

TEXTE

75/2011

# Befunde zur Aalabwan- derung 2008/96

Erarbeitung und Praxiserprobung eines Maßnahmen-  
plans zur ökologisch verträglichen Wasserkraftnutzung  
an der Mittelweser



UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 3707 21 200  
UBA-FB 001521/ANH,1

## **Befunde zur Aalabwanderung 2008/09**

**Erarbeitung und Praxiserprobung eines  
Maßnahmenplans zur ökologisch verträglichen  
Wasserkraftnutzung an der Mittelweser**

von

**Dr. Ulrich Schwevers, Dr. Beate Adam & Dipl.-Geogr. Oliver Engler**  
Institut für angewandte Ökologie, Kirtorf-Wahlen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

**UMWELTBUNDESAMT**

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4200.html> verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Durchführung der Studie:	Institut für angewandte Ökologie Neustädter Weg 25 36320 Kirtorf-Wahlen
Abschlussdatum:	Juli 2010
Herausgeber:	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau Tel.: 0340/2103-0 Telefax: 0340/2103 2285 E-Mail: <a href="mailto:info@umweltbundesamt.de">info@umweltbundesamt.de</a> Internet: <a href="http://www.umweltbundesamt.de">http://www.umweltbundesamt.de</a> <a href="http://fuer-mensch-und-umwelt.de/">http://fuer-mensch-und-umwelt.de/</a>
Redaktion:	Fachgebiet II 2.4 Binnengewässer Stephan Naumann

Dessau-Roßlau, November 2011

## Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB 001521/ANH,1	2.	3.
4. Titel des Berichts Befunde zur Aalabwanderung 2008/09 Erarbeitung und Praxiserprobung eines Maßnahmenplans zur ökologisch verträglichen Wasserkraftnutzung an der Mittelweser		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Schwevers, Ulrich Adam, Beate Engler, Oliver		8. Abschlussdatum Juli 2010
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift)  Institut für angewandte Ökologie Neustädter Weg 25 36320 Kirtorf-Wahlen		9. Veröffentlichungsdatum 09.11.2011
		10. UFOPLAN-Nr. 3707 21 200
		11. Seitenzahl 72 Seiten
		12. Literaturangaben 36 Literaturangaben
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift)  Umweltbundesamt, Postfach 14 06, 06813 Dessau-Roßlau		13. Tabellen und Diagramme 15 Tabellen
		14. Abbildungen 40 Abbildungen
		15. Zusätzliche Angaben
16. Kurzfassung Der vorliegende Bericht fasst Befunde zur Blankaalabwanderung in der Weser zusammen, die in der Abwandersaison 2008/09 durch Auswertung der Schokker- und Hamenfänge von zwei Berufsfischern im Unterwasser der Staustufen Landesbergen und Drakenburg (Niedersachsen) erhoben wurden. Die gefangenen Aale wurden gezählt, vermessen und auf wasserkraftbedingte Schädigungen hin untersucht. Darüber hinaus wurden Wiederränge zuvor markierter und im Unterwasser der Staustufe Schlüsselburg freigelassener Blankaale registriert. Auf dieser Basis lässt sich die Gesamtabwanderung in der Weser im Untersuchungszeitraum jeweils mit ca. 14.000 Exemplaren an den beiden Standorten Landesbergen und Drakenburg angeben. Von diesen Blankaalen weisen jeweils 28 bis 30 % pro Standort wasserkraftbedingte Schädigungen auf. Hierbei steigt das Schädigungsrisiko mit zunehmender Körperlänge. Mindestens die Hälfte der geschädigten Aale, also 14 bis 15 % der Gesamtabwanderung pro Standort sind tot oder so schwer geschädigt, dass sie aufgrund ihrer Verletzungen nicht in der Lage sind, die Reproduktionsgebiete zu erreichen und zur Arterhaltung beizutragen. Die fischereiliche Mortalität lässt sich für die beiden Standorte mit jeweils ca. 16 % angeben.		
17. Schlagwörter Weser, Blankaal, Abwanderung, wasserkraftbedingte Mortalität, fischereiliche Mortalität		
18. Preis	19.	20.

## Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB 001521/ANH,1	2.	3.
4. Report Title Findings about the downstream migration of eel 2008/09 Development and Practical Testing of an Action Plan for the environmentally compatible Use of Hydropower – Hydropower and Water Framework Directive		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s)	8. Report Date July 2010	
6. Performing Organisation (Name, Address)  Institut für angewandte Ökologie Neustädter Weg 25 D-36320 Kirtorf-Wahlen	9. Publication Date 09.11.2011	
	10. UFOPLAN-Ref. No. 3707 21 200	
	11. No. of Pages 72 pages	
7. Sponsoring Agency (Name, Address)  Umweltbundesamt, Postfach 14 06, 06813 Dessau-Roßlau	12. No. of Reference 36 references	
	13. No. of Tables, Diagrams 15 tables	
	14. No. of Figures 40 figures	
15. Supplementary Notes		
16. Abstract The report includes the results about the downstream migration of silver eel in the river Weser in winter 2008/09, ascertained by the evaluation of fyke net and anchored stow net catches of two fishermen downstream the barrages Landesbergen and Drakenburg. The caught eel had been counted, measured and checked if there were eel injured by hydropower facilities. Moreover, re-catches of prior marked and downstream of the barrage Schlüsselburg released silver eel were registered. Based on the obtained data, the total quantity of downstream migrating eel in the river Weser during this investigation was quantified as ca. 14.000 specimen at both sites. 28 up to 30 % of these eels were harmed by turbines. The risk of injury increases with the length of the specimen. At least half of the injured eel, i. e. 14 up to 15 % of the total catch was dead or so heavily damaged, that they were not able to survive. The mortality of the downstream migrating silver eel was quantified as 16 % for both locations.		
17. Keywords River Weser, silver eel, downstream migration, mortality caused by hydropower and by fisheries		
18. Price	19.	20.



**Institut für angewandte Ökologie**



**WASSERRAHMENRICHTLINIE  
UND WASSERKRAFTNUTZUNG  
IM WESERGEBIET**

**Befunde zur  
Aalabwanderung 2008/09**



**F + E Vorhaben im Auftrag des Umweltbundesamtes**

**Dr. Ulrich Schwevers, Dr. Beate Adam & Dipl.-Geogr. Oliver Engler  
Neustädter Weg 25  
36320 Kirtorf-Wahlen**

**Wahlen, Juli 2010**





# INHALT

Zusammenfassung	1
1 Einleitung	2
2 Untersuchungsgebiet	3
3 Methodik	8
3.1 Fang abwandernder Blankaale	8
3.1.1 Schokker	10
3.1.2 Scherbretthamen	14
3.2 Markierung von Aalen	18
3.3 Erkennbarkeit der Markierungen beim Wiederfang	23
3.4 Wiederfang und Auswertung der Schokkerfänge	24
3.5 Schadensbilder	26
3.6 Längen-Gewichts-Relation	31
3.7 Alarme des Frühwarnsystems MIGROMAT® an der Fulda	32
4 Befunde	34
4.1 Fangdaten	34
4.2 Längenfrequenz der Fänge	36
4.3 Wiederfänge markierter Aale	37
4.3.1 Bilanzierung der Wiederfänge	37
4.3.2 Zeitlicher Verlauf der Wiederfänge	38

4.4	Schädigungen	39
4.4.1	Schädigungsrate	40
4.4.2	Differenzierung in letale und subletale Schädigungen	42
4.4.3	Mortalitätsrate	43
4.4.4	Schädigungsrate in Abhängigkeit vom Turbinendurchfluss	44
4.4.5	Schädigungsrate in Abhängigkeit von der Körpergröße	50
4.5	Bilanzierung der Blankaalabwanderung	52
4.5.1	Gesamtzahl	52
4.5.2	Gesamtgewicht	53
4.5.3	Gesamtfang und Fangquote der Fischer	54
4.5.4	Turbinenbedingte Mortalität	54
4.5.5	Fischereiliche Mortalität	55
4.5.6	Übersicht über die Blankaalbilanzierung	56
4.6	Übereinstimmung mit dem Frühwarnsystem MIGROMAT®	57
5	Diskussion	59
5.1	Quantifizierung der Blankaalabwanderung	59
5.2	Untersuchung der turbinenbedingten Mortalität	60
5.3	Verwertbarkeit der MIGROMAT®-Alarmer an der Mittelweser	65
6	Ausblick	67
7	Literatur	69

## ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Bericht fasst Befunde zur Blankaalabwanderung in der Weser zusammen, die in der Abwandersaison 2008/09 im Rahmen des UBA-Projektes „Wasserrahmenrichtlinie und Wasserkraft im Wesergebiet“ erhoben wurden.

Die Datenaufnahme erfolgte durch Auswertung der Schokker- und Hamenfänge von zwei Berufsfischern im Unterwasser der Staustufen Landesbergen und Drakenburg (Niedersachsen). Die gefangenen Aale wurden gezählt, vermessen und auf wasserkraftbedingte Schädigungen hin untersucht. Darüber hinaus wurden Wiederfänge zuvor markierter und im Unterwasser der Staustufe Schlüsselburg freigelassener Blankaale registriert. Auf dieser Basis wurden folgende Daten ermittelt:

- Von den Fischern wurden insgesamt ca. 4.600 Blankaale mit einer mittleren Gesamtlänge von ca. 65 cm gefangen.
- Anhand dieser Fänge sowie der Wiederfänge markierter Exemplare lässt sich die Gesamtabwanderung in der Weser im Untersuchungszeitraum jeweils mit ca. 14.000 Exemplaren an den beiden Standorten Landesbergen und Drakenburg angeben.
- Von diesen Blankaalen weisen jeweils 28 bis 30 % pro Standort wasserkraftbedingte Schädigungen auf. Hierbei steigt das Schädigungsrisiko mit zunehmender Körperlänge.
- Vorschädigungen durch stromaufwärts gelegene Wasserkraftanlagen spielen offensichtlich allenfalls eine untergeordnete Rolle.
- Mindestens die Hälfte der geschädigten Aale, also 14 bis 15 % der Gesamtabwanderung pro Standort sind tot oder so schwer geschädigt, dass sie aufgrund ihrer Verletzungen nicht in der Lage sind, die Reproduktionsgebiete zu erreichen und zur Arterhaltung beizutragen.
- Die fischereiliche Mortalität der in der Weser abwandernden Blankaale lässt sich für die beiden Standorte Landesbergen und Drakenburg mit jeweils ca. 16 % angeben.
- In einigen Fällen wurden Abwanderpeaks von Blankaalen im Abstand von zwei bis drei Tagen nach Alarmmeldungen des an der Staustufe Wahnhausen an der Fulda (Hessen) betriebenen Frühwarnsystems MIGROMAT<sup>®</sup> registriert.

Abschließend werden die eingesetzten Methoden v. a. in Hinblick auf die Zuverlässigkeit der Quantifizierung diskutiert und die Befunde bezüglich ihrer Bedeutung für künftige Maßnahmen zum Blankaalschutz an der Weser bewertet.

# 1 EINLEITUNG

Das Ingenieurbüro Floecksmühle bearbeitet im Auftrag des Umweltbundesamtes unter der Forschungskennzahl 3707 21 200 das Projekt „Erarbeitung und Praxiserprobung eines Maßnahmenplans zur ökologisch verträglichen Wasserkraftnutzung an der Mittelweser“, kurz „Wasserkraftnutzung und Wasserrahmenrichtlinie“.

Im Rahmen dieses Projektes führte das Institut für angewandte Ökologie im Unterauftrag in der Saison 2008/09 Untersuchungen zur Blankaalabwanderung in der Mittelweser durch. Hierbei standen folgende Fragen im Vordergrund:

- Wie viele Blankaale wandern insgesamt über die untersuchten Standorte ab?
- Wie hoch sind die wasserkraft- und fischereilich bedingten Blankaalverluste an den beiden Standorten?
- Besteht ein Zusammenhang zwischen der Körpergröße und dem Schädigungsrisiko eines abwandernden Aals?
- Welchen Einfluss hat der Öffnungswinkel der Turbinenschaufeln auf die Schädigungsrate?
- Besteht ein zeitlicher Zusammenhang zwischen den Alarmen des Frühwarnsystems MIGROMAT<sup>®</sup> an der Fulda-Staustufe Wahnhausen und der Blankaalabwanderung an der Mittelweser?

Aus Kostengründen erfolgte die Bearbeitung dieser Fragestellungen nicht mittels Freilanduntersuchungen mit Hamen unmittelbar an den Turbinen der Wasserkraftwerke, sondern es wurden die Schokker- und Hamenfänge der Berufsfischer ausgewertet, die ihre Fanggeräte im Unterwasser der Kraftwerke betreiben.

Die eingesetzten Methoden sowie die erzielten Befunde werden nachfolgend dargestellt. Darüber hinaus wird die Aussagekraft der Befunde vor dem Hintergrund der methodischen Restriktionen diskutiert und die Bedeutung der Ergebnisse in Hinblick auf künftige Maßnahmen zum Schutz abwandernder Blankaale in der Weser bewertet.

## 2      UNTERSUCHUNGSGEBIET

Die Weser erstreckt sich vom Zusammenfluss von Fulda und Werra in Hann. Münden bis zum Leuchtturm „Roter Sand“ im Wattenmeer der Nordsee. Sie weist eine Länge von 477 km auf und ihr Einzugsgebiet umfasst eine Fläche von 46.306 km<sup>2</sup>. Damit entwässert die Weser zusammen mit ihren Quellflüssen etwa  $\frac{1}{8}$  der Landesfläche Deutschlands (TÖNSMANN 1995) und lässt sich in Fließrichtung in die vier Abschnitte Ober-, Mittel-, Unter- und Außenweser untergliedern (Tab. 1):

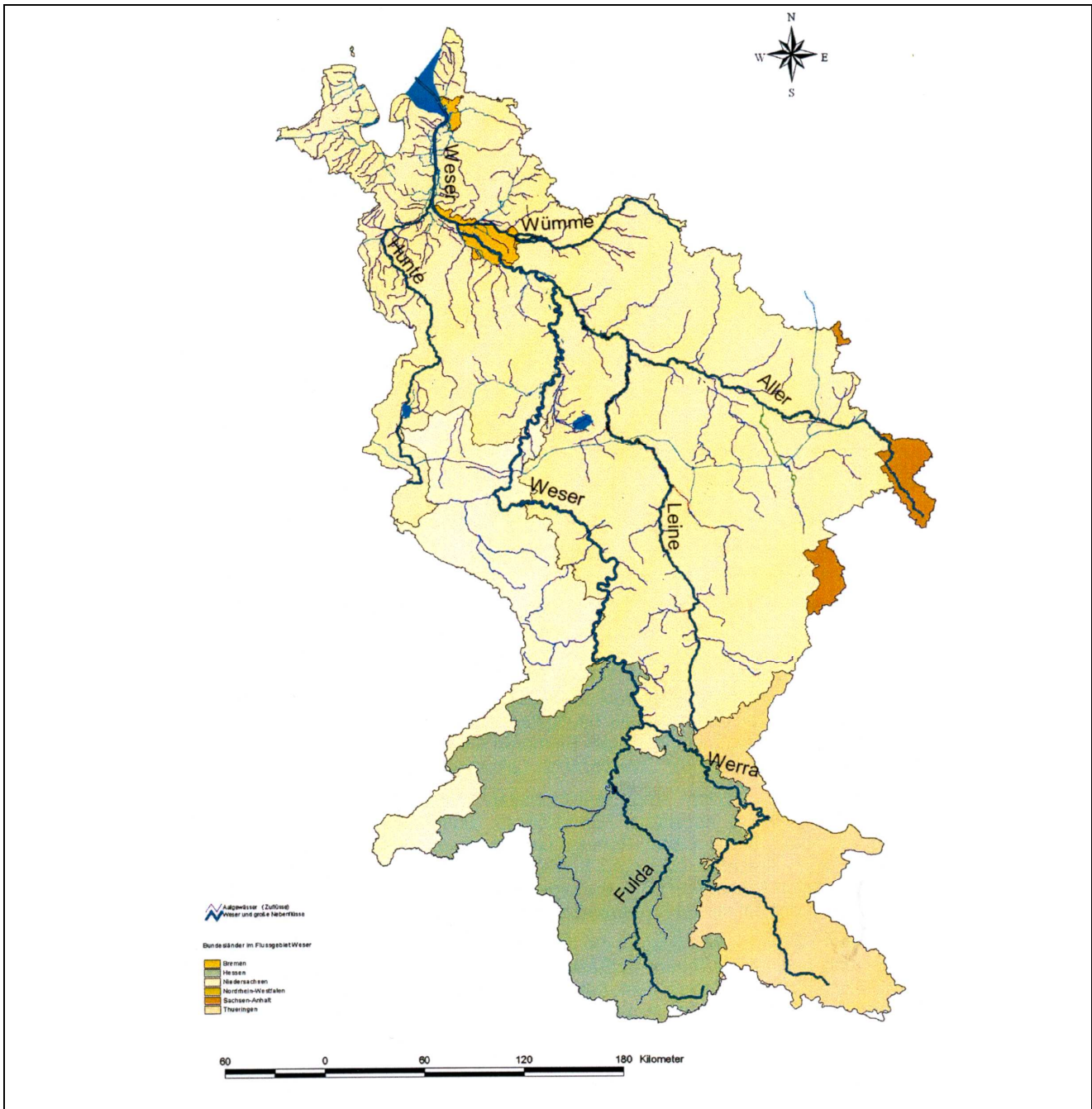


Abb. 1: Einzugsgebiet der Weser mit farblicher Markierung der Bundesländer (LAVES et al. 2008)

