit dem Verkrümmungsgrad stehen.

Die Untersuchung zeigt, dass Smolts nach der Turbinenpassage zwar äußerlich unverletzt sind, aber dennoch innere Verletzungen aufweisen können. Diese können zeitlich verzögert auch zum Tod führen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die WKA Prossen die Lachssmolts schädigt.

Ein ganz entscheidender Fakt der Wirbelsäulenverkrümmungen ist ihre Irreversibilität. Dabei könnte eine Langzeithälterung von turbinenpassierten Smolts mögliche negative Auswirkungen von Hautverletzungen sowie Verwachsungen an den Wirbelsäulenverkrümmungen aufzeigen. Die sekundäre Mortalitätsrate würde sich so besser abschätzen lassen. Auch das Röntgen von aufgestiegenen adulten Lachsen wäre interessant, weil hier überprüft werden kann, ob es unter ihnen auch Lachse mit Wirbelsäulenverkrümmungen gibt.

Bis jetzt ist es im Wiederansiedlungsprogramm des Lachsbaches noch nicht gelungen, eine sich selbstständig reproduzierende Lachspopulation zu etablieren. Die Anzahl der Wiederkehrer im Lachsbach stagniert nach einem anfänglichen Anstieg am Beginn des Programms seit Jahren. Die Gründe dieser Stagnation können sehr vielfältig sein. Daher ist es sehr wichtig, potenzielle Verlust- bzw. Mortalitätsquellen in den verschiedenen Entwicklungsstadien des Lachses zu untersuchen. Gerade bei kleinen Populationen wie der im Lachsbach stellen auch geringe, anthropogen verursachte Mortalitäten eine Gefahr für die Etablierung eines stabilen Lachsbestandes dar. Jeder Smolt ist ein potenzieller Wiederkehrer und daher zu schützen!

Bei der Einschätzung der Wirbelsäulenverkrümmungen ist die Qualität der Röntgenaufnahmen von besonderer Bedeutung. Wie sich bei den erstellten Aufnahmen zeigte, sind der Grad der Verkrümmung sowie die Lage der Schwimmblase entscheidend von der Ausrichtung des Fisches bei der jeweiligen Projektion abhängig. Gerade bei der dorso-ventralen Projektion muss der Fisch exakt ausgerichtet sein. Wie bei einigen Aufnahmen zu erkennen, ließ die Schiefelage einiger Smolts keine genaue Einschätzung der relativen Lage der Schwimmblase zur Wirbelsäule zu. Bei allen Ergebnissen sind jedoch mögliche Interpretationsfehler, insbesondere bei der Einschätzung der Wirbelsäulenverkrümmungen und der Schwimmblasendislokationen, zu berücksichtigen.

Die Reinigung des Hamens während des Betriebs der Wasserkraftanlage gestaltete sich für eine Person sehr schwierig. Um den nötigen Durchfluss zu garantieren sowie ein Abreißen des Hamens infolge von Verstopfung zu verhindern, ist eine Reinigung zweimal am Tag zwingend notwendig. Für eine leichte Reinigung sollte darum die WKA, wie in der Untersuchung geschehen, heruntergefahren werden. Ohne das Herunterfahren der Turbine wäre eine komplette Reinigung des Hamens nicht möglich gewesen und hätte vermutlich zum Abreißen des Hamens geführt.

Der Hamen selbst hat sich zum Fang für Smolts bewährt. Wie aber in der Diskussion schon angesprochen, war ein sicherer, fischdichter Verschluss des Auslaufkanals nicht möglich. Ein Fangkasten wie er bei WOLF (2009) verwendet wurde, stellt vielleicht eine Alternative dar. In jedem Fall besteht aber Verbesserungspotenzial.

Schlussendlich muss von einem gewissen negativen Einfluss der WKA Prossen auf die gesamte Lachspopulation des Lachsbaches ausgegangen werden. Um die dafür aufgestellten Vermutungen zu bestätigen, bedarf es einer weiteren Untersuchung. Eine Möglichkeit wäre, Smolts oberhalb der WKA zu fangen, um weitestgehend auszuschließen, dass diese schon einmal die Turbine der WKA passiert haben, und zu markieren. Diese Smolts sind zu röntgen und dann durch die Turbine zu „zwingen“. Anschließend müssen genau diese Smolts unterhalb der Turbine wieder gefangen und geröntgt werden, um ein Vorher-Nachher-Bild zu bekommen. Nur so können mögliche andere Ursachen bzw. Fehlerquellen ausgeschlossen werden.

Eine sehr schonende Untersuchungsmethode wäre der Einsatz eines mobilen Röntgengerätes. Hierbei könnten die gefangenen Smolts vor und nach der Turbinenpassage narkotisiert und weitestgehend ohne Todesfolge geröntgt werden. Im Idealfall sollten 100 und mehr Smolts in der Untersuchung betrachtet werden, um statistisch aussagekräftige Daten zu erhalten. Auch um einen Überblick über die Gesamtzahl an abwandernden Smolts zu erhalten, empfiehlt es sich, ebenfalls weitere Fänge bzw. Untersuchungen während der jährlichen Smoltabwanderung durchzuführen.

Weltweit gesehen wird Wasserkraft auch in Zukunft eine immer größere Rolle spielen und besonders in Entwicklungsländern als günstige Energieerzeugung an Bedeutung gewinnen. Im Zuge der „Energiewende“ hin zu erneuerbaren Energien wird selbst in Industrieländern wie Deutschland die Wasserkraft in einem bestimmten Maße ausgebaut werden. Hier gilt es, im Besonderen die fischökologischen Aspekte in die zukünftige Wasserkrafttechnik mit einfließen zu lassen. Der Rückbau bzw. Umbau von

Wasserkraftanlagen hin zu moderneren, fischfreundlicheren Anlagen ist nach wie vor die beste Möglichkeit, der Degradierung von Lebensräumen entgegen zu wirken.

Bis jetzt gibt es im Lachsbach nur eine Fischaufstiegsanlage, aber noch keine Fischabstiegsanlage. Bei einem Neubau der Wasserkraftanlage Prossen würden sich Möglichkeiten ergeben, eine moderne, fischfreundlichere Wasserkraftnutzung umzusetzen. Im Folgenden sollen dazu einige fischfreundlichere technische Lösungen aufgezeigt werden.

Schon in den 1990er-Jahren strebte das U.S. Department of Energy im AHTS (Advanced Hydropower Turbine System)-Programm die Entwicklung neuer, umweltfreundlicherer Turbinen an. ČADA et al. (1999) konnte diese Entwicklungen bestätigen und ein Modell einer fischfreundlichen Turbine, die eine erhöhte Überlebensrate von turbinenpassierten Fischen ermöglichen soll, entwickeln. Erste Erfolge gab es mit neuen belüftenden Turbinen, die den Sauerstoffgehalt im Unterwasser einer WKA erhöhen. Bereits in ČADA (2001) werden erste Erfolge in der Verbesserung des Designs von konventionellen Turbinen z. B. Kaplan-Turbinen und der damit einhergehende Anstieg in der Überlebensrate von Fischen aufgezeigt.

Die in JAGSCH et al. (2006) untersuchte Staudruckmaschine ist in ihrer Schädlichkeit gegenüber Fischen im „Worst-Case-Szenario“ im Vergleich mit der WKA Prossen als schlechter einzustufen. Sie stellt daher keinen äquivalenten Ersatz dar.

Rechenanlagen, Scheuch- oder Ablenkvorrichtungen bedürfen einer ausreichenden Bypass-Strömung, die die strömungsorientierten Lachssmolts weiterführt. Scheuchvorrichtungen müssen in einem ausreichenden Abstand vor dem Einlaufrechen installiert sein (BERG 1987). Bei der WKA Prossen wird ein Großteil des Wassers des Lachsbaches durch ein Streichwehr in den Anstaukanal geleitet. Über das Wehr selbst fließt nur ein wenige Zentimeter hoher Wasserschwall. Besonders problematisch bei diesem Wehr ist die lang geneigte Abfallkante (siehe Bild 3.1). Hier besteht allgemein ein großes Verletzungsrisiko für migrierende Fische. Des Weiteren wählen die abwandernden Smolts die Hauptströmung und meiden Engstellen wie z. B. den nur wenige Zentimeter hohen Überfluss des Wehrs. Es ist somit davon auszugehen, dass nahezu 100 % der abwandernden Smolts den Weg in den Anstaukanal wählen und dadurch die Turbine passieren müssen. Scheueinrichtungen müssen, um wirkungsvoll arbeiten zu können, vor dieser Abzweigstelle gebaut werden. Auch BERG (1987) präferiert den Einsatz von technischen Scheueinrichtungen im ausreichenden Abstand vor Kraftwerkskanälen (HÖFER & RIEDMÜLLER 1996).

Eine wirksame Minimierung von Fischschäden an der WKA Prossen kann nicht durch Verhaltensbarrieren, sondern nur durch mechanische Barrieren und Bypässe erreicht werden. Eine an der WKA Prossen praktikable und bezahlbare Möglichkeit zur Schadensminimierung bietet ein sog. Horizontalrechen in verschiedenen Konstruktionsarten (Stabrechen, Trommelschirm bzw. -rechen u. a.). Aufgrund der leichten Hochrückigkeit, die fast jede Fischart aufweist, hat bei gleicher Rechenstabweite ein Horizontal- gegenüber Vertikalrechen weniger Fischdurchlässigkeit. Auch kleinere Rechenstabweiten mit einem Wasserdurchlass bis  $> 50 \text{ m}^3/\text{s}$  sind nach dem heutigen technischen Entwicklungsstand realisierbar. Diese Möglichkeit ist am WKA Prossen in gewissem Maße auch umsetzbar. Nach DUMONT (2010b) ist ein effektiver Schutz für abwandernde Lachssmolts nur bei einem Rechenstababstand von  $d_v < 10 \text{ mm}$  möglich. Auch die Gefahr des Anpressens am Rechen wird erst bei einer Strömungsgeschwindigkeit von  $v_a \leq 0,5 \text{ m/s}$  weitestgehend ausgeschlossen.

Bei der Anordnung eines Horizontalrechens gibt es an der WKA Prossen zwei Möglichkeiten. Zum einem könnte der Horizontalrechen kurz nach dem Ausstieg der bestehenden Fischaufstiegsanlage installiert werden, um so die Fischaufstiegsanlage auch als Fischabstiegsanlage zu nutzen. Der Horizontalrechen sollte dabei schräg zur Fließrichtung angebracht werden. Hierdurch würde auch die bis jetzt bestehende Sackgasse vermieden werden, die durch den Anstaukanal entsteht. Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Horizontalrechen schräg zur Sohle anzuordnen, bei dem die absteigenden Fische über eine oberhalb am Rechen eingerichtete Einstiegsöffnung in eine Querrinne gelangen, die sie ins Unterwasser führt. Bei der Anordnung des Horizontalrechens direkt vor der Turbine müsste ein zusätzlicher Bypass in Form einer Querrinne, die an der WKA vorbei ins Unterwasser führt, gebaut werden. Dies bedeutet aber einen Mehraufwand im Vergleich zur ersten Anordnungsmöglichkeit. Allgemein sollte der Rechenstababstand von derzeit 20 mm auf mindestens 15 mm verkleinert werden. Bei der jetzigen Rechenweite von 20 mm ist es nahezu allen Smolts möglich, diesen zu passieren (DUMONT 2010b).

Bei einem aus ökonomischen Gründen erforderlichen Neubau der WKA Prossen könnte eine fischfreundliche Anlage mit einer ideal angeordneten Fischaufstiegsanlage, die eine auf den Lachsbach abgestimmte Kapazität aufweist, entstehen.

Die Unterschiede in der Artenzahl und ihren Häufigkeiten zu den Ergebnissen des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (siehe Anhang 1; Tab.: 4.3A) sind sowohl in der Fangmethode als auch in den unterschiedlichen von Jahreszeiten abhängigen Wanderungen zu suchen. Der Aal z. B. wandert bevorzugt im Herbst. Der Leitfisch der Äschenregion, die Äsche (*Thymallus thymallus*), wurde überhaupt nicht gefangen. Größere Fische, vor allem die gefangenen Quappen (*Lota lota*) und Plötzen (*Rutilus rutilus*), können aufgrund ihrer Breite nicht den Stabrechen passiert haben. Sie müssen daher in der Nacht den Hamen stromaufwärts passiert haben und anschließend in den Hamen eingeschwommen sein.

Durch die Verbesserung der Wasserqualität in der ersten Hälfte der 1990er-Jahre und den Rückbau von Querbauwerken in den ostdeutschen Bundesländern konnten sich die Bestände gefährdeter Fischarten erholen. In der Elbe wurden so z. B. wieder Meer- und Flussneunaugen nachgewiesen. Auch das Lachsbachsystem zeichnet sich durch seine Durchgängigkeit, die hohe Wasserqualität und Naturnähe insbesondere des Bachbettes aus. Während der Untersuchung konnten vier in der Roten Liste geführte Arten gefangen werden, die ohne den Atlantischen Lachs zusammen einen Anteil von 13,2 % ausmachten. Der Fang dieser gefährdeten Fischarten unterstreicht die naturnahen Verhältnisse, die im Lachsbachsystem zu finden sind (siehe auch Tab. 4.4).

## 7 Zusammenfassung

Bei der Untersuchung an der WKA Prossen sind über den Zeitraum von zehn Versuchstagen insgesamt 165 Lachssmolts mit einem Hamen und durch Elektrofischen gefangen worden. Hiervon wurden 114 Stück geröntgt und sechs davon einer histologischen Gewebeuntersuchung zugeführt.