Tab. 1: Längsgliederung der Weser (WSV 1999)

Abschnitt	Weser-km	Ortsbezeichnung
Oberweser	0,000 - 204,445	Hann. Münden bis Minden
Mittelweser	204,445 - 362,000	Minden bis Bremen (Hemelingen)
Unteres Weser	362,000 - 427,000	Bremen (Hemelingen) bis Bremerhaven
Außenweser	427,000 - 477,000	Bremerhaven bis Leuchtturm „Roter Sand“

Die vorliegende Untersuchung beschränkt sich auf die stauregulierte Mittelweser, und hier auf die Staustufen Schlüsselburg (Weser-km 236,60), Landesbergen (Weser-km 251,96) und Drakenburg (Weser-km 277,74) (Abb. 2). Nur in diesem Abschnitt waren die methodischen Voraussetzungen zum Fang, zur Markierung und zum Wiederfang abwandernder Blankaale gegeben, da sich die drei an diesen Wehranlagen aktiven Berufsfischer bereit erklärten, im vorliegenden Projekt mitzuarbeiten.

Die Fanggeräte der Berufsfischer befinden sich nicht unmittelbar im Unterwasser der mit Wasserkraftanlagen ausgestatteten Staustufen, sondern mehr oder weniger weit stromabwärts davon. Die jeweiligen Entfernungen sind in Tab. 2 angegeben.

Tab. 2: Lage der Fanggeräte und deren Abstand im Unterwasser von den Wehren

Staufufe	Position	Weser-km	Abstand vom Wehr ca.
Schlüsselburg	Wehr	236,60	
	Schokker Reiter	236,95	350 m
Landesbergen	Wehr	251,96	
	Schokker Brauer	252,16	200 m
Drakenburg	Wehr	277,74	
	Schokker Dobberschütz 1	278,40	660 m
	Schokker Dobberschütz 2	277,70	960 m
	Schokker Dobberschütz 3	279,54	1.800 m
	Scherbretthamen Dobberschütz	280,94	3.200 m

In Tab. 3 sind die hydrologischen Hauptwerte der Weser an den Pegeln Liebenau und Dörverden aufgeführt, die in erster Annäherung die Abflüsse an den Staustufen Landes-



bergen (4,0 km stromaufwärts Liebenau) und Drakenburg (31,2 km stromaufwärts Dörverden) repräsentieren. Die Abflüsse während des Untersuchungszeitraums, die Aufteilung des Abflusses auf die Turbinen der Kraftwerke Landesbergen und Drakenburg sowie das jeweilige Wehr an den Fangtagen der Berufsfischer enthalten Tab. 4 und 5.

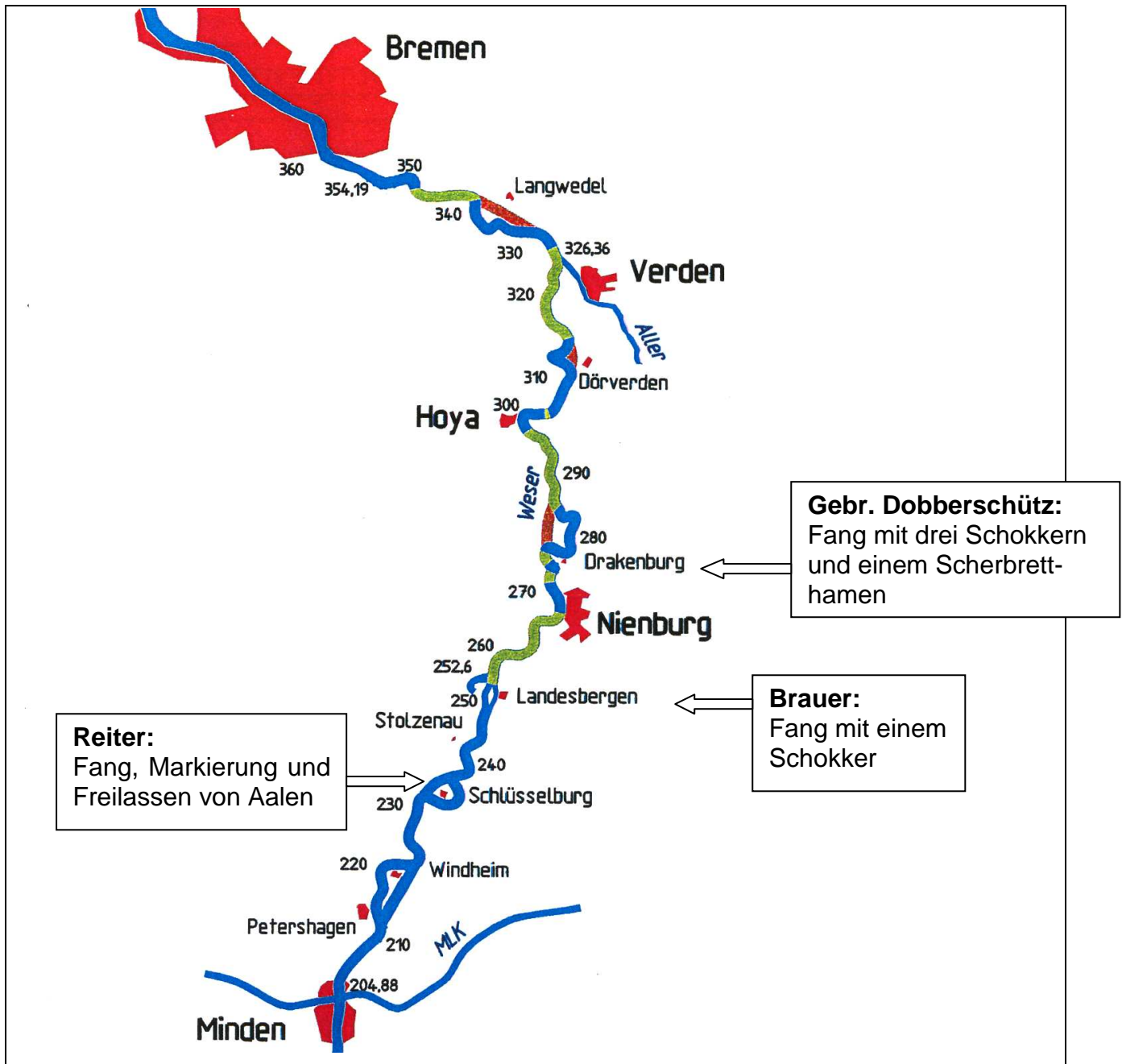


Abb. 2: Mittelweser mit Lage der Fischereibetriebe, deren Fänge im Rahmen des vorliegenden Projektes genutzt wurden (Kartengrundlage: WSV 1999; rot markiert sind die Schleusenkanäle, grün markiert die aktuellen Ausbauabschnitte der Mittelweseranpassung)

Tab. 3: Hydrologische Hauptwerte der Weser an den Pegeln Liebenau und Dörverden für die Abflussjahre 1954 bis 2003 (NLWKN 2006)

	<b>Pegel Liebenau</b>	<b>Pegel Dörverden</b>
Weser-km	256,0	308,9
Einzugsgebiet	19.910 km <sup>2</sup>	22.112 km <sup>2</sup>
NQ	23,6 m <sup>3</sup> /s	23,8 m <sup>3</sup> /s
MNQ	65,9 m <sup>3</sup> /s	70,7 m <sup>3</sup> /s
MQ	193 m <sup>3</sup> /s	208 m <sup>3</sup> /s
MHQ	798 m <sup>3</sup> /s	801 m <sup>3</sup> /s
HQ	1.310 m <sup>3</sup> /s	1.320 m <sup>3</sup> /s

Tab. 4: Gesamtabfluss der Weser und dessen Aufteilung am Standort Landesbergen auf die einzelnen Turbinen und das Wehr (STATKRAFT MARKETS GmbH) an den Fangtagen des Berufsfischers

Datum	Abfluss [m³/s] WKA Landesbergen	Aufteilung auf Turbinen und Wehr [m³/s]			
		T1	T2	T3	Wehr
23.11.2008	144,95	48,32	48,32	48,32	0,00
24.11.2008	148,65	49,55	49,55	49,55	0,00
25.11.2008	152,81	50,94	50,94	50,94	0,00
26.11.2008	135,79	45,26	45,26	45,26	0,00
27.11.2008	132,54	44,18	44,18	44,18	0,00
28.11.2008	137,63	45,88	45,88	45,88	0,00
29.11.2008	135,74	45,25	45,25	45,25	0,00
30.11.2008	133,16	44,39	44,39	44,39	0,00
01.12.2008	123,33	41,11	41,11	41,11	0,00
04.12.2008	110,87	36,96	36,96	36,96	0,00
05.12.2008	116,57	38,86	38,86	38,86	0,00
07.12.2008	145,45	48,48	48,48	48,48	0,00
08.12.2008	172,78	57,59	57,59	57,59	0,00
09.12.2008	204,87	68,29	68,29	68,29	0,00
10.12.2008	192,08	64,03	64,03	64,03	0,00
11.12.2008	172,80	57,60	57,60	57,60	0,00
12.12.2008	153,41	51,14	51,14	51,14	0,00
13.12.2008	150,36	50,12	50,12	50,12	0,00
14.12.2008	146,58	48,86	48,86	48,86	0,00

Tab. 5: Gesamtabfluss der Weser und dessen Aufteilung am Standort Drakenburg auf die einzelnen Turbinen und das Wehr (STATKRAFT MARKETS GmbH) an den Fangtagen des Berufsfischers

Datum	Abfluss [m³/s] WKA Drakenburg	Aufteilung auf Turbinen und Wehr [m³/s]			
		T1	T2	T3	Wehr
29.10.2008	80,44	40,22	40,22	0,00	0,00
30.10.2008	85,25	42,63	42,63	0,00	0,00
31.10.2008	97,63	48,82	48,82	0,00	0,00
01.11.2008	100,75	50,38	50,38	0,00	0,00
02.11.2008	97,91	48,96	48,96	0,00	0,00
22.11.2008	145,71	60,36	60,36	25,00	0,00
23.11.2008	147,60	61,30	61,30	25,00	0,00
24.11.2008	145,91	60,46	60,46	25,00	0,00
25.11.2008	155,63	65,32	65,32	25,00	0,00
26.11.2008	140,09	57,55	57,55	25,00	0,00
27.11.2008	134,10	54,55	54,55	25,00	0,00
28.11.2008	136,57	55,79	55,79	25,00	0,00
29.11.2008	129,34	52,17	52,17	25,00	0,00
30.11.2008	130,77	52,89	52,89	25,00	0,00
01.12.2008	119,60	47,30	47,30	25,00	0,00
10.12.2008	197,07	80,54	80,54	25,00	11,00
11.12.2008	175,39	75,20	75,20	25,00	0,00
12.12.2008	157,93	66,47	66,47	25,00	0,00
13.12.2008	142,92	58,96	58,96	25,00	0,00
14.12.2008	138,42	56,71	56,71	25,00	0,00

### **3      METHODIK**

#### **3.1      FANG ABWANDERNDER BLANKAALE**

Die Aalbestände des Binnenlandes lassen sich in verschiedene Altersstadien unterscheiden, die, sofern der Fang zulässig ist, mit unterschiedlichen Fangmethoden berufsfischereilich genutzt werden (Abb. 3).

Bei den Steigaalen handelt es sich um Jungfische, die vom Meer kommend, die Flusssysteme besiedeln. Der Fang dieser juvenilen Entwicklungsstadien des Aals ist gemäß der Fischereiverordnungen aller Bundesländer verboten.

Während der ca. 10- bis 15-jährigen Aufwuchsphase im Binnenland werden die Aale als Gelbaale bezeichnet (TESCH 1983). In diesem Stadium sind die Aale nicht ortstreu, sondern führen Wanderung innerhalb des Gewässersystems durch, die sich in einer Saison über Dutzende von Kilometern erstrecken können (MANN 1965). Gelbaale werden vor allem während des Sommers gefangen. Hierzu setzen Berufsfischer in der Regel Reusen ein, deren Effizienz auf dem Ortswechsel der Aale vor allem zum Zwecke der Nahrungssuche beruht.

Ausgewachsene Aale färben sich silbrig zu den sogenannten Blankaaalen um, die flussabwärts wandern, um sich im Meer fortzupflanzen. Blankaaale werden fast ausschließlich während der Abwanderung gefangen. Dies geschieht durch trichterförmige Netze, die in der Strömung exponiert werden, um die Fische aus dem Wasserkörper heraus zu filtern. Traditionell werden Blankaaale mit sogenannten Hamen gefangen, die in Ufernähe exponiert sind, aber insgesamt eine relativ geringe Fangeffektivität erreichen. Wesentlich effektiver sind demgegenüber Aalschokker (Kap. 3.1.1) und Scherbretthamen (Kap. 3.1.2), die aktuell von den Weserfishern zum Fang von Blankaaalen eingesetzt werden.

Die Abwanderung der Blankaaale erfolgt in Schüben, die sich auf ca. 20 bis 30 Ereignisse im Jahr konzentrieren (DWA 2005). Erste Abwanderereignisse können bereits im Spätsommer einsetzen und noch im Februar ist mit einer Abwanderung von Blankaaalen zu rechnen. Nach derzeitigem Wissen wird die Aalabwanderung primär durch steigende Abflüsse ausgelöst, doch sind darüber hinaus offenbar weitere exo- und endogene Faktoren wirksam. Deren Charakter und Wirkung ist bisher allerdings erst ansatzweise bekannt und die Hierarchie der verschiedenen Trigger zueinander ist noch gänzlich unverstanden. Deshalb ist eine Prognose von Aalabwanderereignissen anhand von Umweltfaktoren bis heute nicht verlässlich möglich (DURIF & ELIE 2008).

Abb. 3: Steigaale (links unten), Gelbaal (rechts oben) und Blankaal (rechts unten)



Der Betrieb von Schokkern und Hamen ist mit einem beträchtlichen Aufwand verbunden, weil nicht nur abwandernde Aale und andere Fische gefangen werden, sondern sich darüber hinaus auch sämtliches Treibgut in den Netzen verfängt, die mühsam per Hand gereinigt werden müssen. Deshalb setzen die Fischer diese Geräte jeweils nur dann ein, wenn sie gemäß ihrer Erfahrung mit der Abwanderung von Blankaalen rechnen. Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden ausschließlich diejenigen Fänge ausgewertet, die bei diesen üblichen fischereilichen Aktivitäten anfielen.

### **3.1.1 Schokker**

Der Schokker ist ein fischereiliches Spezialfahrzeug, das um 1900 in den Niederlanden entwickelt wurde (Abb. 4 bis Abb. 8). Es handelt sich um ein Schiff von ca. 14 bis 18 m Länge und 4,5 bis 5,2 m Breite, das über keinen eigenen Antrieb verfügt, sondern an Ketten und Trossen fest verankert wird.

Das eigentliche Fanggerät, der Hamen, ist ein kegelförmiger, vorn und hinten offener Netzschlauch. Die der Strömung zugewandte große Hamenöffnung hat eine Breite von 10 bis 12 m und eine Tiefe von ca. 4 bis 6 m. Die hintere kleine Öffnung hat einen Durchmesser von 50 cm. Das Netz wird aus mehreren, verschieden dicken Garnsorten gestrickt. Am vorderen Ende mit der dicksten Sorte beginnend, werden große, ca. 15 bis 20 cm weite Maschen gestrickt, denen in Abständen von je 1 Meter immer dünneres Garn mit kleineren Maschen folgt, bis zu einer Maschenweite von ca. 3 cm am Ende des insgesamt ca. 30 m langen Netzschlauchs. Zugleich wird nach je einem Meter Netzlänge die Zahl der Maschen reduziert, woraus sich die sukzessive Verjüngung des Hamens ergibt. Am Ende des Hamens ist schließlich ein Fangsack von 2 bis 4 Meter Länge, der sogenannte Steert befestigt (Abb. 7), der eine Maschenweite von nur noch 1,2 cm aufweist und der den Fang aufnimmt.

Der, bzw. im Falle der Weserschocker die beiden Hamen, werden seitlich neben dem Schiffsrumpf zwischen einem Ober- und einem Unterbaum montiert (Abb. 4b: O und U). Um die Hamenöffnungen rechtwinklig zum Schocker zu orientieren, sind beide Bäume über Drahtseile (Abb. 4: sp und H) jeweils an beiden Enden zum Oberwasser hin abgespannt.

Der Oberbaum ist fest fixiert und befindet sich auf bzw. kurz oberhalb der Wasseroberfläche. Der Unterbaum kann über Seilzüge, die sogenannten Unterbaumdrähte (Abb. 4: 3a und 3b) gehoben und abgesenkt werden. Hierzu wird das Seil über eine Umlenkrolle am Mast zu einer Seilwinde (W) auf dem Deck des Schokkers geführt. In Ruhestellung ist der Unterbaum bis auf das Niveau des Oberbaumes angehoben (Abb. 5). Um das Netz zu öffnen, wird der Unterbaumdraht gelockert und der Unterbaum senkt sich ab. Zur Vermeidung von Beschädigungen des Netzes wird er nicht ganz auf den Gewässergrund abgelassen, sondern ca. 0,5 m über Grund fixiert. Er ist mit einer schweren Kette umwickelt, die den Spalt zwischen Hamen und Gewässergrund versperren soll, vor allem aber dazu dient, den Unterbaum so zu beschweren, dass er aufgrund seines Eigengewichtes absinkt, sobald der Unterbaumdraht gelockert wird.



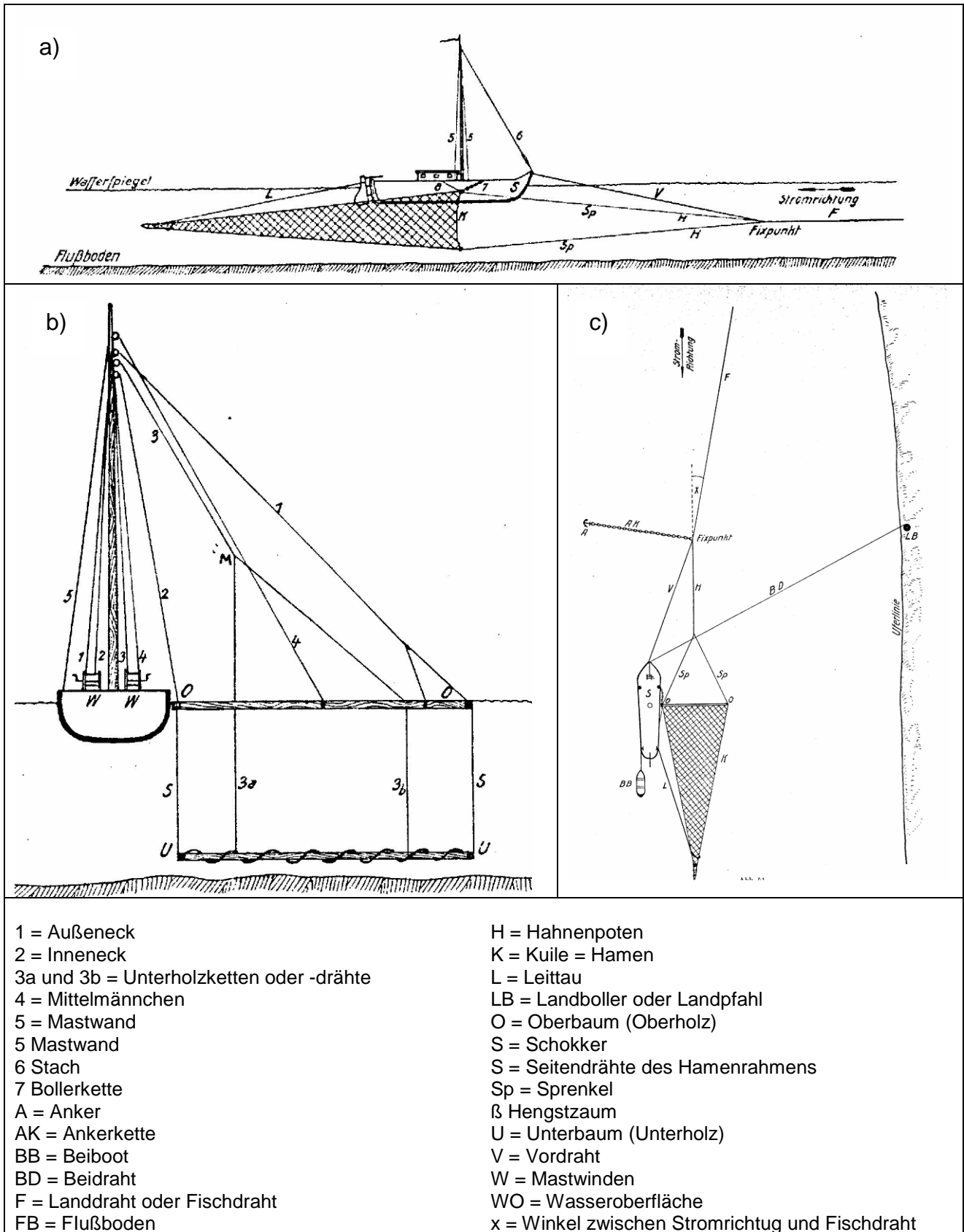


Abb. 4: Hamen in Längsschnitt (a), Querschnitt (b) und Aufsicht (c) (BÜRGER 1926)

Weil die Aalabwanderung vorwiegend nachts erfolgt, werden die Hamen eines Schokkers in der Regel gegen Abend exponiert. Hierzu wird zunächst der Steert am Ende des Hamens befestigt und dann der Unterbaum abgesenkt, um den Hamen zu öffnen. Ist der Treibgutanteil und/oder Fang gering, bleibt der Schokker die ganze Nacht in Fangposition. Am nächsten Morgen wird zunächst der Unterbaum gehoben, so dass sich die Hameöffnung schließt und der Hamen nicht mehr dem Wasserdruck ausgesetzt ist. Dann wird der Fang geborgen, indem der Steert ins Beiboot geholt und dort entleert wird.

Bevor der Schokker wieder eingesetzt werden kann, muss das Hamennetz von Unrat und Treibgut gereinigt werden (Abb. 9). In Zeiten hohen Treibgutanteils und während starker Aalabwanderereignisse wird der Fang mehrmals in der Nacht geborgen und/oder der Hamen gereinigt, bevor er wieder exponiert werden kann.

Durch die Fangmethode bedingte Schädigungen treten bei Aalen erfahrungsgemäß nicht auf.



Abb. 5: Schokker des Fischereibetriebs der Gebrüder Dobberschütz, in Ruhestellung mit angehobenem Unterbaum (Ansicht in Fließrichtung)





Abb. 6: Schokker des Fischereibetriebs Dobberschütz (Seitenansicht); der Hamen erstreckt sich als dunkler Schatten von seitlich neben bis weit hinter dem Rumpf



Abb. 7: Steert eines Hamens



Abb. 8: Nach der Fangphase müssen Hamen und Steert von Treibgut gereinigt werden, bevor das Gerät wieder exponiert werden kann

Der Schokker ist das an der Mittelweser gebräuchliche fischereiliche Gerät zum Fang von Blankaalen. Der Fischereibetrieb Brauer in Landesbergen verfügt über einen Schokker, die Betriebe Reiter und Gebr. Dobberschütz setzen jeweils drei solcher Fanggeräte in Petershagen und Schlüsselburg bzw. in Drakenburg ein.

### **3.1.2 Scherbretthamen**

Der Scherbretthamen (Abb. 9 bis Abb. 12) wurde Ende der 1930er Jahre vom Elbfischer Köthke erfunden (KLUST 1956) und 1956 erstmals an der Unterweser eingesetzt (INSTITUT FÜR NETZFORSCHUNG 1956). Dieses Fanggerät wird nicht an einem Schiff, sondern vom Ufer eines Flusses aus installiert. Es setzt sich im wesentlichen aus dem eigentlichen Hamen mit Steert, dem Scherbrett mit einer Steuervorrichtung und Haltetrosen zusammen (Abb. 9). Der Netsack des Scherbretthamens ist im Gegensatz zum Schokkerhamen oberstrom mit vertikal ausgerichteten Leitnetzen ausgestattet, die trichterförmig auf die Hamenöffnung zu führen.



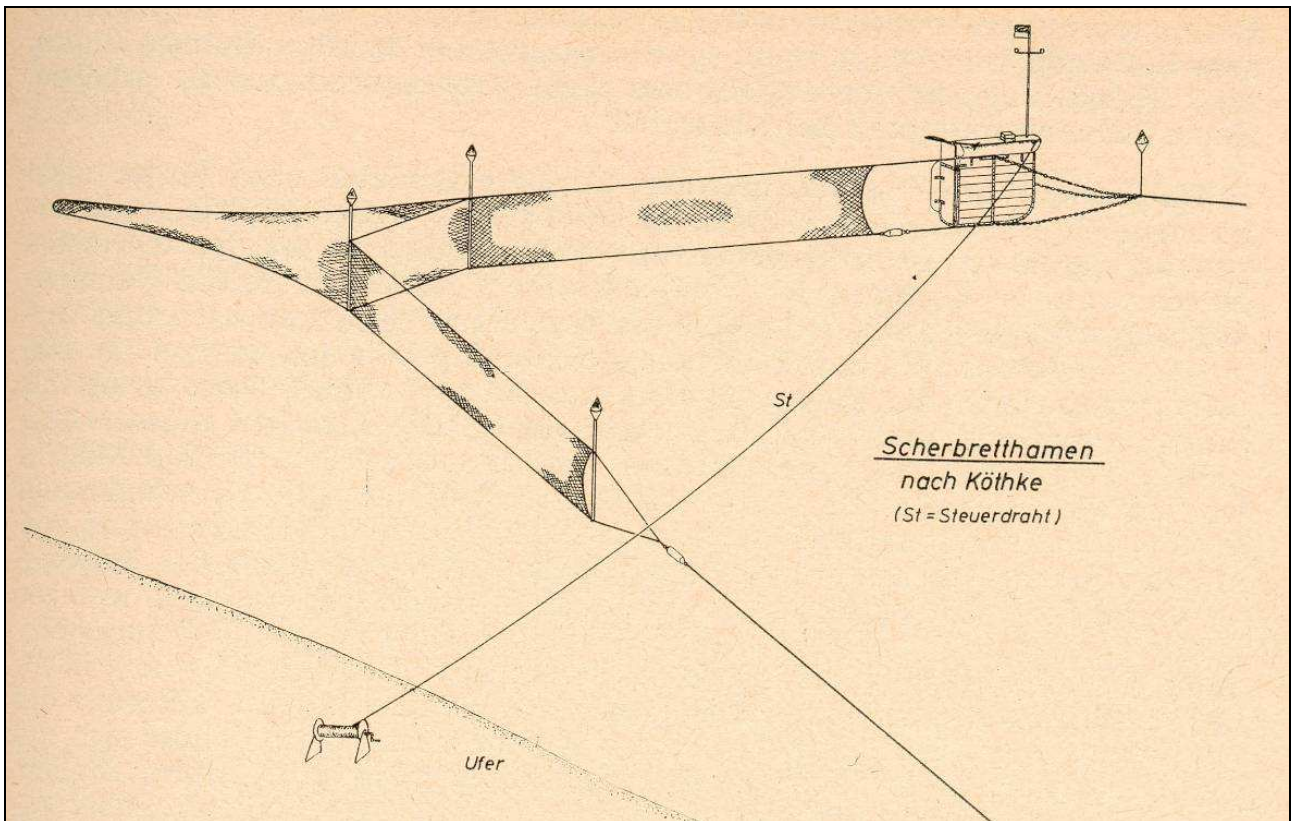


Abb. 9: Scherbretthamen, schematische Darstellung (KLUST 1956)

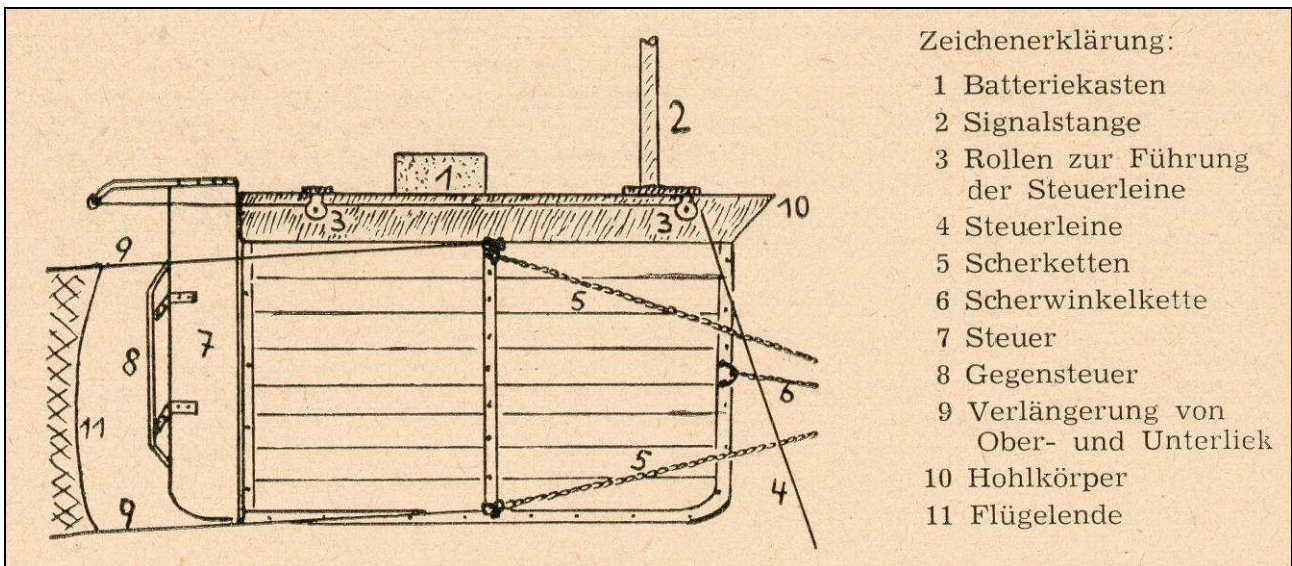


Abb. 10: Das Scherbrett mit Steuervorrichtung, schematische Darstellung (KLUST 1956)

Den Abschluss des nach dem freien Wasser stehenden Flügels bildet das Scherbrett (Abb. 10). Es ist die für die Handhabung wichtigste Vorrichtung des Fanggerätes und spannt, in bestimmtem Winkel gegen die Strömung gestellt, das Netz seitlich auseinander. Damit das Scherbrett an der Wasseroberfläche schwimmt, ist es mit einem metallenen Hohlkörper ausgestattet.