Im Hamen sind neben dem Atlantischen Lachs (*Salmo salar*) 13 weitere Fischarten gefangen und in ihrer Stückzahl registriert worden. Von den 17 aus der Polenz bekannten Fischarten konnten während der Untersuchung 10 nachgewiesen werden. Die Schleie (*Tinca tinca*), der Spiegelkarpfen (*Cyprinus carpio carpio*) und der Goldfisch (*Carassius auratus auratus*) zählen nicht zu den in der Polenz bzw. im Lachsbach heimischen Fischarten. Sie stammen vermutlich aus Teichen im Oberlauf. Mit der Smolt-Fanganlage in Form eines Hamens wurden in der Untersuchungszeit erfolgreich Lachssmolts gefangen. Sie hat somit ihre prinzipielle Funktionstüchtigkeit unter Beweis gestellt. Weil es aber mit dem Hamen nicht möglich war, den Auslaufkanal hermetisch abzuriegeln, ist auch eine Bewertung der Fangeffektivität nicht möglich.

Eine direkte Abhängigkeit der Abwanderung von der mittleren Durchflussmenge und der Wassertemperatur konnte in der Untersuchung nicht nachgewiesen werden. Teilweise zeigten sich in den Ergebnissen Übereinstimmungen mit den in der Literatur beschriebenen Abhängigkeiten. Diese sind aber statistisch nicht relevant. So stieg an drei Tagen zusammen mit dem mittleren Durchfluss auch die Abwanderungs- bzw. Fangzahl der Smolts an. Wie in der Literatur beschrieben, ist die Abwanderung und speziell der Auslöser der Abwanderung oft von mehreren Faktoren abhängig und bis heute nicht eindeutig bekannt.

Es wurden insgesamt 114 Smolts geröntgt. Bei 36 Smolts traten neben der Lordose bzw. Kyphose (Verkrümmung der Wirbelsäule nach dorsal bzw. nach ventral) fast ausschließlich Skoliosen, eine seitliche Verkrümmung der Wirbelsäule aus dorso-ventraler Sicht, auf. Hierbei konnten eine bis mehrere (fünf) Verkrümmungen auf den Röntgenaufnahmen beobachtet werden. Sie sind im Vergleich mit JAGSCH et al. (2006) als leicht bis schwer einzuschätzen.

Bei der Gewebeuntersuchung von sechs dieser mit Skoliose betroffenen Smolts wurden Verletzungen der Wirbelsäule und angrenzender Körperregionen festgestellt. Dabei handelte es sich um Blutungen im Neuralbogen, im Bereich des Rückenmarks und in der Niere. Des Weiteren traten auch Myolysen von Muskelfasern auf und bei einem Smolt (III 2) konnte sogar eine seitliche Zerstörung bzw. Fraktur eines Wirbelkörpers festgestellt werden. Nach der Literatur können diese Veränderungen im Skelett sowie die inneren Verletzungen verschiedene Ursachen haben. Hierbei spielen u. a. ernährungsbedingte Mangelerscheinungen, parasitärer Befall, umweltbedingte oder toxische Insulte, entwicklungsbedingte Anomalien, genetische Defekte und traumatische Verletzungen eine Rolle.

Die seitliche Zerstörung eines Wirbelkörpers bei einem Smolt mit Rückgratverkrümmungen sowie das örtlich und zeitlich gemeinsame Auftreten der Verletzungen bzw. Veränderungen lassen den Verdacht einer exogenen Druckeinwirkung zu. Es ist im

Vergleich mit ähnlichen Untersuchungen sogar hochwahrscheinlich, dass diese Wirbelsäulenverkrümmungen und inneren Verletzungen der Turbinenpassage zuzuordnen sind. Bei den untersuchten Abflussverhältnissen (Volllast) ist die direkte Schädigung der WKA Prossen zu vergleichbaren Anlagen relativ gering. Somit zählt sie eher zu den weniger fischschädlichen WKA. Dies wird besonders bei der direkten Mortalität (Rechen und Turbine) deutlich, die zusammen bei nur 8,8 % lag und deren Ursache nicht vollständig der Turbinenpassage zuzuordnen ist. Eventuelle indirekte Mortalitäten infolge von turbinenbedingten Verletzungen wie Organschäden und Verpilzungen etc. sind hier noch nicht mit einkalkuliert. Die Gesamtmortalität (direkte und indirekte Mortalität) liegt vermutlich über der direkten Mortalität, weil die festgestellten inneren Verletzungen im weiteren Lebensverlauf letale Folgen haben können.

In Zahlen heißt das: Die Mortalität der abwandernden Smolts beträgt ~3 % am Rechen plus ~6 % in der Turbine. Indirekt sind zwischen ~32 und ~71 % der Smolts, die die Passage überstanden haben, geschädigt (Wirbelsäule und Schwimmblase). Die Gesamtmortalität der Anlage für Smolts liegt daher zwischen ~9 und ~71 %.

In der Untersuchung an der WKA Prossen zeigte sich besonders, dass äußerlich unverletzte Smolts (86,7 %) dennoch innere Verletzungen bzw. Anomalien der Wirbelsäule aufweisen können. Hierdurch scheint die Röntgenographie zusammen mit einer histologischen Untersuchung des Fischkörpers eine sehr geeignete Methode zu sein, diese Art von Verletzungen zu untersuchen bzw. zu diagnostizieren.

In jedem Fall besteht ein schädlicher Einfluss der WKA Prossen auf die sie passierenden Lachssmolts. Hierzu zählt nicht nur die Turbinenpassage selbst, sondern auch der 20 mm-Stabrechen vor dem Einlauf in die Turbine. Hier wurden während der Untersuchungszeit einige Smolts tot am Stabrechen angepresst aufgefunden.

Der Grad der in der Untersuchung festgestellten Wirbelsäulenverkrümmungen und Verletzungen des Rückenmarks ist sehr schwer einzustufen. Die Wirbelsäulenverkrümmungen sind irreversibel. Bei diesen Smolts muss zumindest von einer Minderung der körperlichen Fitness im Vergleich zu Smolts, die auf natürliche Weise und unverletzt abwandern können, ausgegangen werden. Inwieweit diese Veränderungen der Wirbelsäule sowie die inneren Verletzungen sich nachteilig auf das Überleben auswirken, wäre noch zu untersuchen und zu diskutieren.

# Literatur

- ABERNETHY, C.S.; B.G. AMIDAN & G.F. ČADA (2003): Fish Passage through a simulated Horizontal Bulb turbine Pressure Regime: A Supplement to "Laboratory Studies of the Effects of Pressure and Dissolved Gas Supersaturation on Turbine-Passed Fish". July 2003, PNNL-13470-B, Pacific Northwest National Laboratory – Operated by Battelle for the U.S. Department of Energy
- ADAM, B. & U. SCHWEVERS (1997): Aspekte des Schwimmverhaltens rheophiler Fischarten. Österr. Fischerei 50: 256 – 260
- ATV-DVWK (2004): Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. In: ATV-DVWK-Themen
- BAKAL, R. S.; NANCY E. LOVE, GREGORY A. LEWBART & CLIFFORD R. BERRY (1998): Imaging a spinal fracture in a Kohaku Koi (*Cyprinus carpio*): Techniques and case history report. Veterinary Radiology & Ultrasound, Vol. 39, No. 4: 318-321
- BANKL, H. et al. (2002): Arbeitsbuch Pathologie II – Allgemeine Pathologie. Facultas Studienbücher Medizin 11: 111
- BARLOW, A.M. (1993): "Broken backs" in koi carp (*Cyprinus carpio*) following lightning strike. Veterinary Record 133: 503
- BERG, R. (1987): Fischereischäden durch Turbinen. Arb. Dtsch. Fischereiverband: 41-47
- BERGSJØ, T. & K. INGEBRIGTSEN (1979): Methodological problems in whole-body autoradiography of rainbow trout, Acta vet. Scand. 20: 604-606
- BÖTTCHER, K. & M. BÖTTCHER (2000): Röntgendiagnostik bei Fischen: Röntgenanatomie des Karpfens. Kleintierpraxis 45, Heft 5: 351-358
- BÖTTCHER, K. u. N. KUMMERFELD (2003): Bildgebende Diagnostik bei Fischen (Teil 2): Entzündungen der Schwimmblase und „Kopfstecher-Syndrom“. Kleintierpraxis 48, Heft 9: 547-552
- BÖTTCHER, K. & N. KUMMERFELD (2005): Röntgendiagnostik bei Fischen: Fallbeispiele Verdauungstrakt. Kleintierpraxis 50, Heft 2: 95-104
- BÖTTCHER, K.; N. KUMMERFELD & M. BÖTTCHER, (2003): Bildgebende Diagnostik bei Fischen (Teil 1): Dislokationen und Vergrößerungen sowie Ergüsse der Schwimmblase. Kleintierpraxis 48, Heft 8: 481-488
- ČADA, G.F., L.A. GARRISON & R.K. FISHER (2007): Determining the Effect of Shear Stress on Fish Mortality during Turbine Passage. Hydro Review: 52-59
- ČADA, G.F.; P.A. BROOKSHIER; J.V. FLYNN; B.N. RINEHART; G.L. SOMMERS and M.J. SALE (2008): The use of advanced hydroelectric turbines to improve water quality and fish populations. Environmental Science division, Oak Ridge National Laboratory, P.O. Box 2008, Oak ridge, TN 37831-6036 U.S.A.
- ČADA, GLENN F. (2001): The Development of Advanced Hydroelectric Turbines to Improve Fish Passage Survival. September 2001, www.fisheries.org, Fisheries, Vol. 26, No. 9
- CARLSON, T.J. & C.S. ABERNETHY (2005): Pilot Study of the Effects of simulated turbine Passage Pressure on Juvenile Chinook Salmon Acclimated with Access to Air at Absolute Pressures Greater than Atmospheric. PNNL-15011, Pacific Northwest National Laboratory – Operated by Battelle for the U.S. Department of Energy
- CRAMER F. K. & R. C. OLIGHER (1964): Passing fish through hydraulic turbines. – Trans. Am. Fish. Soc. 93: 243 – 259
- CRISP, D.T. (2000): Trout and Salmon – Ecology, Conservation, and Rehabilitation. Fishing News Books. An imprint of Blackwell Science
- Die Rote Liste – Rundmäuler und Fische 2005, aus Verbreitungsatlas der Fische im Freistaat Sachsen: 343 – 347
- DIVANACH, P.; N. PAPANDROULAKIS, P. ANASTASIADIS, G. KOUMOUNDOUROS & M. KENTOURI (1997): Effect of water currents on the development of skeletal deformities in sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) with functional swimbladder during postlarval and nursery phase, Aquaculture 156: 145-155
- DUMONT U. (2010): Flussgebietsspezifische Durchgängigkeitskonzepte. Ingenieurbüro Floecksmühle – wasser umwelt energie, Koblenz, 4.2.2010, (Vortrag)
- DUMONT U. (2010b): Möglichkeiten und Grenzen der Minderung von Umweltauswirkungen der Wasserkraftnutzung und Querbauwerke. Ingenieurbüro Floecksmühle, Erfurt, 26.10.2010 (Vortrag)
- DWD (2009/2010): Agrarmeteorologischer Monatsbericht für Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen. Deutschen Wetterdienst, Abt. Agrarmeteorologie, Außenstelle Leipzig, Kärmerstraße 68, 04288 Leipzig
- EICHER, G. J. (1987): Turbine-related fish mortality: review and evaluation of studies. – Portland/ Oregon (Eicher Associates): 78 pp.

- FERGUSON, JOHN W.; THOMAS P. POE & THOMAS J. CARLSON (1998): Surface oriented Bypass Systems for Juvenile Salmonids on the Columbia River, USA. In: Jungwirth, M., Schmutz, S. & S. Weiss: Fish migration and fish bypasses. Fishing New Books, Oxford: 315-328
- FOSTER, J. R. & C. B. SCHOM (1989): Imprinting and homing of Atlantic salmon (*Salmo salar*) kelts. Can. J. Fish. Aquat. Sci.: 714–719
- FÜLLNER, G. (1997): Notwendigkeit der Begrenzung der lichten Stabrechenweite vor Turbinen von Wasserkraftanlagen auf 20 mm. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.
- FÜLLNER, G.; M. PFEIFER & J. GEISLER (2003): Der Elblachs ist zurück - Stand der Wiedereinbürgerung Herbst 2003. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft – Stabsstelle Öffentlichkeitsarbeit
- GERSTMEIER, R. et al., (1998): Die Süßwasserfische Europas. Kosmos Stuttgart: 367 S.
- GIBSON, R.J. & R.E. CUTTING (1993): Production of Juvenile Atlantic Salmon, *Salmo Salar*, in Natural Waters. National Research Council Canada and Department of Fisheries and Oceans, Ottawa, Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 118:
- GLOSS, S. P. & J. R. WAHL (1983): Mortality of juvenile salmonids passing through Ossberger crossflow turbines at small-scale hydroelectric sites. – Trans. Am. Fish. Soc. 112: 194–200
- GUMPENBERGER, M.; OLIVER HOCHWARTNER & GERHARD LOUPAL (2004): Diagnostic imaging of a renal adenoma in a Red Oscar (*Astronotus ocellatus cuvier*, 1829). Veterinary Radiology & Ultrasound, Vol. 45, No. 2: 139–142
- HADDERINGH, R.H. & H.D. BAKKER (1998): Fish mortality due to passage through hydroelectric power stations on the Meuse and Vecht river. In: Jungwirth, M., Schmutz, S. & S. Weiss: Fish migration and fish bypasses. Fishing New Books, Oxford: 315-328
- HANSEN, H.J. & Z. T. YALEW (1988): Morphologic features of perosomas ("short spine") in farmed Salmon (*Salmo salar*). Veterinary Radiology, Vol. 29, No. 2: 52-53
- HAM, K.D.; J.J. ANDERSON & J.A. VUCELICK (2005): Effect of Multiple Turbine Passage on Juvenile Snake River Salmonid Survival. Final Report, September 2005, U.S. Department of Energy under Contract DE-AC05-76RL01830, Pacific Northwest National Laboratory Richland, Washington 99352
- HARTVICH, P. & J. KUBECKA (1999): Fish losses due to their turbine passage in the Lipno reservoir. Bull. VURH Vodnany. 1-2: 85-90 (in tschech.)
- HASSINGER, R.: FischSchonRechen - ein fischschonender Rechen für Wasserkraftanlagen. Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik u. Wasserbau Universität Kassel
- HASSLER, D. (2000): Brennpunkt Infektiologie. Alte und „neue“ Infektionskrankheiten. ZETT-Verlag
- HEIMERL, S. et al. (2006): Übertragbarkeit des Schweizer *greenhydro*-Konzeptes als Standard einer umweltgerechten Wasserkraftnutzung auf Deutschland – Machbarkeitsstudie. Eawag, Schweiz, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, EnBW Kraftwerke AG, Schneider & Jorde Ecological Engineering
- HESTHAGEN, T. & E. GARNAS (1986): Migration of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., maturing sexually in the parr stage. – J. Fish. Biol. 35: 461
- HOEDT, W.; F. WEINZIERL & M. SCHNEIDER (2010): Wirbelsäulenveränderungen, Koi Kurier 66
- HÖFER, R. & U. RIEDMÜLLER (1996): Fischschäden bei Salmoniden durch Turbinen von Wasserkraftanlagen. Kirchzarten: 82 S.
- HOLZNER, M. (1999): Untersuchung zur Vermeidung von Fischschäden im Kraftwerksbereich. Dargestellt am Kraftwerk Dettelbach am Main/Unterfranken Schriftenreihe des Landesfischereiverbandes Bayern, Heft 1
- HÜTTE, M. (2000): Ökologie und Wasserbau: Ökologische Grundlagen von Gewässerverbauung und Wasserkraftnutzung. Parey Buchverlag Berlin
- HVIDSTEN, N. A.; A. J. JENSEN, H. VIVAL, O. BAKKE & T. G. HEGGBERGET (1995): Downstream migration of Atlantic salmon smolts in relation to water flow, water temperature, moon phase and social interaction. Nordic J. Freshw. Res. 70: 38–48
- IKSR-BERICHT NR-140.DOC (2004): Auswirkungen von Wasserkraftanlagen in den Rheinzufüssen auf den Wanderfischabstieg. 70. Plenarsitzung – 8./9. Juli 2004 – Bern
- INGENDAHL, D. (1993): Untersuchung des Wanderverhaltens des atlantischen Lachses (*Salmo salar*) und der Bachforelle (*Salmo trutta fario*), insbesondere an hydroelektrischen Einrichtungen. Diplom-Arbeit, Univ. Köln: 132 S.
- JAGSCH, A.; N. SCHOTZKO, P. GOLLMANN, W. HAUER, A. NEUHOFFER, T. WEISMANN & M. GUMPENBERGER (2006): Untersuchung über die Fischverträglichkeit der Staudruckmaschine im „worst case“ – Szenario: 1. Fischtest an der Staudruckmaschine, April 2006, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Gewässerökologie, Fischereibiologie und Seenkunde, Scharfling
- JENS, G. (1953): Über den lunaren Rhythmus der Blankaalwanderung. Arch. Fischereiwiss. 4: 94–110

- JONSSON, B. & J. RUUD-HANSEN (1985): Water temperature as the primary influence on timing of seaward migrations of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42: 593–595
- JONSSON, N. (1991): Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers. *Nordic J. Freshw. Res.* 66: 20–35
- JONSSON, N.; B. JONSSON & L. P. HANSEN (1990): Partial segregation in timing of migration of Atlantic salmon of different ages. *Anim. Behav.* 40: 313–321
- JUNGWIRTH, M.; S. SCHMUTZ & S. WEISS (1998): Fish Migration and Fish Bypass. Department of Hydrobiology, Fishery and Aquaculture, University of Agricultural Sciences, Vienna, Austria
- KOCH, W. (1932): Fischmarkierungsversuche am badischen Rhein und Neckar. *Badische Fischereizeitung* 9: 145–156 u. 164–176
- LARINIER, M. & J. DARTIGUELONGUE, (1989): La circulation des poissons migrateurs et transit à travers les turbines des installations hydroélectriques. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 312 u.313: 90 S.
- LEATHERLAND, J. F.; K. J. FARBRIDGE & T. BOUJARD (1992): Lunar and semi-lunar rhythms in fishes. In: Ali, M. A. (Hrsg.): Rhythms in fishes. New York (Plenum Press): 83–107
- LOVE, NANCY E. & GREGORY A. LEWBART (1997): Pet Fish Radiography: Techniques and Case History Reports, *Veterinary Radiography & Ultrasound*, Vol. 38, No. 1: 24-29
- LOWE, R.H. (1952): The influence of light and other on the seaward migration of Silver eel. *J. Anim. Ecol.* 21: 275–309
- MADSEN, L. & I. DALSGAARD (1999): Vertebral Column deformities in farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), *Aquaculture* 171: 41-48
- MIDDAUGH, P. DOUGLAS; J. W. FOURNIE & M. J. HEMMER (1990): Vertebral abnormalities in juvenile inland silversides *Menidia beryllina* exposed to terbufos during embryogenesis, *Diseases of Aquatic organisms*, 9: 109-116
- MONTÉN, E. (1985): Fish and Turbines – Fish injuries during passage through power station turbines. – Stockholm (Vattenfall): 111 S.
- ODEH, M. & C. ORVIS (1998): Downstream Fish Passage Design Considerations and Developments at Hydroelectric Projects in the North-east USA. In: Jungwirth, M., Schmutz, S. & S.Weiss: Fish migration and fish bypasses. Fishing New Books, Oxford: 315-328
- PETER, A. (1998): Interruption of the river continuum by barriers and consequences for migratory fish. In: Jungwirth, M., Schmutz, S. & S. Weiss (eds). Fish migration and fish bypasses. Fishing New Books Oxford: 99 – 112
- POMPEU et al. (2009): Evaluation of the Effects of Pressure Gradients on Four Brazilian Freshwater Fish Species, *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Vol. 52, No. 1: 111-118
- PRIEBE, K. (2007): Parasiten des Fischfilets. Erscheinungsbild, Biologie und Lebensmittelsicherheit. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 126, 135, 149, 151 ff.
- RAYMOND, H. L. (1979): Effects of dams of impoundments on migrations of juvenile Chinook salmon and steelhead from the Snake River, 1966 – 1975. *Trans. Am. Fish. Soc.*: 108 – 505 – 529
- RECHISKY, E. L. et al. (2009): Experimental measurement of hydrosysteminduced delayed mortality in juvenile Snake River spring Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) using a large-scale acoustic array. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 66: 1019–1024
- REICHENBACH-KLINKE, H.-H.; O. SCHINDLER, H. FETZER & K. BOCK (1974): Das Röntgenbild des Fischeskeletts. In: SVOB. T., H.-H. REICHENBACH-KLINKE, O. SCHINDLER, H. FETZER & K. BOCK: Das Röntgenbild des Verdauungstraktes der Wirbeltiere und des Fischeskeletts. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart:
- RÜMMLER, F. (1998): Untersuchungen zu den Auswirkungen der Elektrofischerei auf Fische (Abschlussbericht des Instituts für Binnenfischerei)
- SCHMIDT, G. W. (1996): Wiedereinbürgerung des Lachses *Salmo salar* L. in Nordrhein-Westfalen. Schriftenreihe der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten/Landesamt für Agrarordnung Nordrhein-Westfalen: 194 S.
- SMITH, S. A. & B. J. SMITH, (1994): Xeroradiographic and radiographic anatomy of the channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 35, 5: 384-389
- SCHÖNBORN, W. (1992): Fließgewässerbiologie. Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart
- SCHWABE, M. (2008): Einfluss des Handlings auf Regenbogenforellen. Bachelorarbeit, Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei
- SCHWEVERS, U. & B. ADAM (1997): Wiederansiedlung des Lachses (*Salmo salar*) in der hessischen Lahn, Abschlussbericht der 1. Phase, 1995 – 1996. – Institut für angewandte Ökologie im Auftrag des Regierungspräsidiums Gießen: 49 S.

- SCHWEVERS, U. (1998): Die Biologie der Fischabwanderung. Institut für Angewandte Ökologie, Verlag Natur & Wissenschaft, Solingen
- SIGNER, J. & A. RITZMANN (1999): Entwicklung innovativer Lösungen zur Gewährleistung der Durchgängigkeit von Querbauwerken zur Sicherung der Laichwanderung Atlantischer Lachse (*Salmo salar* L.) im Lachsbachsystem (Sachsen)“, Abschlussbericht, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft: Fachbereich Tierzucht, Fischerei und Grünland, Referat Fischerei, Königswartha
- STRUCK, H et. al. (1968): Der Lachs – Eine kleine Monographie über den König der Wanderfische, Hans A. Keune Verlag
- TAYLOR, G. A. (1998): Monitoring of Downstream Fish Passage at Cougar Dam in the South Fork McKenzie River, Oregon 1998-00. February 8<sup>th</sup>, 2000, Oregon Dept. of fish & Wildlife Springfield (OR)
- TESCH, F. W. (1994): Verfolgung von Blankaaalen in Weser und Elbe. *Fischökologie* 7: 47 – 59
- THORPE, J. E. (1984): Downstream movements of juvenile salmonids: a forward speculative view. In Mc Cleave, J. et al. (Hrsg.): *Mechanisms of migration in fishes*, New York (Plenum Press): 387 – 396
- TOFTEN, H. & M. JOBLING (1996): Development of spinal deformities in Atlantic salmon and Arctic charr fed diets supplement with oxytetracycline, *Journal of Fish Biology* 49: 668-677
- TRAVADE, F.; J. DARTIGUELONGUE & M. LARINIER (1987): Dévalaison et franchissement des turbines et ouvrages énergétiques. – *La Houille Blanche* ½: 124 – 133
- TRAVADE, F. & M. LARNIER (1992): La migration de dévalaison: problèmes et dispositifs. – *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 326/327: 165 – 176
- TURNPENNY, A. W. H.; S. CLOUGH, K.P. HANSON, R. RAMSAY & D. MCEWAN (2000): Risk Assessment for fish passage through small, low-head turbines. ETSU H/06/00054/REP
- V. RABEN, K. (1957): Über Turbinen und ihre schädliche Wirkungen auf Fische. *Z. Fischerei N.F.* 6: 171-182
- VOLKMANN, SVEN (2011): mündliche Aussage zu Wirbelsäulenverkrümmungen und anschließenden Verwachsungen infolge von unsachgemäßer Elektrofischerei
- VOLLESTAD, L. A.; B. JONSSON, N. A. HVIDSTEN, T. F. NAESJE, O. HARALDSTAD & J. RUUD-HANSEN (1986): Environmental factors regulating the seaward migration of European silver eels (*Anguilla Anguilla*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 1909 – 1916
- WEHRDATENBANK des LFULG (2010): Gewässer-/Gebietskennzeichnung: 53712, <http://www.smul.sachsen.de/Wehre/c?cmd=suche2> [Anzahl, Detailbericht, Detailbericht mit Fischaufstiegsanlage (FAA), Ausrüstungsstand mit Fischaufstiegsanlage, Technischer Detailbericht]
- WEIB, J. et al. (2006): *Weltbild Taschenlexikon in 10 Bänden*, Weltbild GmbH, Steinerner Furt, Augsburg, 8: 100 f.
- WOOD, C. C.; N. B. HARGREAVES, D. T. RUTHERFORD & B. T. EMMETT (1993): Downstream and early marine migratory behavior of Sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) smolts entering Barkley Sound, Vancouver Island. – *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50: 1329 – 1337

# Anhang 1

## 3.1A: Technische Daten der WKA Prossen

- Nennfallhöhe: HN = 4,5 m
- Nenndurchfluss bei HN = 2,43 m³/s
- Nenndrehzahl der Turbine: 140 U/min
- Generator mit Getriebe
- Nenndrehzahl des Generators: 1.000U/min
- P<sub>el</sub>, max. = 80 kW mit einer mittleren Jahresarbeit von 400.000 kWh

## 3.2A: Hydrologisches Gutachten der WKA Prossen

*Hydrologisches Gutachten  
für die Wasserkraftanlage Schmidhammer GbR, 01814 Prossen  
am Lachsbach*

Turbine	2,43 ccm/s	bei	4,5 m
Ausbauwassermenge	2,43 ccm/s		
Wildbettafgabe	0,28 ccm/s		
Geschiebetransport	10 ccm/s		
min. Teillast	35,0%		
Höhe Wehrkrone in	202,1 m über NN	Höhe Abflußsohle	197,35
Bruttostauhöhe	4,5 m		
Zusatzverluste	0,05 m		

Berechnung der Zulaufverluste nach der Bazinschen Formel

Ausbauwassermenge	2,43 ccm/s	0,35 =c [m/s]
Einlaufkanal		
Grabenform	Rechteck	
Ausbau	Bruchsteine	Alpha 0,28 Beta 1,25
Kanaldaten	geschätzt	
	Breite	5,00 m
	Tiefe	1,40 m
	Querschnitt	7,00 qm
	benetzter	
	Umfang	7,80 m
	Länge	500 m

benötigte Gefällehöhe für 2,43 ccm/s 0,09 m pro 1000 m

Auslaufkanal

Ausbauwassermenge	2,43 ccm/s	0,98 =c [m/s]
Grabenform	Rechteck	
Ausbau	Bruchsteine	Alpha 0,24 Beta 0,25
Kanaldaten		
	Breite	5,5 m
	Vorfüllen	0,2 m
	Tiefe	0,25 m
	Querschnitt	2,475 qm
	benetzter	0,2702294
	Umfang	6 m
	Länge	300 m

benötigte Gefällehöhe für 2,43 ccm/s 0,90 m pro 1000 m

Höhenverlust des Kanals	8 m
Flußbreite Auslauf	15 pro 1000 m
Gefälle Auslauf	15 pro 1000 m
Leistung Netz	80,0 kW
Arbeit alt.	439.052 kWh