Der uferseitige Flügel des Scherbretthames wird über eine Haltetrosse am Ufer befestigt. Der wasserseitige Flügel des Leitnetzes ist am Scherbrett angeschlagen und wird über eine weitere Haltetrosse am selben Ufer abgespannt, die jedoch wesentlich weiter stromaufwärts befestigt wird.

Um den Scherbretthamen zu öffnen, wird das Scherbrett mit Hilfe eines am stromabwärtigen Ende befindlichen Steuerblattes in die Strömung gestellt und driftet, von der Strömung angetrieben, selbsttätig in Strommitte. Wird das Steuerblatt umgelegt, driftet das Scherbrett zurück ans Ufer. Grundsätzlich ist es auch möglich, das Scherbrett über einen Steuerdraht mittels einer Seilwinde von Land aus zu bedienen. An der Mittelweser, wo nur der Fischereibetrieb der Gebr. Dobberschütz ein solches Gerät im Einsatz hat, erfolgt die Bedienung des Scherbrettes vom Boot aus.

Grundsätzlich ähnelt der Scherbretthamen im Aufbau und in der Handhabung somit einem Schokkerhamen. Allerdings ist das Netz mit Flügeln ausgestattet und es wird nicht vertikal zwischen Ober- und Unterbaum, sondern horizontal zwischen dem Ufer und dem Scherbrett aufgespannt. Auf diese Weise sind wesentlich größere Öffnungsweiten des Hamens bis ca. 40 m zu realisieren. Andererseits muss der Scherbretthamen konstruktiv auf die jeweiligen Strömungsverhältnisse ausgelegt sein und kann deshalb nur in engen Grenzen an unterschiedliche Abflüsse angepasst werden.

Methodisch bedingte Schädigungen abwandernder Aale treten beim Blankaalfang mit dem Scherbretthamen ebenso wenig auf wie im Falle von Schokkerfängen.





Abb. 11: Scherbrett des Hamens des Fischereibetriebs Gebr. Dobberschütz



Abb. 12: Durch Umlegen des Steuerblattes driftet das Scherbrett selbsttätig vom Ufer in Flussmitte

### **3.2 MARKIERUNG VON AALEN**

Der Berufsfischer Reiter betreibt im Unterwasser der Staustufe Schlüsselburg einen Schokker, der im Herbst täglich gegen Abend fängig gestellt wird. Der Fang wird jeweils am nächsten Morgen geborgen und zu dem ca. 1 km entfernten Betrieb gebracht, wo die Aale zwischengehältert werden (Abb. 13). Diese Fänge wurden für die Markierung genutzt.

Abb. 13:  
Zwischenhälterung von Aalen, die für die Vermarktung vorgesehen sind



Für das vorliegende Projekt wurden am 13. Oktober und am 27. November 2008 jeweils etwa eine Woche nach dem Fang insgesamt 500 Blankaale beim Fischereibetrieb Reiter markiert. Durch dieses Zeitintervall sowie eine sorgfältige Kontrolle der Fische wurde sichergestellt, dass die markierten Aale im Sinne einer Vorschädigung weder äußerlich erkennbare, noch innere Verletzungen aufwiesen. Um eine schonende Behandlung sicherzustellen, wurden die Fische mit Nelkenöl ruhig gestellt. Die Längenfrequenz der markierten Aale ist in Abb. 14 dargestellt. Die mittlere Totallänge betrug 77,4 cm.



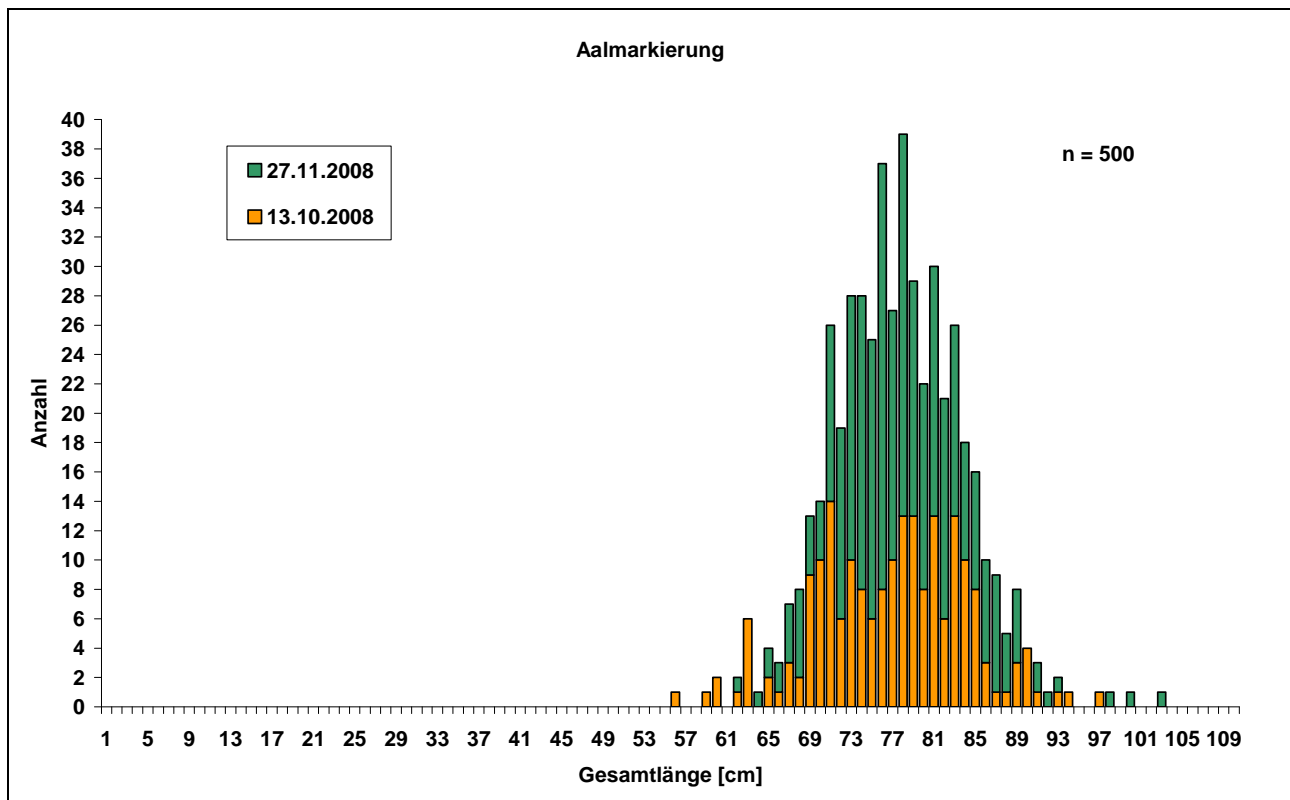


Abb. 14: Längenfrequenz der markierten Aale

Die Markierung erfolgte durch Injektion von Farbstoffen mittels eines Panjet (Abb. 15 und 16). Dies ist ein medizintechnisches Gerät, das entwickelt wurde, um Lokalanästhetika mit Druck, also ohne Injektionskanüle und damit weitgehend schmerzfrei in die Mundschleimhaut zu applizieren.

Der Panjet wird seit Jahrzehnten in der Fischereibiologie eingesetzt, um Fische mit Farbstoffen zu markieren. Hierfür wird in der Regel der Farbstoff Alcianblau 8 GS verwandt (HART & PITCHER 1969, GOLLMANN et al. 1986). Um beim Wiederauffang eine Unterscheidung zwischen verschiedenen Chargen zu ermöglichen, wurden im vorliegenden Fall in alkoholischer Lösung aufgenommene Azofarbstoffe unterschiedlicher Farben eingesetzt, die auch bei der Tätowierung von Menschen verwandt werden. Im Gegensatz zu Alcianblau sind diese Farbstoffe nicht löslich, sondern bei der Markierung wird eine länger halt-, und damit sichtbare Farbdispersion in die Unterhaut eingebracht.



Abb. 15: Der Panjet, ursprünglich als nadelloses Injektionsgerät für medizinische Zwecke entwickelt, wird in der Fischereibiologie zur Markierung von Fischen genutzt

Abb. 16:

Der Panjet wird auf die Haut des Aals aufgesetzt, dann wird der Auslösemechanismus betätigt und die Farbemulsion unter die Haut injiziert



Gemäß Erfahrungen mit der Markierung von Lachsen und Meerforellen beträgt die Haltbarkeit von Farbmarkierungen, unabhängig von der chemischen Zusammensetzung der Farben, etwa 6 Monate, ist also im Rahmen des vorliegenden Projektes vollkommen ausreichend (SCHWEVERS & ADAM 1997).

Um sicherzugehen, dass sämtliche Aale tatsächlich eindeutig erkennbare Markierungen aufwiesen, wurden jeweils drei Punkte derselben Farbe in Reihe ventral zwischen den Brustflossen gesetzt.

Bei Anwendung des Panjet ist der Bedarf an Farbstoff wesentlich größer als das tatsächlich applizierte Volumen, da ein großer Überschuss des Farbstoffes nicht in das Gewebe eindringt, sondern von der Körperoberfläche abspritzt (Abb. 17). So werden für die Markierung von 100 Fischen ca. 10 ml Farblösung benötigt.



Abb. 17: Der größte Teil des Farbstoffes dringt nicht in die Haut ein

Unmittelbar nach dem Markierungsvorgang ist deshalb nicht zu erkennen, ob die Farbe tatsächlich in die Haut des Aals eingedrungen ist und zu einer eindeutigen Kennzeichnung geführt hat. Deshalb wurden die Aale nach der Markierung zunächst in Hältertanks mit



Frischwasser überführt und, nachdem die gesamte Charge markiert war, nochmals auf die Sichtbarkeit der Markierungen kontrolliert. Die oberflächlich anhaftende Farbe hatte sich inzwischen gelöst und die Markierungspunkte wurden erkennbar (Abb. 18). In ca. 5 % der Fälle wurde die Markierung vorsichtshalber wiederholt, da die Punkte nur sehr klein oder schwach ausgeprägt waren. Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass tatsächlich 100 % der Aale deutlich sichtbare Markierungen trugen.



Abb. 18: Nach Abspülen des oberflächlich anhaftenden Farbstoffs werden die drei Markierungspunkte sichtbar

Im Anschluss an die Markierungsprozedur wurden die Aale zurück an die Weser transportiert und im Unterwasser der Staustufe Schlüsselburg entlassen. Die in Landesbergen und Drakenburg tätigen Fischer Brauer und Gebr. Dobberschütz wurden jeweils unverzüglich über den Zeitpunkt des Besatzes markierter Aale sowie über die für die Kennzeichnung gewählte Farbe informiert.

### **3.3 ERKENNBARKEIT DER MARKIERUNGEN BEIM WIEDERFANG**

Wie in Kap. 3.2 dargestellt, wurden sämtliche frisch markierten Aale auf die Sichtbarkeit der Farbpunkte hin kontrolliert und nötigenfalls nachmarkiert. Die Markierungspunkte waren am Tag der Markierung zwar klein, aber aufgrund der intensiven Färbung deutlich sichtbar.

An fast allen wiedergefangenen Exemplaren waren alle drei Farbpunkte gut zu erkennen und hatten an Größe und Farbtintensität vor allem dann deutlich zugenommen, wenn zwischen Fang und Markierung mehrere Wochen vergangen waren (Abb. 19). Da nur bei einzelnen Individuen nicht alle Punkte deutlich zu sehen waren ist davon auszugehen, dass sämtliche 500 markierte Aale während der Abwanderung sowie zum Zeitpunkt ihres Fanges tatsächlich eindeutig identifizierbar waren.



Abb. 19: Typisches Bild ca. 5 Wochen nach der Markierung: Alle 3 Farbpunkte haben an Größe zugenommen und sind deutlich erkennbar



Abb. 20: Bei einzelnen Aalen waren beim Wiederfang nicht alle drei Punkte erkennbar: hier beispielsweise nur einer eindeutig, der zweite Punkt ist sehr viel kleiner und ein dritter gar nicht

### **3.4 WIEDERFANG UND AUSWERTUNG DER SCHOKKERFÄNGE**

Die Berufsfischer an der Mittelweser exponieren ihre Schokker jeweils gegen Abend und bergen die Fänge am darauf folgenden Morgen. In Zeiten hohen Treibgutansfalls und/oder eines starken Abwanderereignisses werden die Schokker aber auch während der Nacht kontrolliert, die Fänge geborgen und die Netze gereinigt. Die Fänge werden jeweils zum Betrieb transportiert, dort zwischengehältet und im Verlauf der nächsten Tage sortiert, verarbeitet und vermarktet.

Während der Fischer Reiter lediglich die für die Markierung notwendigen Aale zur Verfügung stellte, waren die Fischer Brauer und Gebr. Dobberschütz bereit, ihre Fänge im Rahmen des vorliegenden Projektes auszuwerten und zu protokollieren. Hierbei wurden grundsätzlich von sämtlichen gefangenen Aalen im Verlauf der Saison 2008/09 folgende Daten erfasst:



- Datum:** Tag des Fanges, also das Datum, an dem das Fanggerät gestellt wurde. Die Tagesfänge wurden jeweils bis zur Auswertung separat gehältert, so dass eine eindeutige Zuordnung möglich war.
- Länge:** Gesamtlänge eines jeden Exemplars in Zentimetern von der Schnauzenspitze bis zum Ende der Schwanzflosse mit einer Genauigkeit von  $\pm 1$  cm. Im Falle von Aalstücken (Vorder- oder Hinterende) wurde für 50 % der Stücke die Gesamtlänge des vollständigen Exemplars anhand unversehrter Aale mit vergleichbaren Proportionen geschätzt.
- Markierung:** Jeder Aal wurde daraufhin untersucht, ob er ventral zwischen den Brustflossen eine Markierung trug. Es wurde protokolliert, ob das Exemplar unmarkiert oder markiert war. Im Falle einer Markierung wurde die Farbe notiert.
- Fanggerät:** Der Fischereibetrieb Gebr. Dobberschütz verfügt mit drei Schokkern und einem Scherbretthamen über insgesamt vier Fanggeräte, die, jeweils in Abhängigkeit vom Abfluss der Weser und der erwarteten Abwanderintensität, einzeln oder in Kombination eingesetzt werden. Vom Betriebsablauf her ist es nicht möglich, die Fänge der einzelnen Fanggeräte separat zu hältern und auszuwerten. Zumindest aber wurde jeweils protokolliert, welche Fanggeräte an einem Tag im Einsatz waren.
- Status:** Zustand des Exemplars. Hierbei wurde differenziert in:
- augenscheinlich unverletzt
  - verletzt
  - tot
- Die Summe aller verletzten und toten Exemplare wird nachfolgend zusammenfassend als „geschädigt“ bezeichnet; deren Anteil am Gesamtfang stellt die „Schädigungsrate“ dar.
- Bei zwei Teilproben von insgesamt 1.108 Aalen wurden die verletzten Exemplare darüber hinaus unterschieden in:
- schwer verletzte Aale, die als nicht überlebensfähig eingeschätzt wurden sowie
  - leicht verletzte Aale, deren Schädigungen als subletal eingestuft wurden.