5.598 DM/Mon.

**Bilder 3.2A – 3.4A**



**Bild 3.2A: Hamen von schräg rechts**



**Bild 3.3A: Hamen bei laufender Turbine**



**Bild 3.4A: Kunststoffbehälter mit Belüftung zur Hälterung der Lachssmolts**

**Bilder 4.3A – 4.7A Smolts mit Schuppenverlusten**



**Bild 4.3A**



**Bild 4.4A**



**Bild 4.5A**



**Bild 4.6A**



**Bild 4.7A**

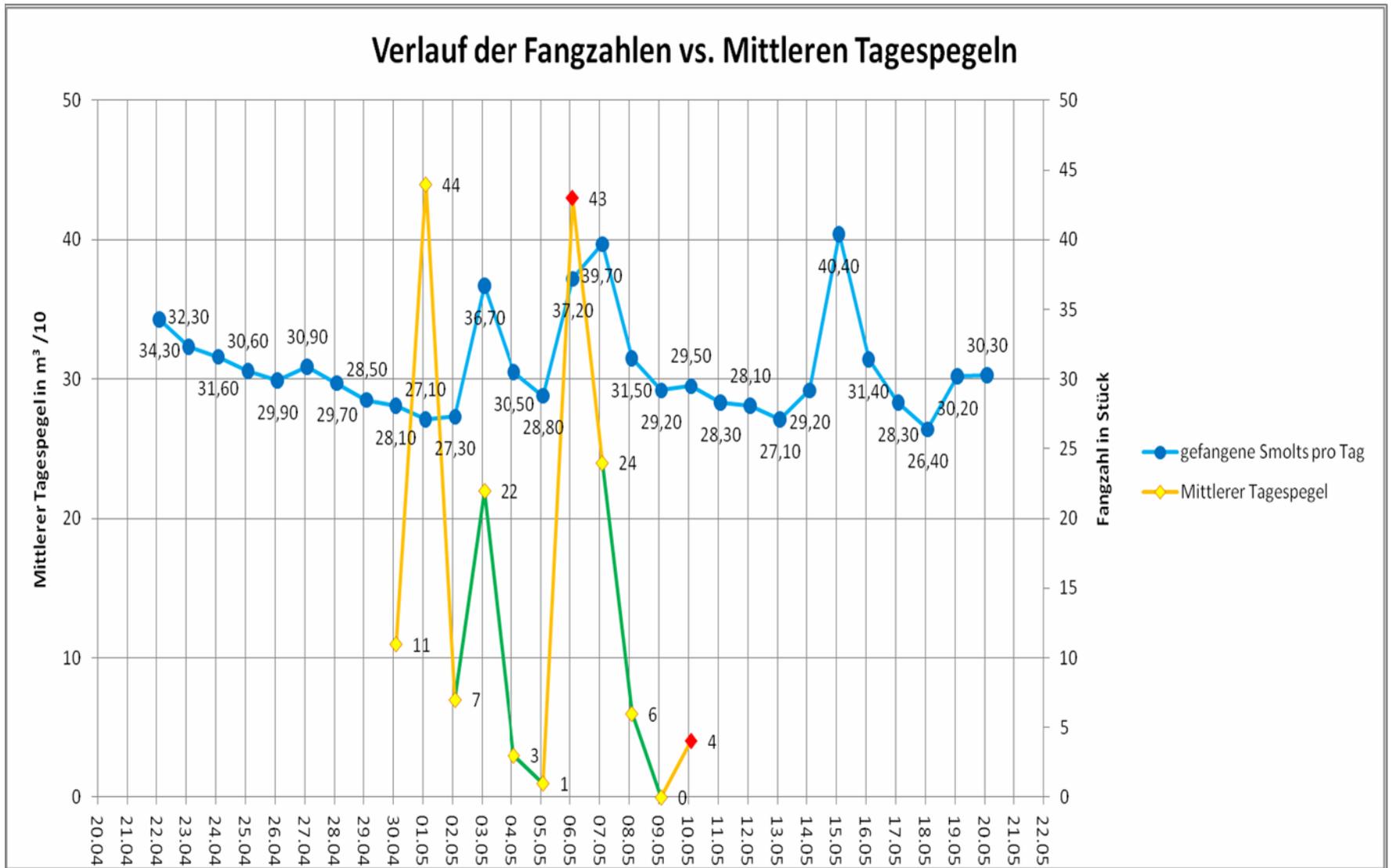


Abbildung 4.9A: Gegenüberstellung der Verläufe der mittleren Abflüsse und der Smoltfänge im Untersuchungszeitraum

#### 4.1A: Pathologisch-Histologische Untersuchung der Gewebeproben von sechs Smolts

VD-2000/18894

Probenzahl: 1

Lachs I vom 03.05.2010

- subdurale Blutung im Rückenmark
- dorsaler, der Wirbelsäule zugewandter Teil der Niere mit flächenhaften Blutungen, Blutstau in einem Nierengefäß, Zelldentritus in den Tubulilumina
- fokale Myolysen einzelner bzw. kleinerer Bündel von Muskelfasern

VD-2010/21048

Probenzahl: 5

I 2:

- Blutung im dorsalen, der Wirbelsäule zugewandten Teil der Niere
- einzelne myolytische Muskelfasern
- vollständige Zerstörung des Wirbelkörpers (oder Präparationsfehler?)

II 2: auch auf Bild 1 und Bild 2 zu sehen

- subdurale Blutung im ventralen und dorsalen Bereich des Rückenmarkes
- massiver Blutstau und massive Blutungen in der Niere

III 1:

- subdurale Blutung im dorsalen Bereich des Rückenmarkes
- einseitige Blutung im Neuralbogen

III 2:

- Blutstau und Blutungen im dorsalen Bereich der Niere
- einseitige Zerstörung des Wirbelkörpers mit lokaler Blutung
- fokale Myolysen einzelner Muskelfasern

IV 1:

- hochgradiger Blutstau, teilweise Blutungen in der Niere
- subdurale Blutungen
- Blutungen im Neuralbogen

Tabelle 4.1A: Pegel Porschdorf 1

Auswertung Pegeldaten			
<b>Beginn:</b>	01.04.2010		
<b>Ende:</b>	31.05.2010		
<b>Intervall:</b>	Tagesmittelwerte		
Datum	Porschdorf 1 Q in m <sup>3</sup> /s	Datum	Porschdorf 1 Q in m <sup>3</sup> /s
01.04.2010	6,11	01.05.2010	2,71
02.04.2010	5,67	02.05.2010	2,73
03.04.2010	5,43	03.05.2010	3,67
04.04.2010	5,14	04.05.2010	3,05
05.04.2010	4,94	05.05.2010	2,88
06.04.2010	4,84	06.05.2010	3,72
07.04.2010	4,70	07.05.2010	3,97
08.04.2010	4,54	08.05.2010	3,15
09.04.2010	4,26	09.05.2010	2,92
10.04.2010	4,43	10.05.2010	2,95
11.04.2010	4,88	11.05.2010	2,83
12.04.2010	4,76	12.05.2010	2,81
13.04.2010	4,28	13.05.2010	2,71
14.04.2010	4,15	14.05.2010	2,92
15.04.2010	4,77	15.05.2010	4,04
16.04.2010	4,29	16.05.2010	3,14
17.04.2010	3,95	17.05.2010	2,83
18.04.2010	3,75	18.05.2010	2,64
19.04.2010	3,62	19.05.2010	3,02
20.04.2010	3,49	20.05.2010	3,03
21.04.2010	3,51	21.05.2010	3,79
22.04.2010	3,43	22.05.2010	4,73
23.04.2010	3,23	23.05.2010	3,82
24.04.2010	3,16	24.05.2010	6,00
25.04.2010	3,06	25.05.2010	9,33
26.04.2010	2,99	26.05.2010	4,45
27.04.2010	3,09	27.05.2010	4,12
28.04.2010	2,97	28.05.2010	4,00
29.04.2010	2,85	29.05.2010	3,84
30.04.2010	2,81	30.05.2010	3,52
		31.05.2010	4,70

Tabelle 4.3A: Übersicht über die in der Polenz gefangenen Fischarten



LfULG, Abt. 9  
Referat Fischerei  
Fischereibehörde

### Anzahl der Fische nach Arten (Abundanzen)

Seite 1 von 1  
Erstellt am: 09.03.2011 14:18

Gewässerbezeichnung: Polenz  
Fischereiregion(en) im Längsschnitt: Äschenregion  
Erfassungszeitraum: 27.02.1995 bis 03.05.2010  
Anzahl der Befischungen: 28  
Insgesamt befischte Strecke (km): 5,321  
Anzahl der Arten: 17  
Landkreis(e): Sächsische Schweiz-Osterzgebirge

**Fischartenzusammensetzung:**

Fischart	Gesamt-Anzahl	relativer Anteil (%)	Anzahlen in den Größengruppen (cm)					
			0 < 2	2 < 5	5 < 10	10 < 20	20 < 30	>= 30
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Aal ( <i>Anguilla anguilla</i> (Linné))	3	0,10	0	0	0	2	0	1
Äsche ( <i>Thymallus thymallus</i> (Linné))	489	16,67	59	0	84	261	84	1
Atlantischer Lachs ( <i>Salmo salar</i> (Linné))	362	12,34	55	0	50	180	1	76
Bachforelle ( <i>Salmo trutta fario</i> (Linné))	618	21,07	61	2	70	363	117	5
Bachneunauge ( <i>Lampetra planeri</i> (Bloch))	2	0,07	0	0	0	2	0	0
Döbel ( <i>Leuciscus cephalus</i> (Linné))	175	5,97	26	0	29	106	14	0
Elritze ( <i>Phoxinus phoxinus</i> (Linné))	181	6,17	1	2	127	51	0	0
Flußbarsch ( <i>Perca fluviatilis</i> (Linné))	12	0,41	0	0	6	6	0	0
Flußneunauge ( <i>Lampetra fluviatilis</i> (Linné))	1	0,03	0	0	0	0	0	1
Groppe ( <i>Cottus gobio</i> (Linné))	225	7,67	12	10	143	60	0	0
Gründling ( <i>Gobio gobio</i> (Linné))	147	5,01	30	0	72	45	0	0
Hasel ( <i>Leuciscus leuciscus</i> (Linné))	352	12,00	66	1	62	196	27	0
Plötze ( <i>Rutilus rutilus</i> (Linné))	76	2,59	0	0	10	55	11	0
Quappe ( <i>Lota lota</i> (Linné))	7	0,24	0	0	0	1	4	2
Regenbogenforelle ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> (Walbaum))	202	6,89	0	0	46	92	58	6
Schmerle ( <i>Barbatula barbatula</i> (Linné))	80	2,73	0	0	59	21	0	0
Zander ( <i>Stizostedion lucioperca</i> (Linné))	1	0,03	0	0	1	0	0	0
<b>Summe aller Arten</b>	<b>2.933</b>	<b>100,00</b>						

Verwendete Suchbegriffe:

Gewässer: Polenz; Landkreise: Sächsische Schweiz-Osterzgebirge; Gemeinden: Königstein/Sächs. Schweiz, Stadt, Pirna, Stadt,

Porschdorf, Rathen, Kurort, Rathmannsdorf; Anlässe: alle; Fischereiregionen: Äschenregion; Erfassungskategorien: alle; TK-Nummern:

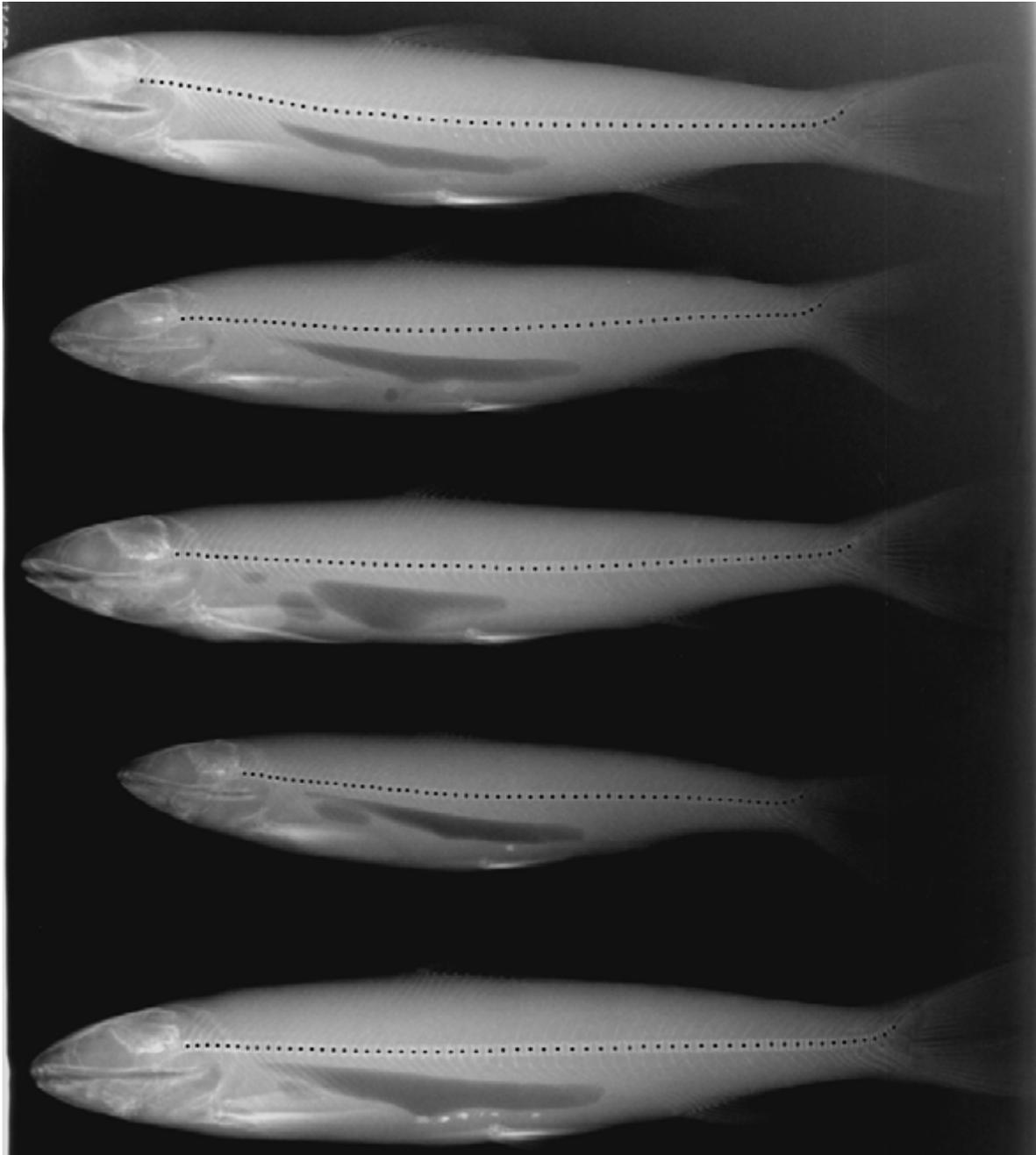
alle LfULG, Abteilung 9, Referat Fischerei \* 02697 Königswartha \* PF 1140 \* Tel.: 035931/296 10

**Tabelle 4.5A: Lachsbrutbesatz des Lachsbaches mit Sebnitz und Polenz von 1995 bis 2011**

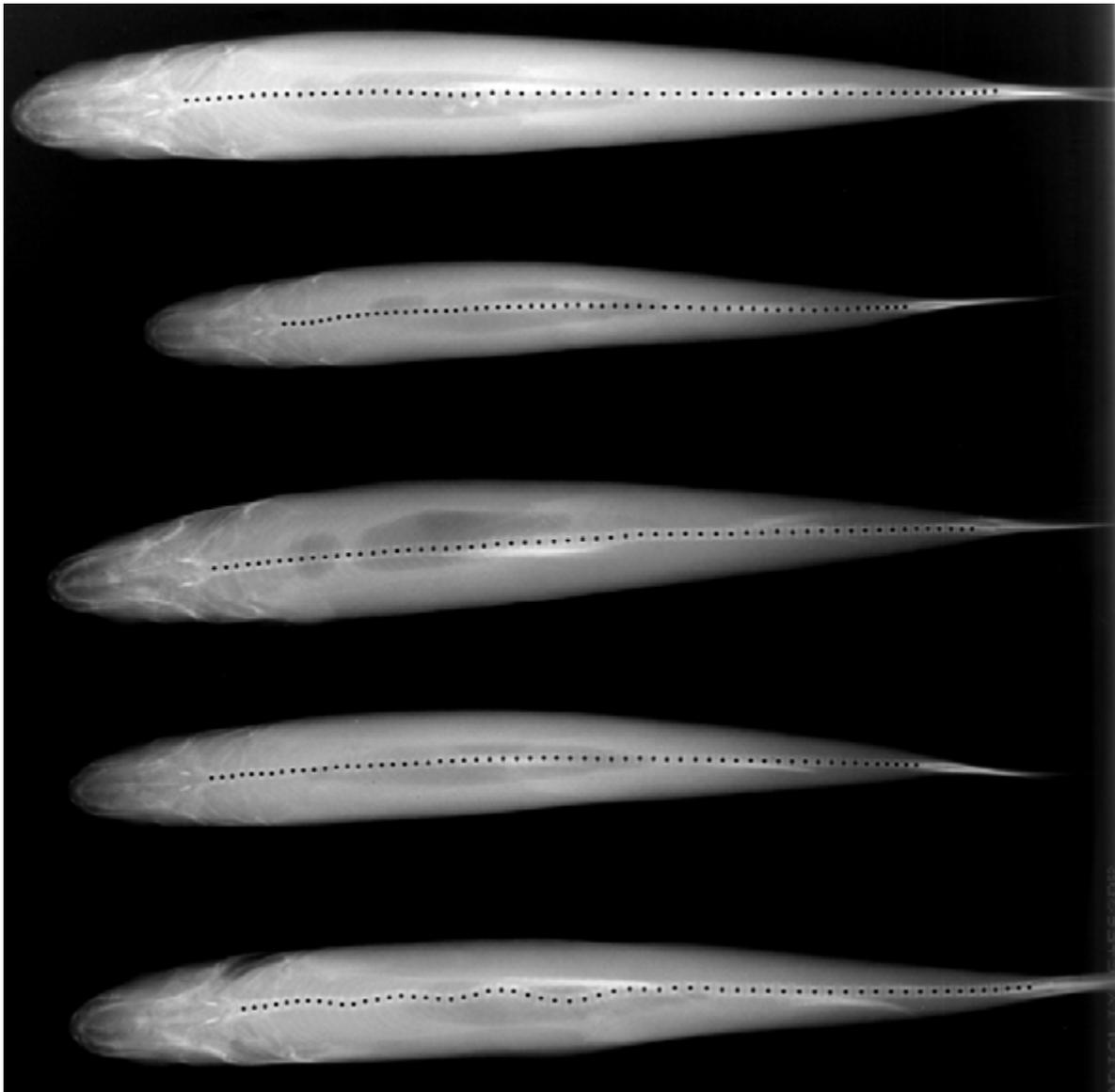
<b>Jahr</b>	<b>Lachsbach</b>	<b>Polenz</b>	<b>Sebnitz</b>
1995	50.000	80.000	42.000
1996	40.000	165.000	160.000
1997	40.000	130.000	127.000
1998	40.000	80.000	126.000
1999	80.000	0	220.000
2000	40.000	74.500	119.000
2001	50.000	42.000	125.000
2002	30.000	130.000	70.000
2003	30.000	116.500	60.000
2004	0	80.000	100.000
2005	0	67.700	80.000
2006	0	40.000	30.000
2007	0	100.000	100.000
2008	0	85.000	85.000
2009	0	60.000	64.000
2010	0	94.000	100.000
2011	0	50.000	35.000

# Anhang 2

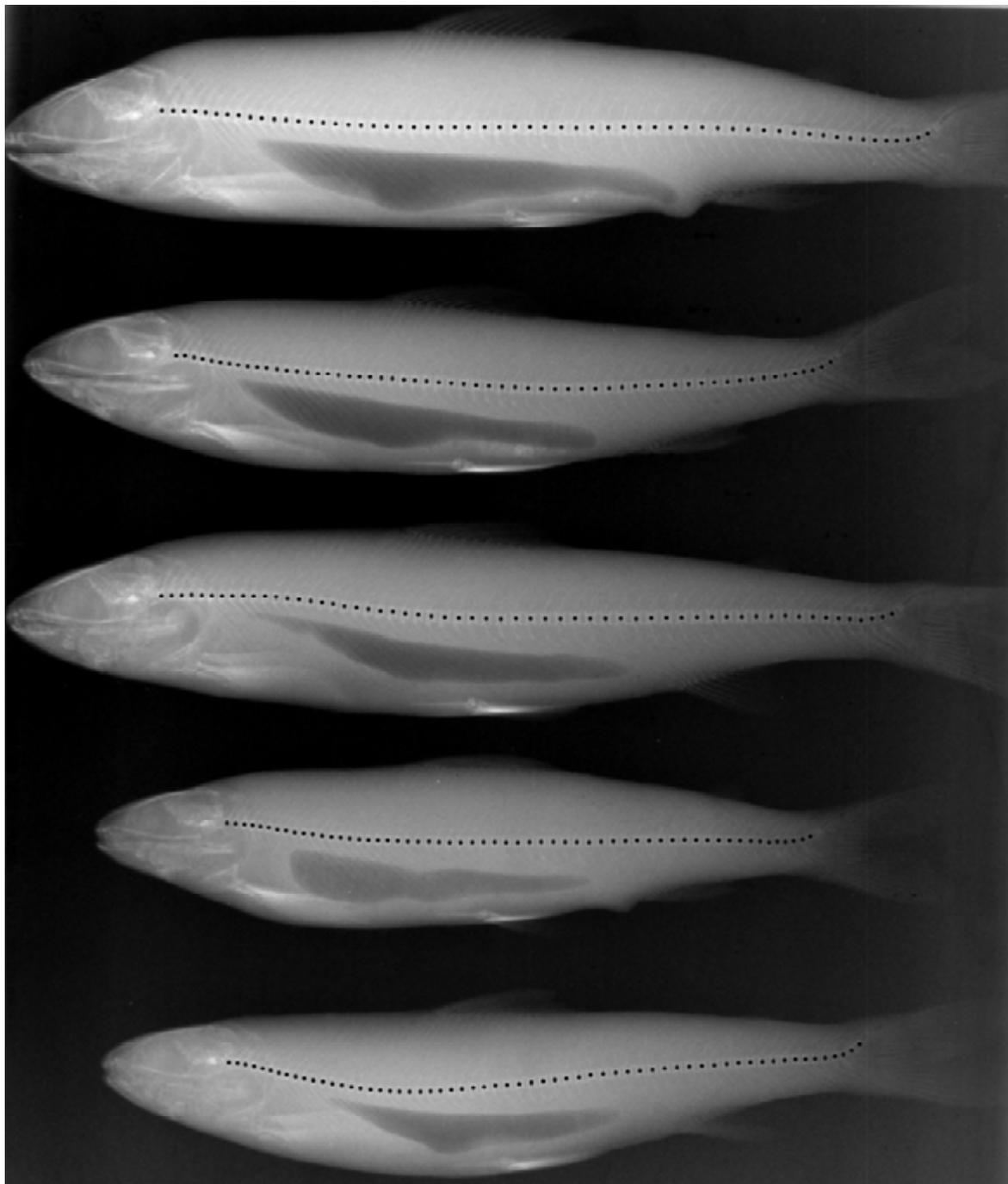
Insgesamt wurden von 142 angelieferten Lachssmolts 114 geröntgt. Von jedem Smolt wurden dabei jeweils eine Aufnahme aus dorso-ventraler und eine aus latero-lateraler Ansicht angefertigt. Von den am 03.05.2010 angelieferten Smolts (57 Stück) sind 40 Smolts, am 06.05.2010 39 von insgesamt 50 und am 10.05.2010 alle 35 angelieferten Smolts geröntgt worden. Digitalisiert wurden die Röntgenaufnahmen der Smolts vom 03.05. und 10.05.2010.



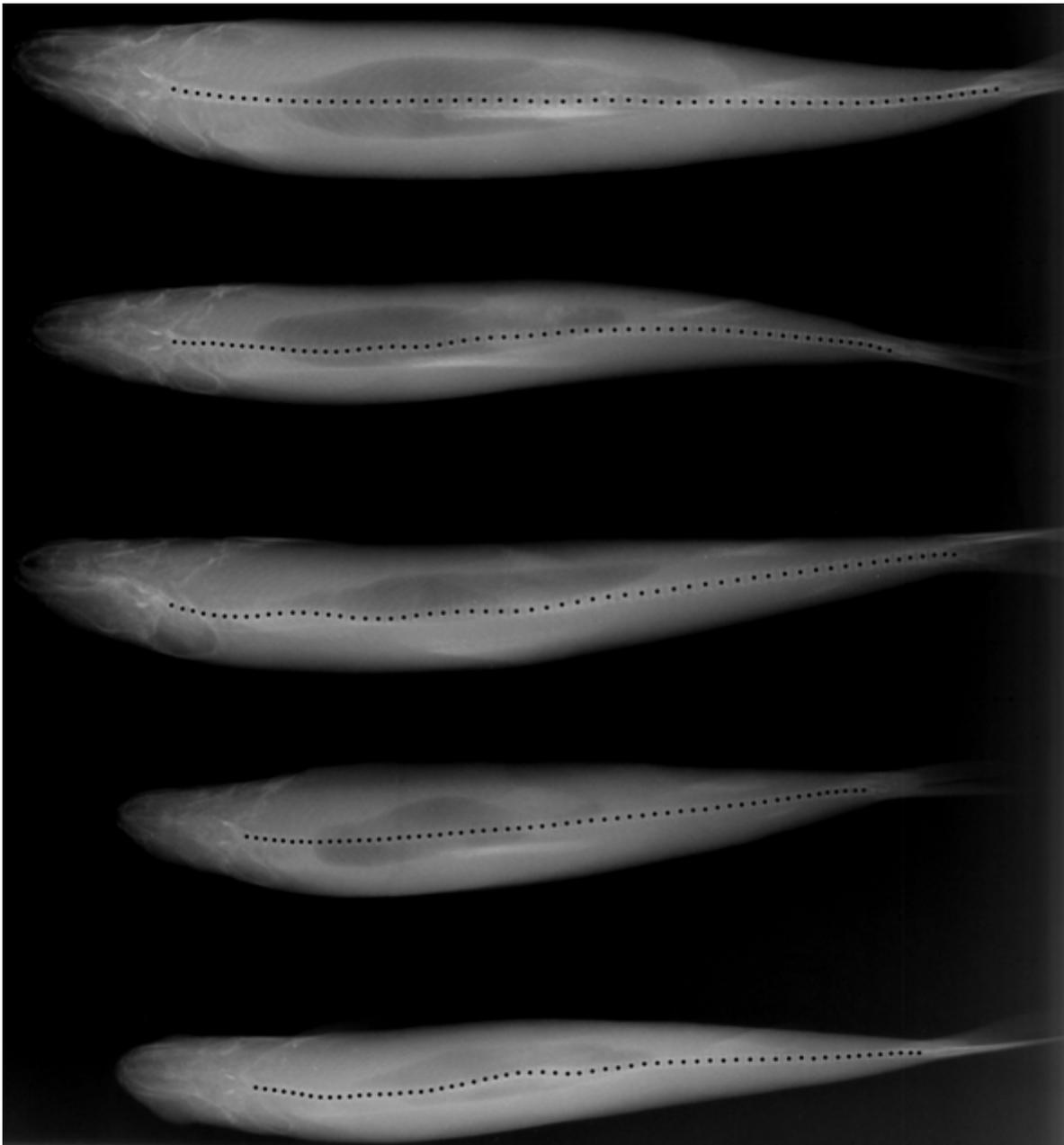
**Bild 1.1A2: Lachssmolt 1-5: latero-laterale (II) Ansicht, angeliefert und geröntgt am 03.05.2010, digitalisiert**