Eine derartige, detaillierte Auswertung war in solchen Situationen möglich, wenn die Berufsfischer nicht zu große Fänge zu handhaben hatten. Wenn sich allerdings Hauptabwanderereignisse ereignet hatten, wurde die Arbeitskapazitäten der Fischereibetriebe dazu benötigt, die Fanggeräte zu bedienen sowie die Fänge zu bergen und zu versorgen. In derartigen Situationen wurde zumindest das Gesamtgewicht des Fanges ermittelt. Von diesem Gesamtgewicht wurde anhand eines mittleren Stückgewichtes der Aale gemäß folgender Formel auf die Gesamtzahl der gefangenen Exemplare hochgerechnet.

$$\text{Anzahl}_{\text{gesamt}} = \frac{\text{Fanggewicht}_{\text{gesamt}}}{\text{mittleres Stückgewicht}}$$

Das mittlere Stückgewicht wurde hierbei mit 515 g angenommen, wie es von BRAUER (2007) in der Saison 2005/06 anhand der individuellen, auf 1 g genauen Gewichtsbestimmung von insgesamt 575 Aalen ermittelt wurde, die mittels Schokker in der Weser im Unterwasser der Staustufe Landesbergen gefangenen worden waren. Darüber hinaus wurde aus dem Gesamtfang eine Unterprobe von mindestens 200 Exemplaren entnommen und gemäß der o. a. Kriterien untersucht.

### **3.5 SCHADENSBILDER**

Nachfolgend werden Schädigungen gefangener Aale dargestellt, die sich eindeutig auf eine Turbinenpassage zurückführen lassen. Dies trifft zum Beispiel auf Totaldurchtrennungen des Körpers zu (Abb. 21). Zum Teil werden allerdings auch Aale gefangen, deren Hautschlauch zwar intakt erscheint, deren Körper aber dennoch durchtrennt (Abb. 22), oder deren Wirbelsäule gebrochen ist (Abb. 23 bis Abb. 25). Abb. 26 zeigt einen Aal, dessen Haut sich am Schwanzende vollständig vom Körper gelöst hat. Ebenso können innere Blutungen auftreten, die sich äußerlich durch Blutinfiltrationen der Unterhaut bemerkbar machen. Auch Hautabschürfungen (Abb. 27), Flossen- und Augenschäden (Abb. 28) können Folge einer Turbinenpassage sein.



Abb. 21: Bei der Turbinenpassage getötete Aale, z. T. mit vollständig durchtrenntem Körper



Abb. 22: Durchtrennter Aalkörper, der durch den Hautschlauch zusammengehalten wird





Abb. 23: Multiple Wirbelbrüche vor allem im hinteren, ansonsten äußerlich unverletzten Körperdrittel (Wahnhausen / Fulda, Foto: K. Ebel)



Abb. 24: Häufig sind derartige Wirbelbrüche nur schwer erkennbar; Ihre Diagnose erfordert eine genaue Untersuchung des Aalkörpers (Wahnhausen / Fulda, Foto: K. Ebel)





Abb. 25: Präpariert man solche Aale auf und entfernt die Eingeweide, sind blutunterlaufenen Bruchstellen der Wirbelsäule sichtbarer Ausdruck von Wirbelbrüchen (Landesbergen / Weser, Foto: C. Brauer)



Abb. 26: Aal, dessen Haut am Schwanzende vollständig vom Körper abgelöst wurde



Abb. 27: Schürfwunden, die zwar nicht unmittelbar tödlich sind, aber dennoch bei Sekundärinfektion zum Tod führen können (Landesbergen / Weser, Foto: C. Brauer)



Abb. 28: Hämatome im Kopfbereich sowie Schädigungen der empfindlichen Augen sind gelegentlich zu verzeichnen (Wahnhausen / Fulda, Foto: K. Ebel)



### 3.6 LÄNGEN-GEWICHTS-RELATION

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden die gefangenen Aale nicht gewogen, sondern lediglich vermessen. Allerdings liegen aus der Abwandersaison 2006/07 sowohl Längen- als auch Gewichtsangaben von insgesamt 575 Aalen vor, die im Unterwasser der Staustufe Landesbergen gefangen, gemessen und gewogen worden waren (BRAUER 2007). Die Originaldaten sind in Abb. 29 dargestellt. Darüber enthält Abb. 30 diejenige Trendlinie, die mit  $R^2 = 0,91$  das höchste Bestimmtheitsmaß aufweist.

Die Kurvengleichung dieser Trendlinie bildet die Grundlage für die im Rahmen des vorliegenden Projektes vorgenommene Umrechnung von Fanggewichten in Stückzahlen und umgekehrt.

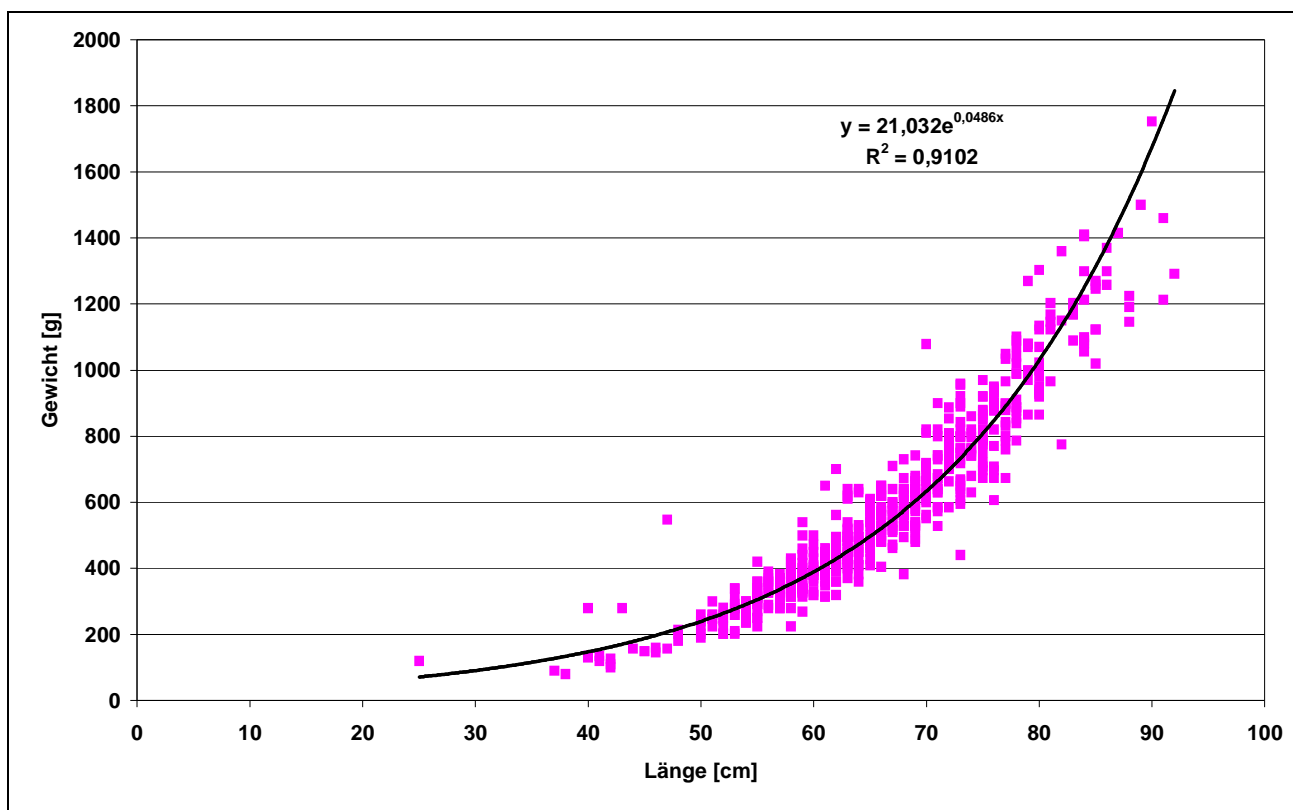


Abb. 29: Längen-Gewichts-Relation sowie Trendlinie von 575 Aalen, die 2006/07 im Unterwasser der Staustufe Landesbergen gefangen worden waren (BRAUER 2007, Ausreißerwerte wurden nicht eliminiert)

### **3.7 ALARME DES FRÜHWARNSYSTEMS MIGROMAT® AN DER FULDA**

Das Funktionsprinzip des aktuell an der Staustufe Wahnhausen an der Fulda im Auftrag der STATKRAFT MARKETS GmbH betriebenen Frühwarnsystems MIGROMAT® zur Erkennung der Aalabwanderung beruht darauf, dass in zwei mit dem jeweiligen Flusswasser durchströmten Langstrombecken gehälterte Aale vor Beginn eines Abwanderereignisses in eine charakteristische prä migratorische Unruhe verfallen. Um diese registrieren zu können, werden aus dem Fluss entnommene Aale mit Mikrotranspondern markiert, so dass ihre Position in den Langstrombecken mittels Antennen individuell, automatisch und kontinuierlich überwacht werden kann (Abb. 30). Ein Computer analysiert die aufgezeichneten Verhaltensmuster und alarmiert via Internet die jeweilige Schaltzentrale, was in der Regel einige Stunden vor dem Einsetzen eines Abwanderereignisses im Fluss erfolgt (ADAM 2006). So informiert, ist der Kraftwerksbetreiber in der Lage, die Wasserkraftanlage rechtzeitig auf eine aalschonende Betriebsweise umzustellen, indem z. B. die Anstellwinkel der Turbinenschaufeln vergrößert oder/und alternative Abwanderkorridore eröffnet werden.

Seit 1997 wurden mehrere MIGROMATE® über mehrere Jahre an der Amendsmühle in Dorlar an der Lahn (Hessen), an den Wasserkraftanlagen Linne und Alphen an der Maas (Niederlande) und am Wasserkraftwerk Rosport an der Sauer (Luxemburg) zu Versuchszwecken betrieben (ADAM 2000, 2006). Aktuell sind zwei dieser Frühwarnsysteme in Killaloe am Shannon (Irland) sowie in Wahnhausen an der Fulda (Hessen) im Einsatz, wobei am letzterem Standort seit 2003 die dortige Wasserkraftanlage von Juli bis Februar so gesteuert wird, dass abwandernde Aale vor Schädigungen am 20 mm Rechen und in der Turbine zuverlässig geschützt werden (PÖHLER 2006).



Abb. 30: MIGROMAT® am Wasserkraftstandort Wahnhausen an der Fulda mit zwei Hältertanks, Wasserzu- und -ableitung



Bereits bei Untersuchungen in den Jahren 2001 bis 2003 an den 100 km voneinander entfernten Standorten Linne und Alphen an der Maas wurde von BRUIJS et al. (2003) festgestellt, dass die Aalabwanderung im Verlauf des Gewässers in der Regel nicht synchron verläuft. Vielmehr treten zum Teil Abwanderereignisse auf, die sich mit der Fließrichtung ausbreiten und zunächst am oberen sowie deutlich zeitverzögert am 100 km unterhalb gelegenen Standort auftreten. Allerdings kann es sich auch um lokale Ereignisse handeln, während stromauf- oder stromab im selben Gewässer keine Abwanderaktivität von Aalen zu verzeichnen ist.

Unabhängig von dieser Erkenntnis sollte im Rahmen des vorliegenden Projektes geprüft werden, ob die Alarmmeldungen des an der Fulda in Wahnhausen betriebenen MIGROMAT<sup>®</sup> hinreichend genau sind, um auf dieser Basis mehr als 250 km stromabwärts in der Mittelweser ein aalfreundliches Turbinenmanagement der Wasserkraftwerke zu betreiben. Hierzu erteilte freundlicherweise die STATKRAFT MARKETS GmbH als Betreiberin des Frühwarnsystems MIGROMAT<sup>®</sup> die Erlaubnis zur Verwendung der Daten.

## **4      BEFUNDE**

### **4.1      FANGDATEN**

Die Fischer in Landesbergen und Drakenburg erzielten in der Saison 2008/09 die in Tab. 6 aufgelisteten Aalfänge. Diese Angaben liegen überwiegend als Stückzahlen vor. Hieraus wurde gemäß der in Kap. 3.6 dargestellten Kurvengleichung das zugehörige Fanggewicht errechnet. Der Fischer im Unterwasser der Staustufe Landesbergen hat im Falle von Massenfängen nur Stichproben exakt ausgewertet und nicht die genaue Anzahl des Gesamtfangs ermittelt, sondern lediglich das Gesamtgewicht. Für diese Fangtage wurde anhand des Durchschnittsgewichtes der Aale nach BRAUER (2007) auf die Gesamtzahl der Individuen hochgerechnet. Im Sinne einer Plausibilitätsprüfung wurde das auf diese Weise errechnete Gesamtgewicht mit dem vom Fischereibetrieb Brauer angegebenen Fanggewicht verglichen: Die Abweichung beträgt lediglich 1,3 %. Damit ist der aus dieser Vorgehensweise resultierende Fehler gering und diese plausibilisierten Daten wurden den weiteren Auswertungen zugrunde gelegt.

Tab. 6: Aalfänge im Unterwasser der Staustufen Landesbergen und Drakenburg an den Fangtagen der Saison 2008/09, nebst Angaben zur Markierung

Datum	Landesbergen		Drakenburg	
	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]
13. 10. 2008	Markierung von 200 Aalen (orange)			
18.10.2008	<b>2</b>	0,5		
24.10.2008	<b>3</b>	0,8		
25.10.2008			<b>3</b>	1,0
26.10.2008			<b>4</b>	2,3
27.10.2008			<b>10</b>	6,7
28.10.2008			<b>4</b>	2,8
29.10.2008			<b>20</b>	11,4
30.10.2008	<b>1</b>	0,5	<b>22</b>	10,1
31.10.2008			<b>22</b>	13,3
01.11.2008			<b>19</b>	12,0
02.11.2008			<b>26</b>	11,6
03.11.2008			<b>8</b>	4,1
07.11.2008	<b>0</b>	-		
22.11.2008			<b>261</b>	182,7
23.11.2008	351	<b>220,0</b>	<b>847</b>	557,8

Tab. 6: Aalfänge im Unterwasser der Staustufen Landesbergen und Drakenburg an den Fangtagen der Saison 2008/09, nebst Anmerkungen zur Markierung (Forts.)

Datum	Landesbergen		Drakenburg	
	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]
24.11.2008	357	<b>185,0</b>	<b>123</b>	72,7
25.11.2008			<b>76</b>	46,4
26.11.2008	<b>86</b>	38,5	<b>73</b>	45,8
27.11.2008	<b>41</b>	18,6	<b>60</b>	32,6
27.11.2008	Markierung von 300 Aalen (grün)			
28.11.2008	<b>54</b>	45,1	<b>59</b>	42,3
29.11.2008	<b>24</b>	16,9	<b>52</b>	34,0
30.11.2008	<b>28</b>	17,8	<b>23</b>	12,5
01.12.2008	<b>21</b>	16,9	<b>32</b>	21,7
02.12.2008	<b>15</b>	10,6	<b>12</b>	6,3
03.12.2008	<b>16</b>	8,9		
04.12.2008	<b>26</b>	17,2		
05.12.2008	<b>21</b>	16,2		
06.12.2008	<b>15</b>	14,7		
07.12.2008	<b>24</b>	15,8		
08.12.2008	<b>25</b>	12,6		
09.12.2008	<b>20</b>	14,6		
10.12.2008	497	<b>274,0</b>	<b>134</b>	72,5
11.12.2008	533	<b>270,0</b>	<b>163</b>	74,8
12.12.2008	<b>107</b>	51,5	<b>59</b>	31,7
13.12.2008	<b>74</b>	40,1	<b>56</b>	28,0
14.12.2008	<b>37</b>	17,4	<b>33</b>	15,9
15.12.2008			<b>3</b>	2,5
24.12.2008			<b>11</b>	5,3
25.12.2008			<b>19</b>	9,2
26.12.2008			<b>15</b>	10,0
05.01.2009			<b>5</b>	3,5
13.01.2009			<b>2</b>	2,0
<b>Summe</b>	2.378	1.324,2	<b>2.256</b>	1.384,8
<b>davon exakt gezählt und vermessen</b>	<b>1.487</b>		<b>2.256</b>	
<b>Gesamtfang nach Angaben der Fischer</b>		<b>1.307,0</b>		
In <b>fett</b> gezählter bzw. gewogener Wert. Die übrigen Werte wurden anhand der Längen-Gewichts-Relation gemäß Kap. 3.6 errechnet.				

## 4.2 LÄNGENFREQUENZ DER FÄNGE

In Abb. 31 und Abb. 32 ist die Längenfrequenz aller vermessenen Aalfänge im Unterwasser der Staustufen Landesbergen und Drakenburg dargestellt. Hieraus wird ersichtlich, dass Aale von 33 cm bis über 100 cm Länge gefangen wurden, wobei der arithmetische Mittelwert 64,8 bzw. 67,2 cm beträgt.

Auffällig ist im Falle der Fänge im Unterwasser der Staustufe Landesbergen eine deutlich ausgeprägte Größengruppe von Aalen mit 33 cm bis 50 cm Gesamtlänge (Abb. 31). Diese Zweigipfeligkeit der Längenfrequenz repräsentiert die Aufteilung des Bestandes in die kleineren männlichen sowie die größeren weiblichen Exemplare, wobei die Längen beider Geschlechter gut mit den Angaben von TESCH (1983) übereinstimmen.

Demgegenüber wurden im Unterwasser der Staustufe Drakenburg wesentlich weniger männliche Aale gefangen (Abb. 32), ohne dass hierfür eine eindeutige Ursache benannt werden kann, zumal beide Fischer Steerte von 12 mm Maschenweite einsetzen.

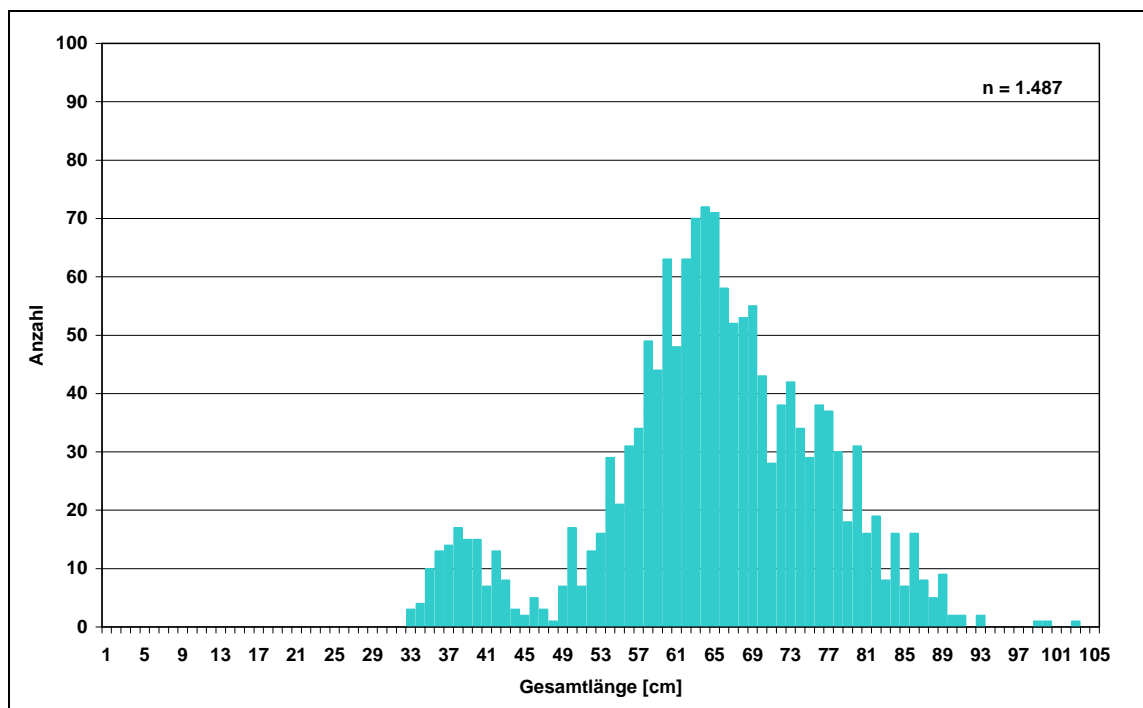


Abb. 31: Längenfrequenz der Aalfänge im Unterwasser der Staustufe Landesbergen (Datengrundlage: sämtliche Fänge der Saison 2008/09, mit Ausnahme der Fänge vom 24. und 25. November sowie 10. und 11. Dezember, von denen jeweils nur eine Unterprobe von ca. 200 Exemplaren ausgewertet wurde)

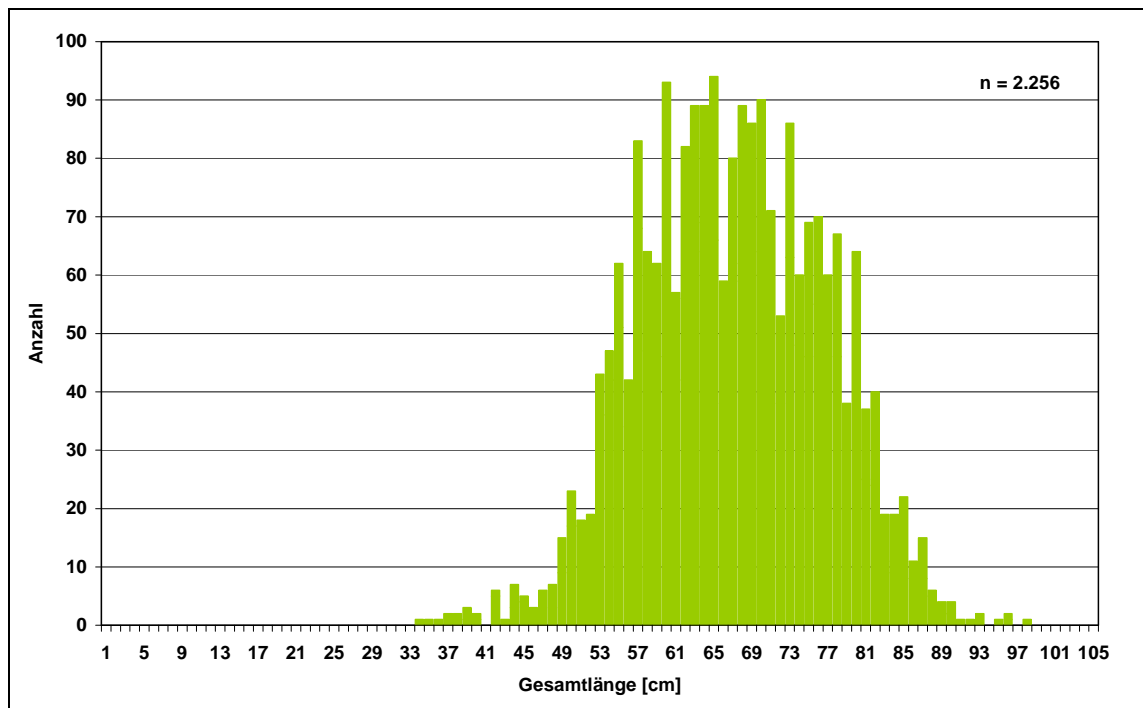


Abb. 32: Längenfrequenz der Aalfänge im Unterwasser der Staustufe Drakenburg (Datengrundlage: alle Fänge der Saison 2008/09 bis zum 13. Januar 2009)

### **4.3 WIEDERFÄNGE MARKIERTER AALE**

#### **4.3.1 Bilanzierung der Wiederfänge**

Im Verlauf der Untersuchung von Mitte Oktober 2008 bis Februar 2009 wurden sämtliche Fänge der Berufsfischer auf markierte Aale hin untersucht. Hierbei wurden von den markierten 500 Exemplaren insgesamt 132 wiedergefangen, was einer Wiederfangquote von 26,4 % entspricht.

Die nach Markierungszeitpunkt bzw. Farbe und Wiederfangort differenzierten Befunde sind in Tab. 7 aufgeführt.

Tab. 7: Wiederfänge markierter Aale, differenziert nach Farbe bzw. Zeitpunkt und Standort

	<b>13. Okt. 2008 orange</b>	<b>27. Nov. 2008 grün</b>	<b>gesamt</b>
	<b>Anzahl</b>		
markierte Individuen	200	300	500
Wiederfang Landesbergen	5	78	83
Wiederfang Drakenburg	35	14	49
Wiederfang gesamt	40	92	132
	<b>Anteil</b>		
Wiederfangquote Landesbergen	2,5 %	26,0 %	16,6 %
Wiederfangquote Drakenburg	17,5 %	4,7 %	9,8 %
Wiederfangquote gesamt	20,0 %	30,7 %	26,4 %

#### **4.3.2 Zeitlicher Verlauf der Wiederfänge**

Der zeitliche Verlauf der Wiederfänge markierter Aale ist in Abb. 33 dargestellt. Hierbei zeigt sich, dass von der ersten, am 13. Oktober 2008 orange markierten Charge von 200 Aalen erst ca. 5 Wochen später in nennenswertem Umfang Wiederfänge erzielt wurden. Allerdings herrschten in der Zwischenzeit in der Weser sehr geringe Abflüsse mit gleich bleibender oder fallender Tendenz, so dass die Fischer ihre Fanggeräte aufgrund geringer Fangerwartung nur an wenigen Tagen exponiert hatten.

Demgegenüber wurde der absolut höchste Tagesfang mit 34 markierten Exemplaren genau einen Tag nach der Markierung der zweiten Charge erzielt. Fünf markierte Aale der grünen Charge hatten innerhalb eines Tages die Strecke von Schlüsselburg bis Drakenburg einschließlich der Passage der beiden Staustufen Landesbergen und Drakenburg zurückgelegt. Bei einem Abfluss von ca. 140 m<sup>3</sup>/s (Tab. 4 und 5), also deutlich unter dem Ausbaudurchfluss der Wasserkraftanlagen waren beide Wehre zu diesem Zeitpunkt nicht überströmt, so dass den Aalen nur der Weg durch die Turbinen offen stand. Im anderen Extrem wurde ein orange markierter Aal am 10. Februar 2009 in Drakenburg registriert, also erst 120 Tage nach seiner Freilassung im Unterwasser der Staustufe Schlüsselburg.

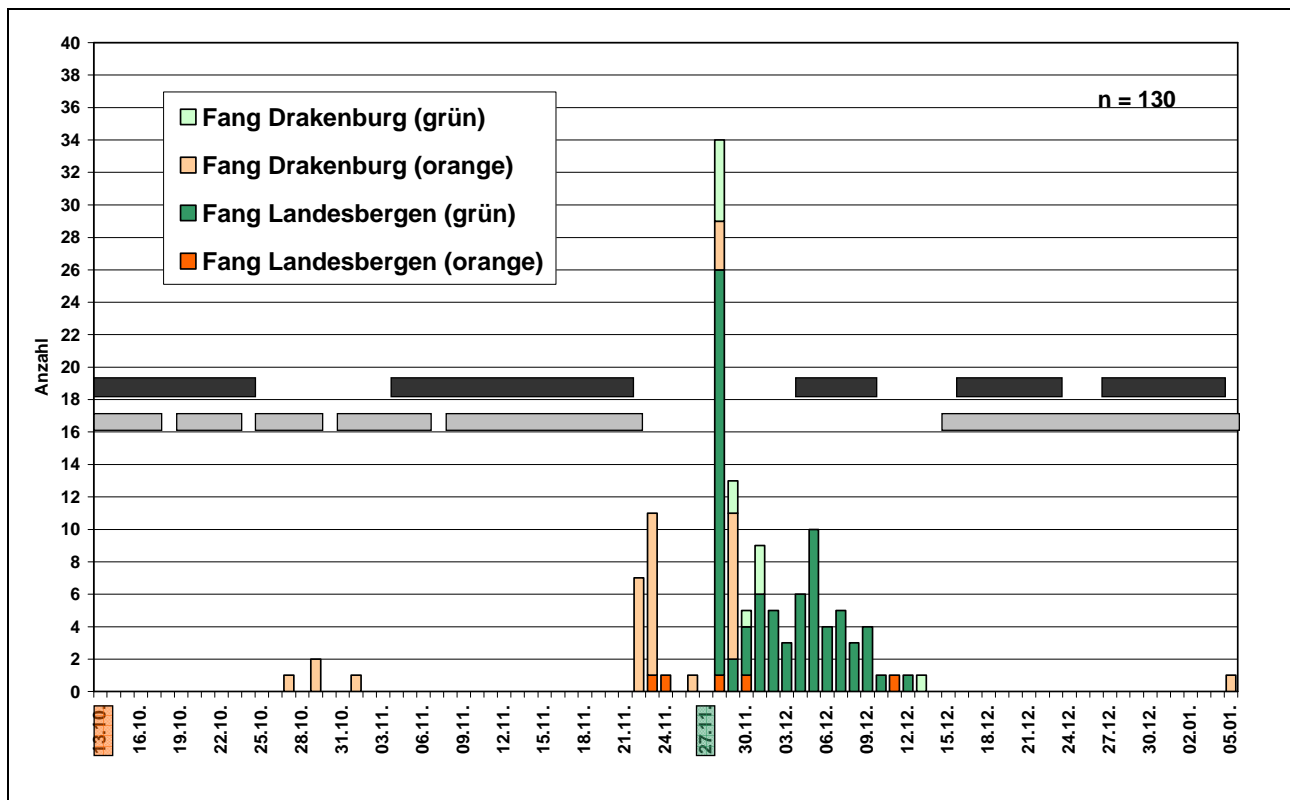


Abb. 33: Zeitlicher Verlauf der Wiederränge markierter Aale bis Anfang Januar 2009 (graue Balken: Fangpausen Landesbergen; schwarze Balken: Fangpausen Drakenburg; zwei Wiederränge Ende Januar / Anfang Februar sind nicht dargestellt)

#### 4.4 SCHÄDIGUNGEN

Die Schokkerfänge wurden unterschieden in äußerlich unverletzt erscheinende Exemplare, sowie in verletzte und tote Aale. Hierbei wurden nur solche Verletzungen in die Auswertung einbezogen, die in Kap. 3.5 dargestellt sind und sich auf wasserkraftbedingte Effekte zurückführen lassen.

Totaldurchtrennungen des Körpers (Abb. 21), die häufig als typisches turbinenbedingtes Schadensbild dargestellt werden, treten im Falle der Standorte Landesbergen und Drakenburg vergleichsweise selten auf: In Landesbergen wurden im ausgewerteten Gesamtfang lediglich 5 Aalstücke entsprechend 0,3 % registriert, in Drakenburg 15 Stücke, was einem Anteil von 0,7 % entspricht. Deutlich häufiger hingegen sind in den Schokkerfängen im Unterwasser der beiden untersuchten Wasserkraftstandorte an der Mittelweser Aale aufgefunden worden, deren Hautschlauch zwar intakt erschien, deren Körper aber dennoch durchtrennt (Abb. 22), oder deren Wirbelsäule gebrochen war (Abb.

23 bis Abb. 25). Ein weiteres hier registriertes Schadensbild zeigt Abb. 26: Die Haut am Schwanzende des Aals hat sich vollständig vom Körper gelöst. Des Weiteren wurden innere Blutungen festgestellt, Hautabschürfungen (Abb. 27), Flossen- und Augenschäden (Abb. 28).

Demgegenüber wurden in keinem Falle Verletzungen registriert, die sich auf die Fangmethode selbst zurückführen lassen. Dieser Befund deckt sich u. a. mit den Erfahrungen der Universität Hamburg (PD Dr. Thiel, mündlich Mitt.) die seit dem Jahr 1989 regelmäßig Hamenbefischungen in der Unterelbe durchführt, ohne dass dabei methodisch bedingte Schädigungen von Aalen auftreten.

#### **4.4.1 Schädigungsrate**

Die Gesamtzahlen äußerlich unverletzt erscheinender, verletzter und toter Exemplare in den ausgewerteten Schokkerfängen sowie die entsprechenden Prozentsätze sind in Tab. 8 zusammengefasst. Separat sind hierbei die jeweiligen Daten für die Wiederfänge markierter Aale ausgewiesen. Die Summe der verletzten und toten Exemplare wird nachfolgend als „geschädigt“ zusammengefasst, deren Anteil am Gesamtfang wird als „Schädigungsrate“ bezeichnet.