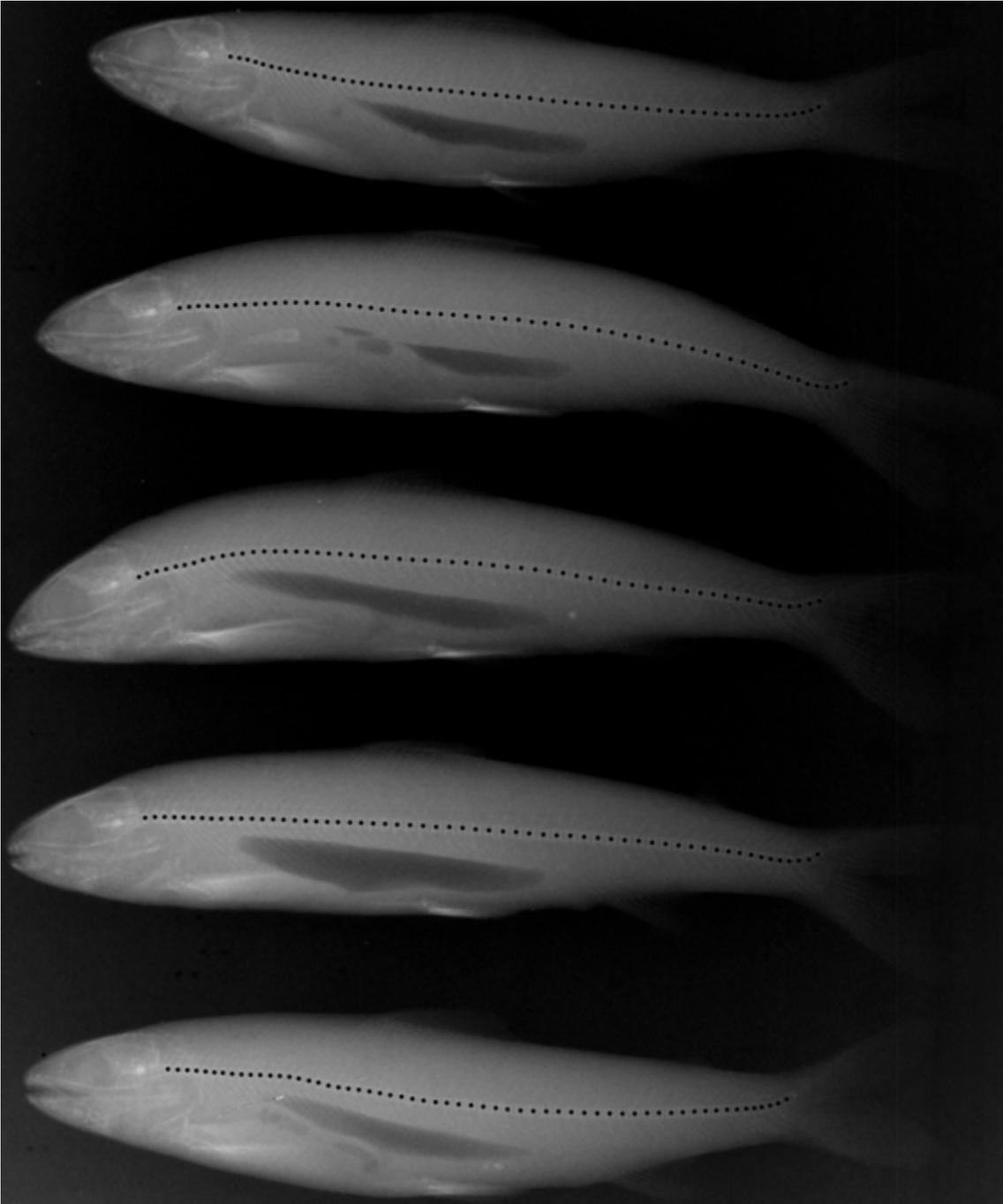
**Bild 1.2A2: Lachssmolt 1-5: dorso-ventrale (dv) Ansicht, angeliefert und geröntgt am 03.05.2010, digitalisiert**



**Bild 2.1A2: Lachssmolt 6-10: II Ansicht, angeliefert und geröntgt am 03.05.2010, digitalisiert**



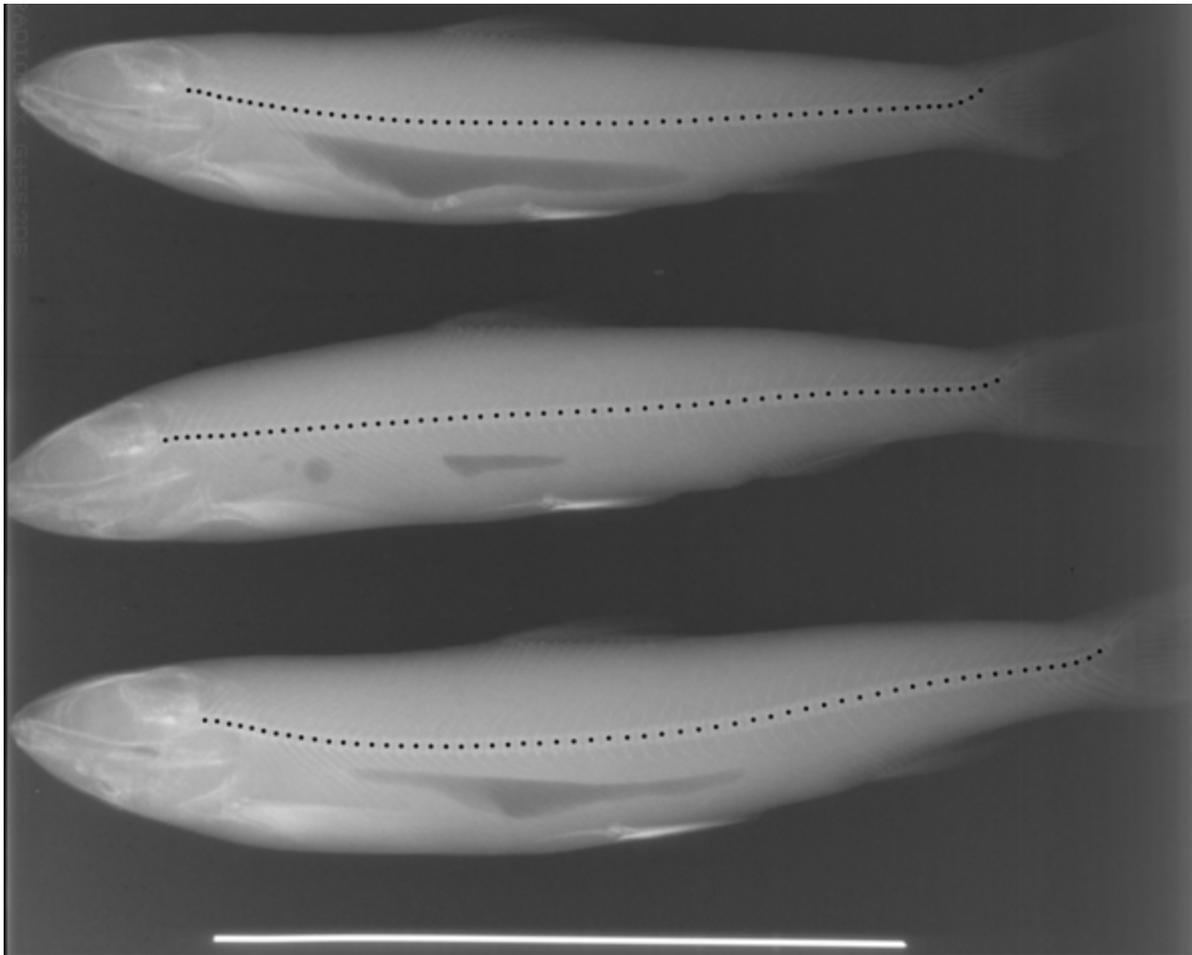
**Bild 2.2A2: Lachssmolt 6-10: dv Ansicht, angeliefert und geröntgt am 03.05.2010, digitalisiert**



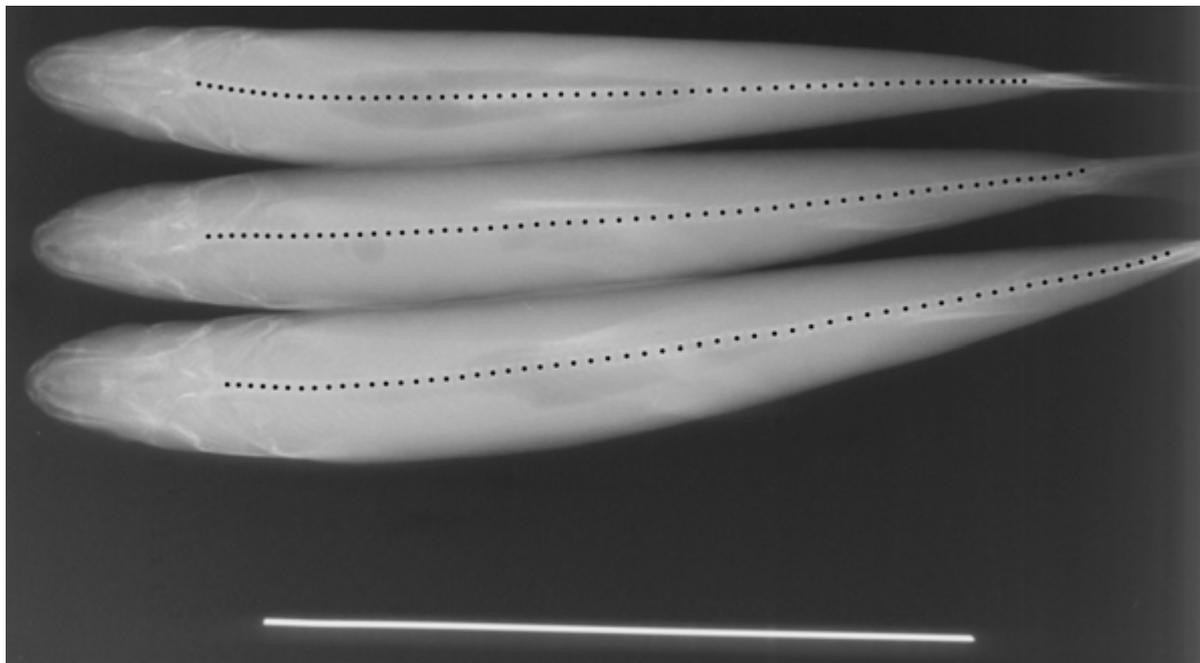
**Bild 3.1A2: Lachssmolt 11-15: II Ansicht, angeliefert und geröntgt am 03.05.2010, digitalisiert**



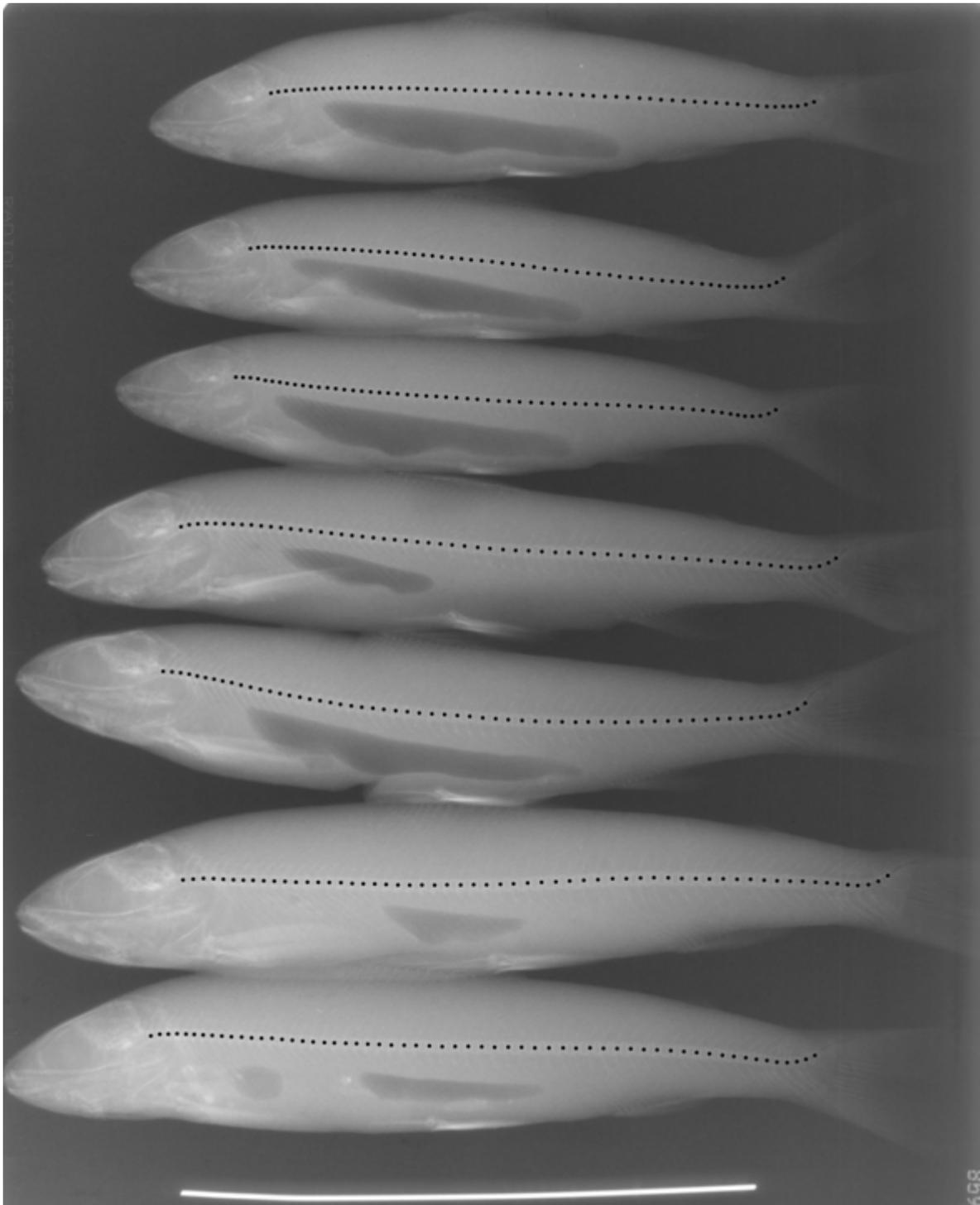
**Bild 3.2A2: Lachssmolt 11-15: dv Ansicht, angeliefert und geröntgt am 03.05.2010, digitalisiert**



**Bild 4.1A2: Lachssmolt 1-3: II Ansicht, angeliefert und geröntgt am 10.05.2010, digitalisiert**



**Bild 4.2A2: Lachssmolt 1-3: dv Ansicht, angeliefert und geröntgt am 10.05.2010, digitalisiert**



**Bild 5.1A2: Lachssmolt 4-10: II Ansicht, angeliefert und geröntgt am 10.05.2010, digitalisiert**

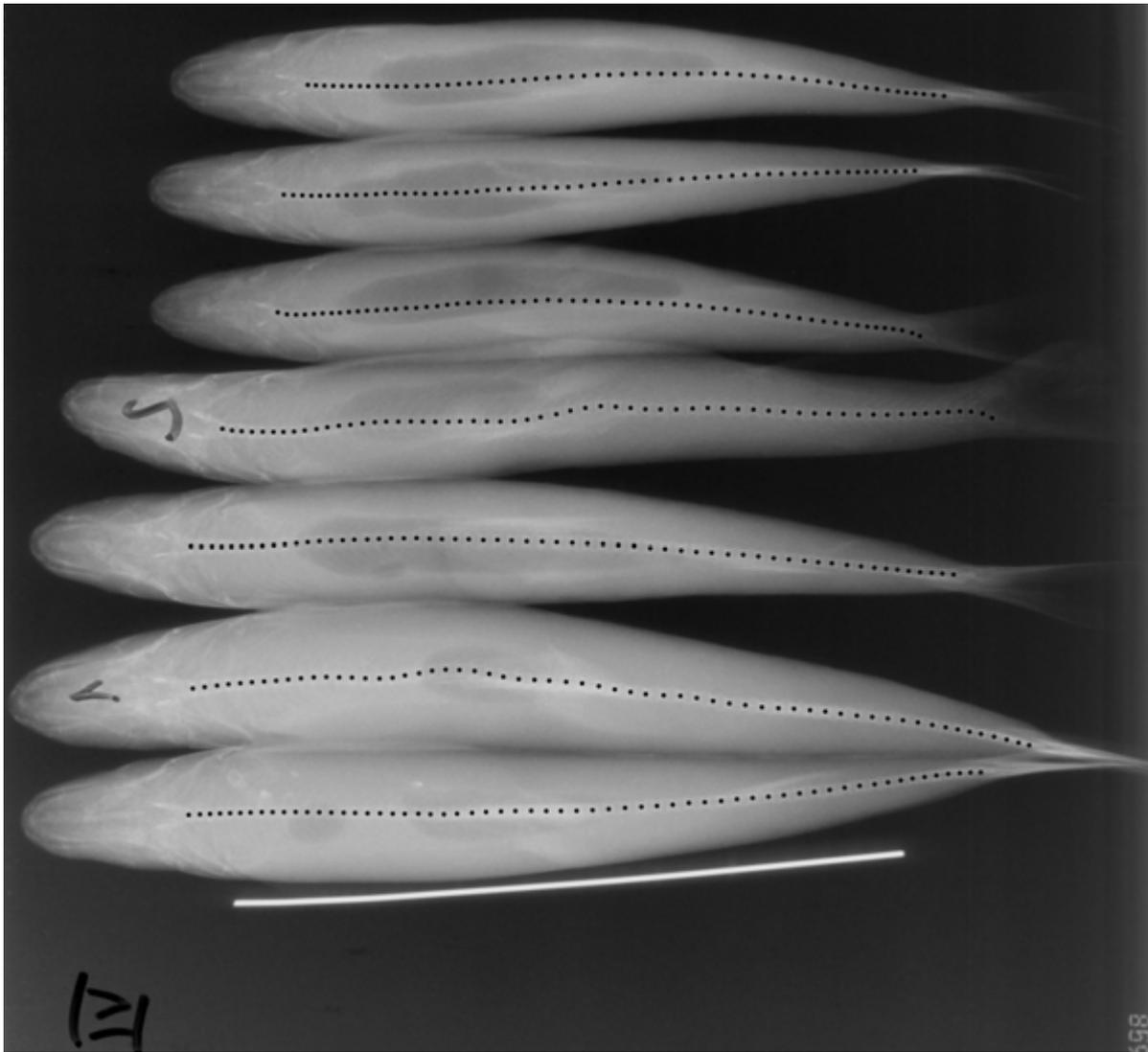
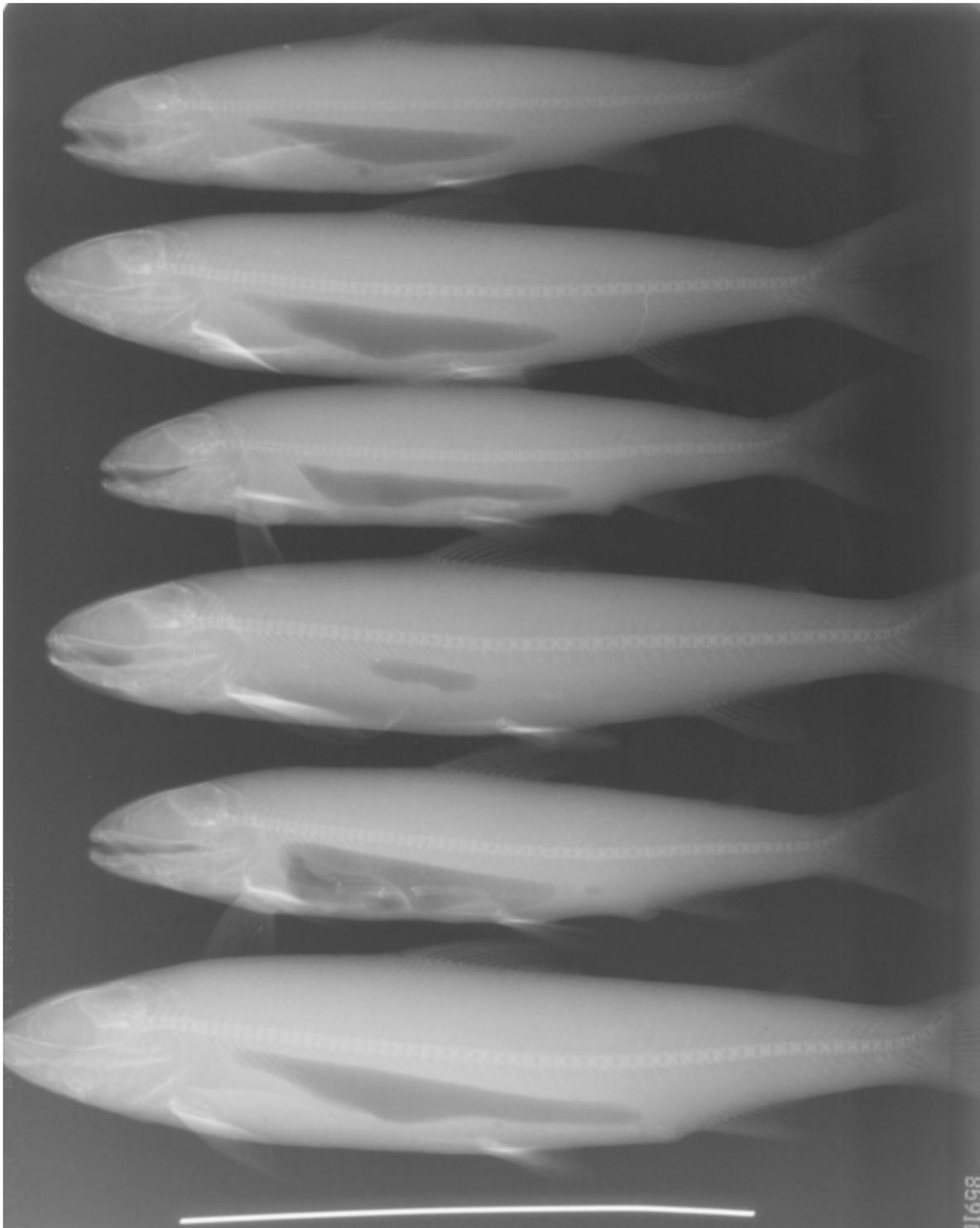


Bild 5.2A2: Lachssmolt 4-10: dv Ansicht, angeliefert und geröntgt am 10.05.2010, digitalisiert