Tab. 8: Auswertung der Schokkerfänge im Unterwasser der Staustufen Landesbergen und Drakenburg bezüglich wasserkraftbedingter Schädigungen

	ausgewerteter Gesamtfang		nur markierte Aale	
	Landesbergen	Drakenburg	Landesbergen	Drakenburg
<b>Diagnose</b>	<b>Anzahl</b>			
äußerlich unverletzt	1.040	1.633	52	29
verletzt	438	427	30	17
tot	9	196	1	3
<b>Gesamt</b>	<b>1.487</b>	<b>2.256</b>	<b>83</b>	<b>49</b>
	ausgewerteter Gesamtfang		nur markierte Aale	
	Landesbergen	Drakenburg	Landesbergen	Drakenburg
<b>Diagnose</b>	<b>Anteil</b>			
äußerlich unverletzt	69,9 %	72,4 %	62,7 %	59,2 %
verletzt	29,5 %	18,9 %	36,1 %	34,7 %
tot	0,6 %	8,7 %	1,2 %	6,1 %
<b>Gesamt</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,0 %</b>
<b>Schädigungsrate</b>	<b>30,1 %</b>	<b>27,6 %</b>	<b>37,3 %</b>	<b>40,8 %</b>



Die Auswertung ergab für die beiden Standorte Landesbergen und Drakenburg einen annähernd gleich großen Anteil unverletzter Aale von ca. 70 % der Fänge, während etwa 30 % geschädigt oder tot waren (Abb. 34).

Deutliche Unterschiede hingegen traten bezüglich der Aufteilung der geschädigten Exemplare auf tote und verletzte auf: Bei den Fängen unterhalb der Staustufe Drakenburg beträgt der Anteil toter Aale 8,7 %, bei den Fängen unterhalb der Staustufe Landesbergen hingegen lediglich 0,6 %. Eine eindeutige Ursache hierfür lässt sich auf der Basis der verfügbaren Daten nicht benennen.

Bei den Wiederfängen markierter Aale ist die Schädigungsrate höher und beziffert sich auf ca. 40 %.

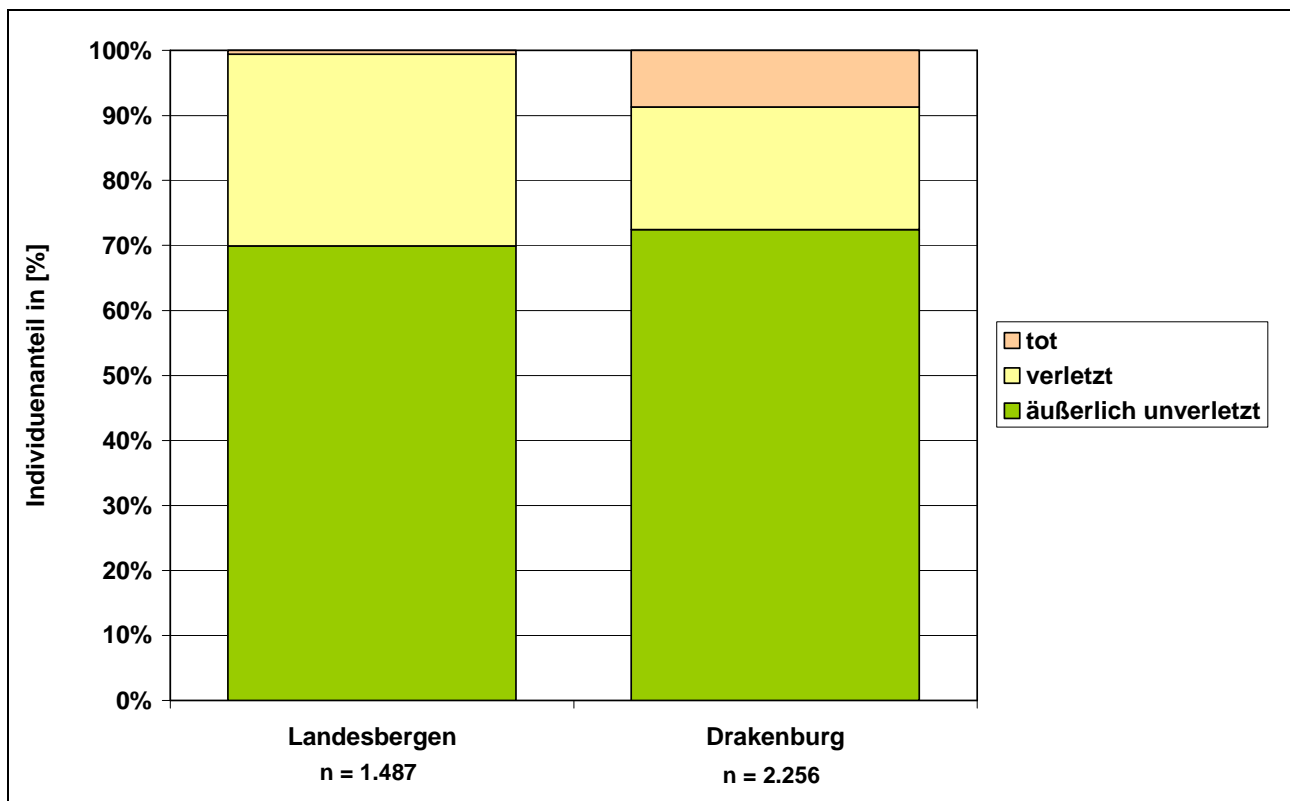


Abb. 34: Wasserkraftbedingte Schädigungsrate von Aalen in den Schokkerfängen im Unterwasser der Staustufen Landesbergen und Drakenburg

#### 4.4.2 Differenzierung in letale und subletale Schädigungen

Nicht alle registrierten Schäden führen zwangsläufig zum Tode des Aals. Insbesondere bei kleineren Haut- und Flossenschäden haben Aale eine gute Überlebenschance. Um dies überschlägig zu quantifizieren, wurden bei den Fängen im Unterwasser der Staustufe Drakenburg vom 22. und 23. November 2008 von insgesamt 1.108 Aalen die geschädigten Exemplare nochmals in schwer und leicht geschädigte Individuen unterschieden:

- Bei großen offenen Wunden, Wirbelbrüchen, inneren Blutungen und großflächigen Hautschäden wurden gemäß EBEL (2008) die Aale als „schwer verletzt“, also als sicher nicht überlebensfähig eingeschätzt.
- Exemplaren mit geringfügigeren Verletzungen wie kleineren Hautverletzungen, Flossenschäden etc. ist ein gewisses Regenerationsvermögen und damit eine Überlebenschance zuzutrauen; sie wurden deshalb als „leicht verletzt“ eingestuft.

Das entsprechend differenzierte Ergebnis ist in Abb. 35 dargestellt. Es zeigt sich, dass von den geschädigten Aalen jeweils etwa die Hälfte tot bzw. schwer verletzt war. Die andere Hälfte hingegen wies leichte Verletzungen auf.

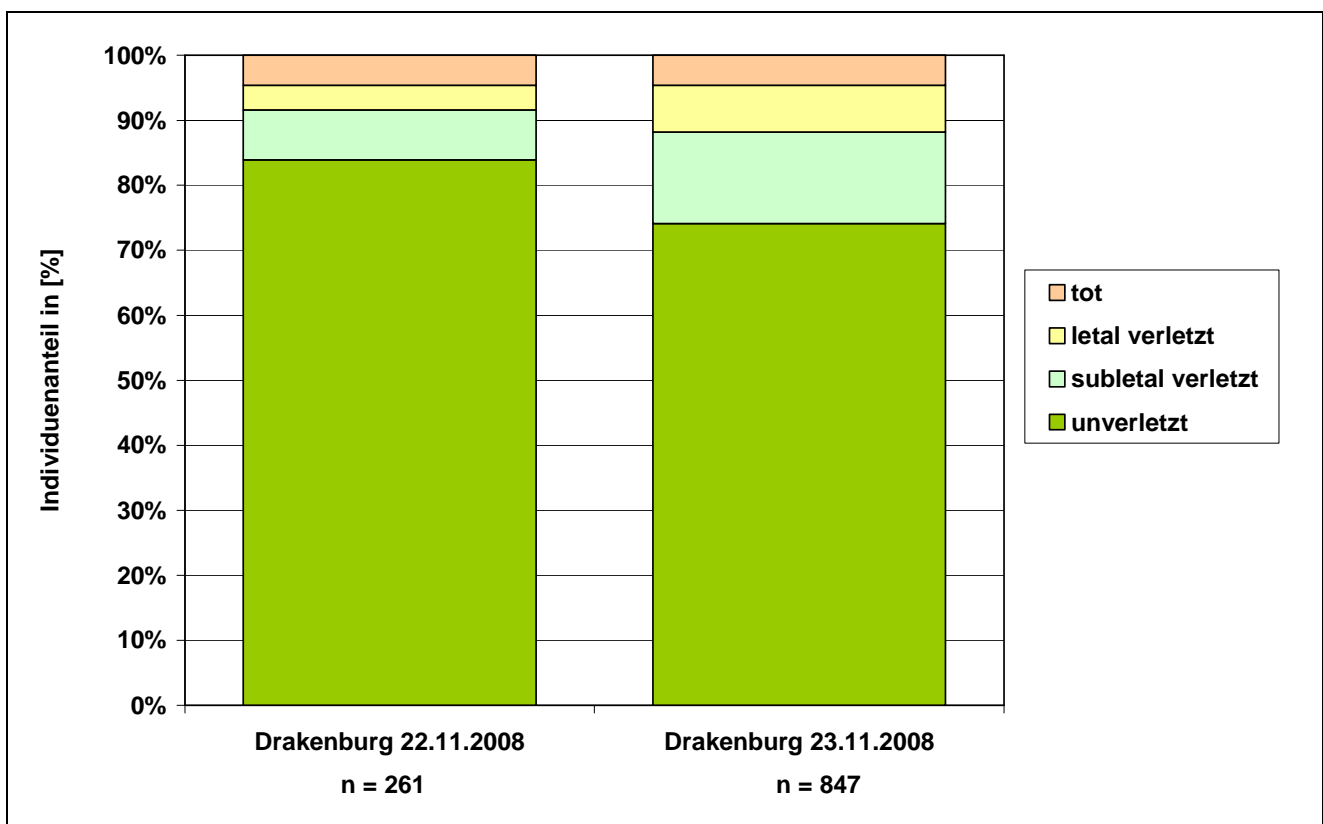


Abb. 35: Nach letale und subletale Verletzungen differenzierte Schädigungsraten der Tagesfänge im Unterwasser der Staustufe Drakenburg vom 22. und 23. November 2008

### **4.4.3 Mortalitätsrate**

Auf populationsbiologischer Ebene spielt die Mortalitätsrate eine bedeutende Rolle. Hierbei handelt es sich um den Anteil bzw. die Gesamtzahl und das Gesamtgewicht derjenigen Aale, die für die Arterhaltung verloren gehen, weil es ihnen aufgrund ihrer Schädigung nicht gelingt, bis in die Laichgebiete zu wandern und sich erfolgreich an der Reproduktion zu beteiligen. Im ungünstigsten Falle sterben sämtliche geschädigten Exemplare, also sowohl die schwer als auch die leicht verletzten. Die **Obergrenze** für die Mortalitätsrate beträgt somit 30 % am Standort Landesbergen und 28 % am Standort Drakenburg (Tab. 9).

Die tatsächliche Mortalität ist jedoch niedriger anzusetzen, denn nicht alle verletzten Aale werden sterben, sondern bei einem Teil dieser Exemplare werden die registrierten Schädigungen verheilen und damit nicht zum Tode führen. Geht man im günstigsten Falle davon aus, dass alle als leicht verletzt eingestuft Aale überleben, reduziert sich die Mortalität auf die toten und schwer verletzten Exemplare und damit gemäß Kap. 4.4.2 auf ca. 50 % aller geschädigter Aale. Die **Untergrenze** der Mortalität beträgt somit 15 bzw. 14 % des Gesamtbestandes der abwandernden Blankaale (Tab. 9).

Tab. 9: Ober- und Untergrenze der turbinenbedingten Mortalitätsrate der Schokkerfänge im Unterwasser der Staustufen Landesbergen und Drakenburg, bezogen auf die Stückzahl

<b>Mortalitätsrate / Anzahl</b>	<b>Landesbergen</b>	<b>Drakenburg</b>
Untergrenze	15 %	14 %
Obergrenze	30 %	28 %

Die Angaben in Tab. 9 beziehen sich auf Stückzahlen. Demgegenüber werden die Fänge der Berufsfischer in der Regel als Gewicht [kg] angegeben und auch die EU-Aalverordnung sowie der Aalbewirtschaftungsplan für das Flusseinzugsgebiet der Weser bilanzieren die Menge abwandernder Blankaale auf der Basis von Gewichtsangaben (RAT DER EUROPÄISCHEN UNION 2007, LAVES et al. 2008). Deshalb wurden die Mortalitätsraten in Tab. 9 auch auf Gewichte umgerechnet (Tab. 10). Basis hierfür bildete die Längen-Gewichts-Relation gemäß Kap. 3.6 sowie die individuelle Protokollierung der Gesamtlänge der bezüglich ihrer Schädigungen untersuchten Aale. Diese Werte sind geringfügig höher

als die auf die Anzahl bezogenen, da die Schädigungsrate mit zunehmender Größe der Aale ansteigt und große Aale überproportional zum Gesamtgewicht beitragen.

Tab. 10: Ober- und Untergrenze der turbinenbedingten Mortalitätsraten der Schokkerfänge im Unterwasser der Staustufen Landesbergen und Drakenburg, bezogen auf das Gewicht [kg]

<b>Mortalitätsrate / Gewicht</b>	<b>Landesbergen</b>	<b>Drakenburg</b>
Untergrenze	18 %	15 %
Obergrenze	36 %	30 %

#### **4.4.4 Schädigungsrate in Abhängigkeit vom Durchfluss der Turbinen**

Eine wesentliche Mortalitätsursache von Fischen bei der Turbinenpassage sind Kollisionen mit den Turbinenschaufeln, da sich diese quer zu Anströmung bewegen und so den Wasserstrom aus Sicht der Fische in Abschnitte bestimmter Länge unterteilen (MONTEN 1985). Je größer diese Abschnitte in Relation zum Fisch, umso geringer ist sein Risiko, von den Laufschaufeln erfasst und verletzt bzw. getötet zu werden. Die Wahrscheinlichkeit einer Kollision steigt folglich mit einer Zunahme der Drehzahl bzw. Umlaufgeschwindigkeit der Laufradschaufeln und sinkt mit einer Zunahme des Laufraddurchmessers.

Neben diesen konstruktiven Merkmalen beeinflusst auch die Betriebsführung der Turbine die Mortalität: Der Öffnungswinkel der in den Weserkraftwerken betriebenen Kaplan-turbinen ist variabel. Hierdurch ist es möglich, die Betriebsweise dem jeweiligen Wasserdargebot anzupassen, indem der Öffnungswinkel verändert, die Drehzahl jedoch konstant gehalten wird. Je größer der Durchfluss durch eine Turbine, umso größer ist der Anstellwinkel der Laufschaufeln und umso größer sind folglich die Abschnitte, in die der Wasserstrom unterteilt wird. Entsprechend sinkt die Mortalität mit steigendem Öffnungswinkel.

Dieser bereits bekannte Zusammenhang sollte im Rahmen der vorliegenden Untersuchung für die Weserkraftanlagen Landesbergen und Drakenburg anhand einer Auswertung der Aalfänge im Unterwasser dieser Staustufen überprüft werden. Hierzu wurde die Schädigungsrate der Fänge der beiden Berufsfischer zunächst separat für die jeweiligen Fangtage der Saison 2008/09 ermittelt. Um zufallsbedingte, auf einem zu geringen Stichprobenumfang basierende Werte zu vermeiden, wurden nur solche Fangtage in die Auswertung einbezogen, an denen mindestens 20 Aale gefangen wurden.