**Bild 6.1A2: Lachssmolt 11-16: II Ansicht, angeliefert und geröntgt am 10.05.2010, digitalisiert**

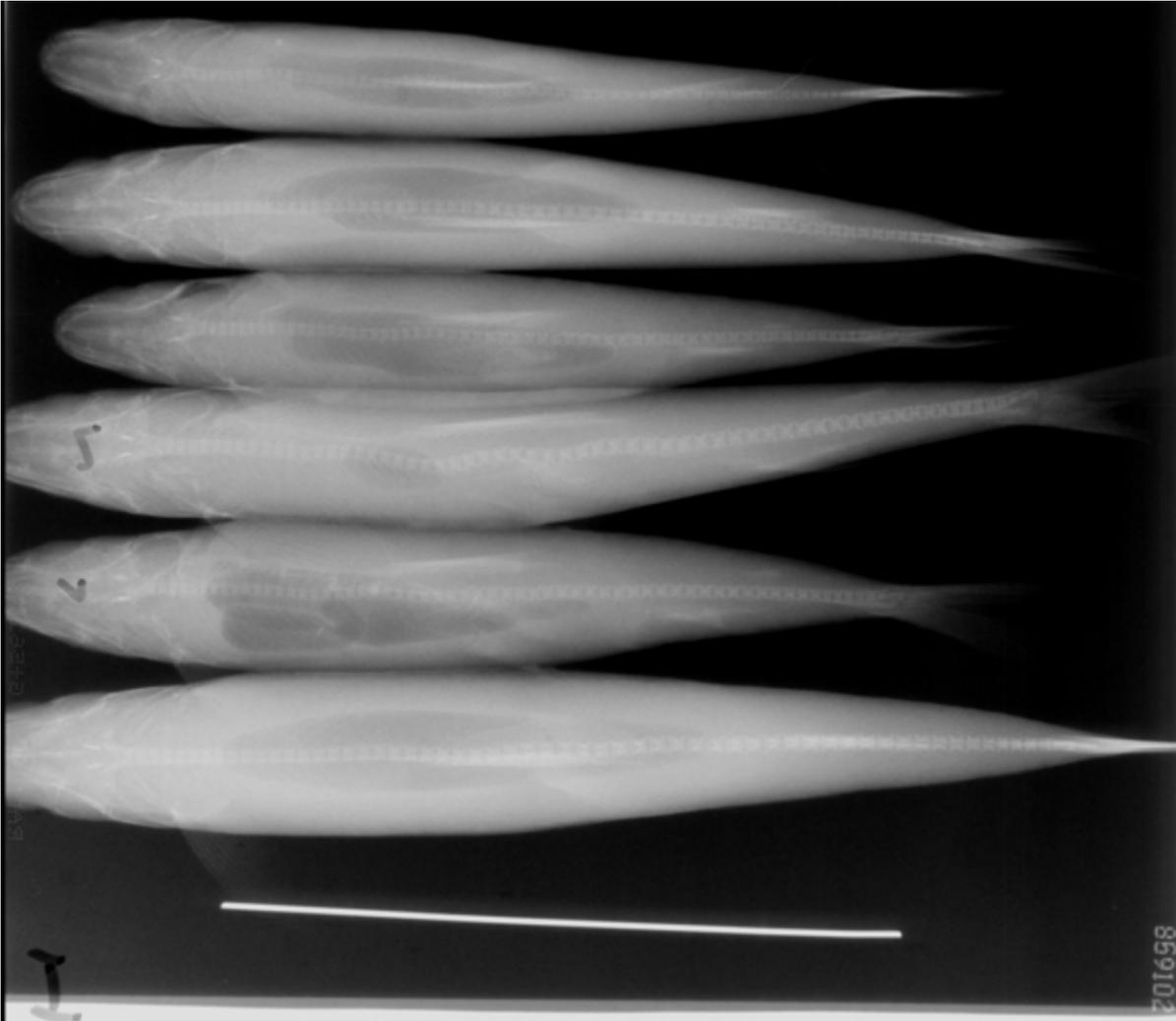
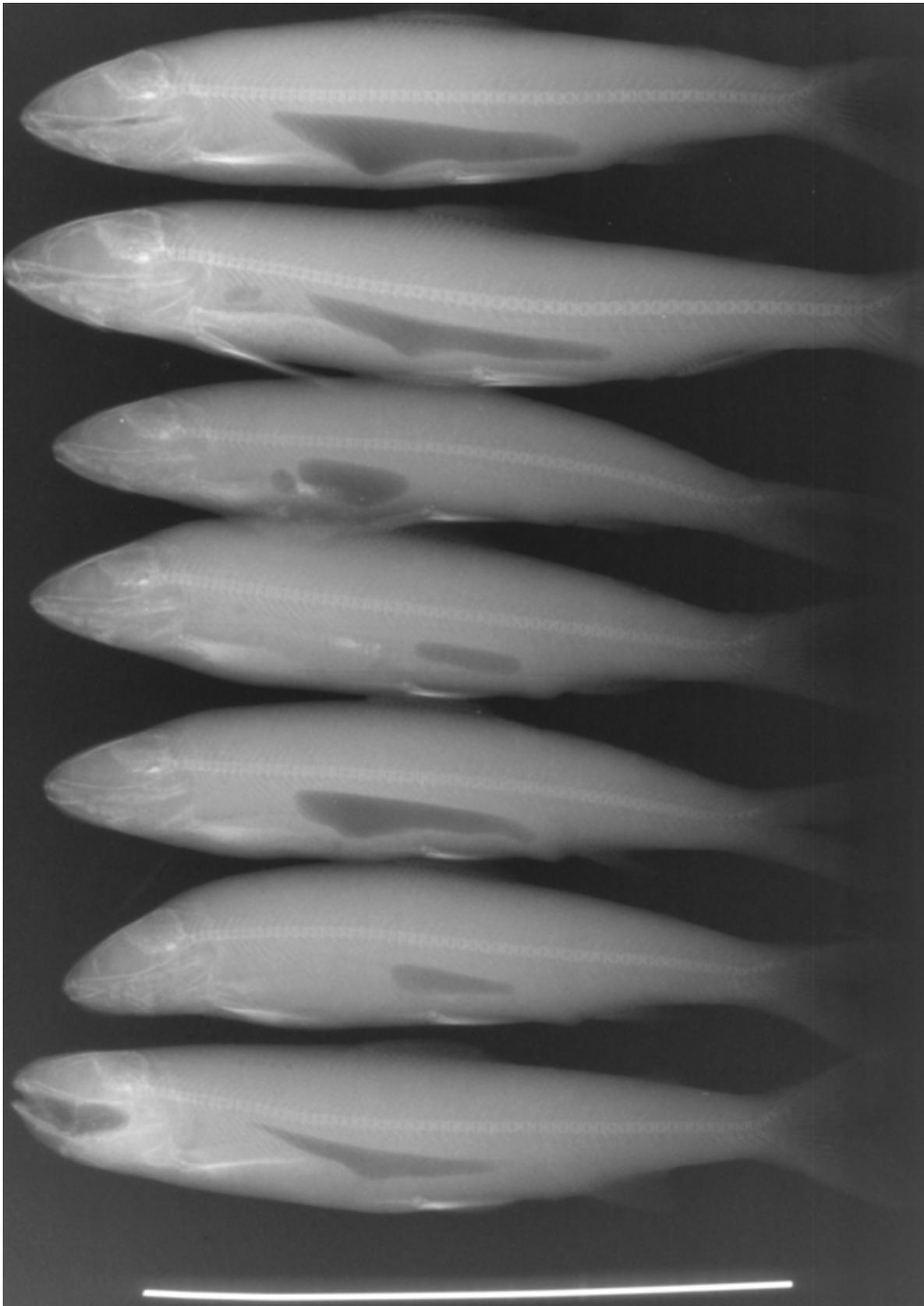


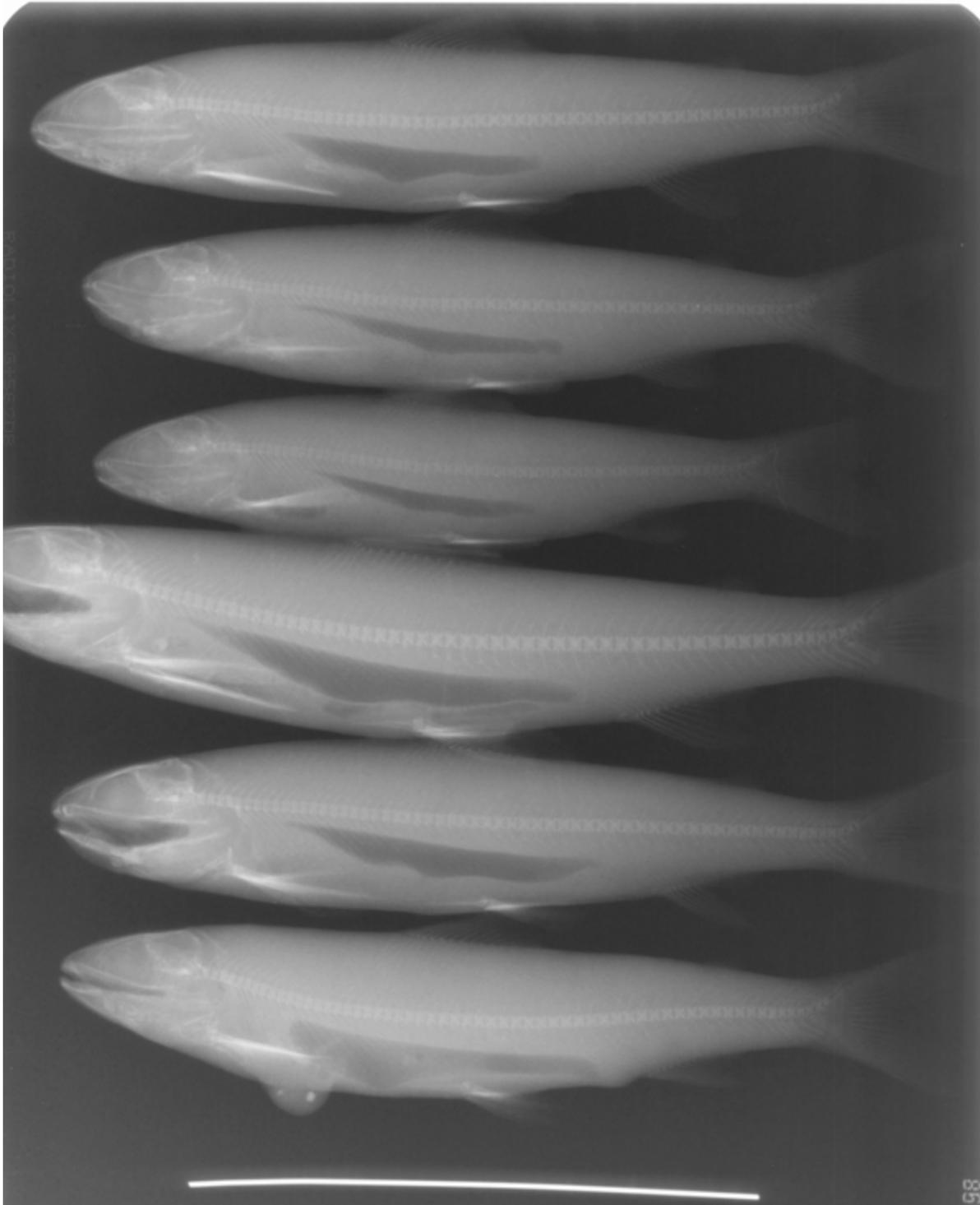
Bild 6.2A2: Lachssmolt 11-16: dv Ansicht, angeliefert und geröntgt am 10.05.2010, digitalisiert



**Bild 7.1A2: Lachssmolt 17-23: II Ansicht, angeliefert und geröntgt am 10.05.2010, digitalisiert**



**Bild 7.2A2: Lachssmolt 17-23: dv Ansicht, angeliefert und geröntgt am 10.05.2010, digitalisiert**



**Bild 8.1A2: Lachssmolt 24- 29: II Ansicht, angeliefert und geröntgt am 10.05.2010, digitalisiert**

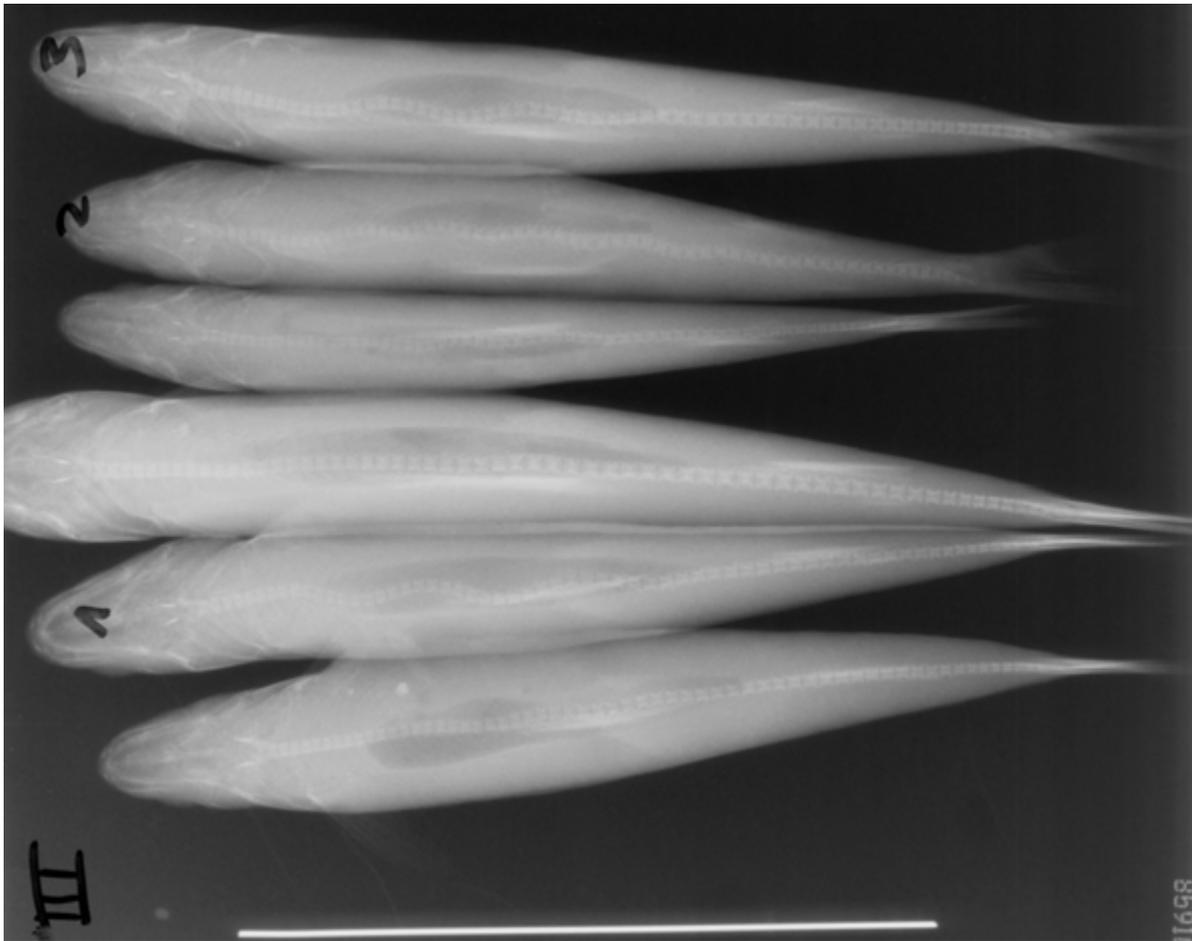


Bild 8.2A2: Lachssmolt 24-29: dv Ansicht, angeliefert und geröntgt am 10.05.2010, digitalisiert

**Herausgeber:**

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)  
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden  
Telefon: + 49 351 2612-0  
Telefax: + 49 351 2612-1099  
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de  
www.smul.sachsen.de/lfulg

**Autor:**

MSc. Mario Matk  
Humboldt-Universität zu Berlin  
Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät

**Redaktion:**

Dr. Gert Füllner, Matthias Pfeifer  
Abteilung Tierische Erzeugung/Referat Fischerei  
Gutsstraße 1, 02699 Königswartha  
Telefon: + 49 35931-296-18  
Telefax: + 49 35931-298-11  
E-Mail: gert.fuellner@smul.sachsen.de

**Fotos:**

Mario Matk  
Archiv LfULG (Titelbild)  
Gert Füllner (S. 19)

**Redaktionsschluss:**

30.01.2012

**ISSN:**

1867-2868

**Hinweis:**

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <http://www.smul.sachsen.de/lfulg/6447.htm> heruntergeladen werden.

**Verteilerhinweis**

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zu Gunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.