Weil der Öffnungswinkel der Turbinen der Weserkraftanlagen Landesbergen und Drakenburg vom Betreiber nicht protokolliert wird, wurde in erster Annäherung angenommen, dass der Öffnungswinkel mit dem Gesamtabfluss der Weser korreliert. Entsprechend sind in Tab. 11 die tagesspezifischen Schädigungsrate der Fänge der Berufsfischer sowie die Weserabflüsse an den jeweils benachbarten Pegeln Liebenau und Drakenburg aufgeführt.

Ergänzt wurde die Tabelle um die von RATHCKE (2000) und BRAUER (2007) am Standort Landesbergen ermittelten Mortalitätsraten sowie die jeweiligen Abflüsse.

Tab. 11: Tagesauswertung der Fänge bezüglich der Schädigungsrate (nur Fangtage mit mindestens 20 gefangenen Aalen) sowie Abflüsse der Weser

Datum	Schädigungsrate Landesbergen [%]	Abfluss am Pegel Liebenau [m³/s]	Schädigungsrate Drakenburg [%]	Abfluss am Pegel Drakenburg [m³/s]
<b>Befunde von RATHCKE (2000)</b>				
07.12.1999	0	122		
08.12.1999	4	161		
09.12.1999	9	156		
10.12.1999	9	150		
11.12.1999	46	158		
<b>Befunde von BRAUER (2007)</b>				
15.11.2006	48			
09.12.2006	20	136		
14.12.2006	18	141		
15.12.2006	34	124		
16.12.2006	36	122		
17.12.2006	40	121		
01.01.2007	32	131		
02.01.2007				
03.01.2007	20	128		
<b>Befunde der vorliegenden Untersuchung</b>				
29.10.2008			0	89
30.10.2008			23	94
31.10.2008			9	104
01.11.2008			37	107
02.11.2008			15	106
22.11.2008			16	145

Tab. 11: Tagesauswertung der Fänge bezüglich der Schädigungsrate (nur Fangtage mit mindestens 20 gefangenen Aalen) sowie Abflüsse der Weser (Forts.)

Datum	Schädigungsrate Landesbergen [%]	Abfluss am Pegel Liebenau [m³/s]	Schädigungsrate Drakenburg [%]	Abfluss am Pegel Drakenburg [m³/s]
23.11.2008	29	127	26	146
24.11.2008	15	131	24	146
25.11.2008		139	33	158
26.11.2008	17	124	22	144
27.11.2008	46	122	47	140
28.11.2008	31	122	63	142
29.11.2008	54	117	44	136
30.11.2008	46	118	35	136
01.12.2008	52	115	44	127
04.12.2008	54	113		
05.12.2008	52	115		
07.12.2008	58	127		
08.12.2008	52	158		
09.12.2008	50	185		
10.12.2008	28	180	23	195
11.12.2008	21	163	31	177
12.12.2008	22	147	41	162
13.12.2008	36	137	23	146
14.12.2008	35	133	45	143

In Abb. 36 ist die jeweilige Schädigungsrate der Tagesfänge in Abhängigkeit vom Abfluss der Weser für die Standorte Landesbergen und Drakenburg dargestellt. Hierbei zeigt sich für beide Standorte eine starke Streuung der Werte, so dass sich keine eindeutige Tendenz erkennen lässt. Dies bestätigen die zugehörigen Trendlinien mit ihrem sehr geringen Bestimmtheitsmaß von  $R^2 \approx 0,1$ . Die Trendlinie für den Standort Landesbergen zeigt mit steigendem Abfluss sogar tendenziell steigende Schädigungsraten und widerspricht damit nicht nur theoretischen Überlegungen, sondern auch experimentellen Erfahrungen (DWA 2005). Als wesentliche Ursache hierfür wurde vermutet, dass sich allein anhand des Gesamtabflusses der Weser nicht mit hinreichender Genauigkeit auf den Öffnungswinkel der Turbinen schließen lässt.



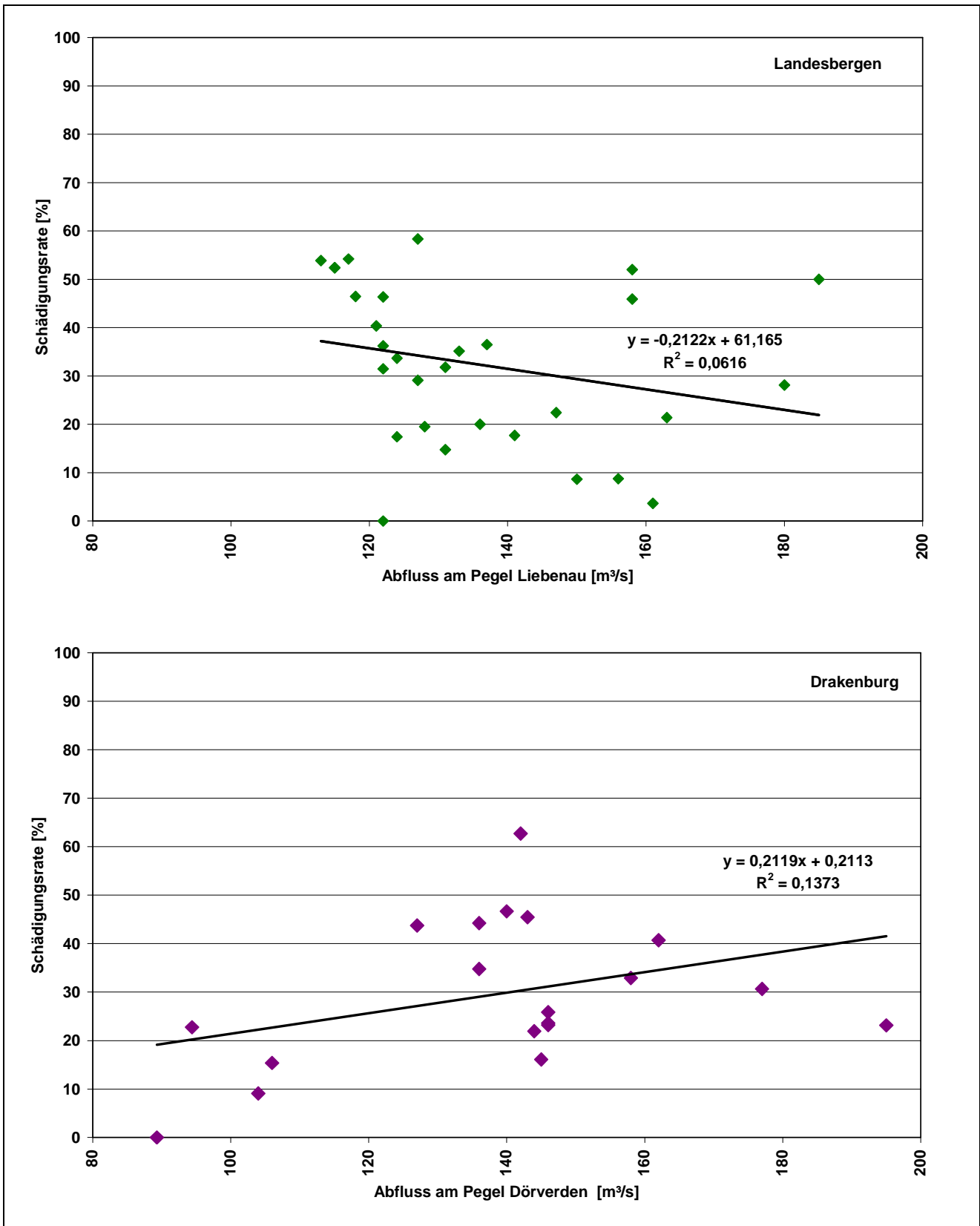


Abb. 36: Schädigungsrate der Fänge unterhalb der Staustufen Landesbergen und Drakenburg bei unterschiedlichen Weserabflüssen an den benachbarten Pegeln Liebenau und Drakenburg

Aufgrund des unbefriedigenden Resultats dieses Ansatzes wurden von der STATKRAFT MARKETS GmbH freundlicherweise Daten zu den tatsächlichen Durchflüssen der drei Turbinen der beiden Wasserkraftanlagen an den Fangtagen der Berufsfischer zur Verfügung gestellt (Tab. 4 und Tab. 5), die in Abb. 37 mit den Schädigungsraten korreliert wurden. Unberücksichtigt hierbei ist, dass im Falle der Wasserkraftanlage Drakenburg an 15 Tagen ein Abfluss von 25 m<sup>3</sup>/s, dies entspricht ca. 20 % des Gesamtabflusses, über die dritte Turbine abgearbeitet wurde.

Wie bereits beim ersten Versuch, die Schädigungsrate mit dem Weserabfluss zu korrelieren, zeigt sich auch zwischen der Schädigungsrate und der Beaufschlagung der Turbinen der Wasserkraftanlagen kein belegbarer Zusammenhang: Die Streuung der Werte ist unverändert hoch, der Verlauf der Trendlinie für den Standort Landesbergen ist weiterhin unplausibel und das Bestimmtheitsmaß der Trendlinien ist noch schlechter als bei Korrelation der Schädigungsraten mit dem Abfluss der Weser.

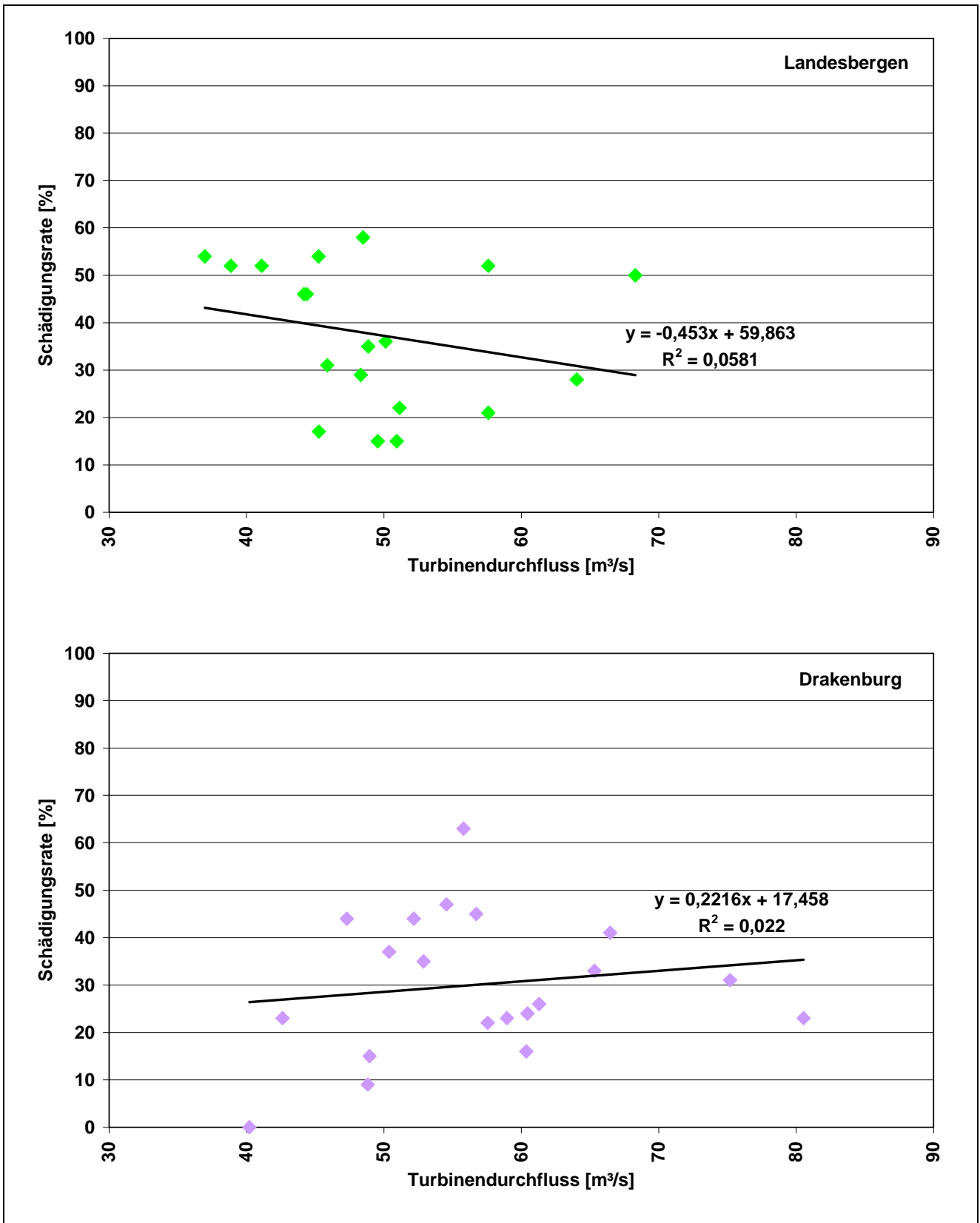


Abb. 37: Schädigungsrate der Fänge unterhalb der Staustufen Landesbergen und Drakenburg bei unterschiedlichen Beaufschlagungen der Turbinen der jeweiligen Wasserkraftanlagen

#### 4.4.5 Schädigungsrate in Abhängigkeit von der Körpergröße

Je größer bzw. länger ein Fisch, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass er bei der Turbinenpassage von den Laufradschaufeln erfasst und verletzt bzw. getötet wird (MONTÉN 1985 u.v.a.). Um zu überprüfen, ob dieser Zusammenhang auch im Falle der Wasserkraftanlagen Landesbergen und Drakenburg besteht, wurden die Fänge der Berufsfischer jeweils in Größengruppen eingeteilt und die Mortalitätsrate separat für diese Größengruppen ermittelt (Tab. 12).

Tab. 12: Fänge im Unterwasser der Staustufen Landesbergen und Drakenburg, differenziert nach Schädigung und Größenklasse

	Anzahl					
<b>Landesbergen</b>	< 50 cm	< 60 cm	< 70 cm	< 80 cm	> 80 cm	<b>Gesamt</b>
unverletzt	134	235	426	188	57	1040
verletzt	23	69	158	133	55	438
tot	0	3	1	4	1	9
Summe	157	307	585	325	113	1487
<b>Drakenburg</b>	< 50 cm	< 60 cm	< 70 cm	< 80 cm	> 80 cm	<b>Gesamt</b>
unverletzt	56	429	580	456	112	1633
verletzt	12	69	170	129	47	427
tot	2	36	70	62	26	196
Summe	70	534	820	647	185	2256
	Anteil					
<b>Landesbergen</b>	< 50 cm	< 60 cm	< 70 cm	< 80 cm	> 80 cm	<b>Gesamt</b>
unverletzt	85,4 %	76,5 %	72,8 %	57,8 %	50,4 %	69,9 %
verletzt	14,6 %	22,5 %	27,0 %	40,9 %	48,7 %	29,5 %
tot	0,0 %	1,0 %	0,2 %	1,2 %	0,9 %	0,6 %
<b>Drakenburg</b>	< 50 cm	< 60 cm	< 70 cm	< 80 cm	> 80 cm	<b>Gesamt</b>
unverletzt	80,0 %	80,3 %	70,7 %	70,5 %	60,5 %	72,4 %
verletzt	17,1 %	12,9 %	20,7 %	19,9 %	25,4 %	18,9 %
tot	2,9 %	6,7 %	8,5 %	9,6 %	14,1 %	8,7 %

Die Relation zwischen Größe und Schädigungsrate ist in Abb. 38 dargestellt. Hierbei zeigt sich für beide Standorte, dass die Schädigungsrate mit der Größe der registrierten Aale deutlich ansteigt. Die Befunde für die Weser bestätigen somit die aus der Literatur bekannte Abhängigkeit der Schädigungsrate von der Größe des Fisches, insbesondere der Totallänge eines Aals.

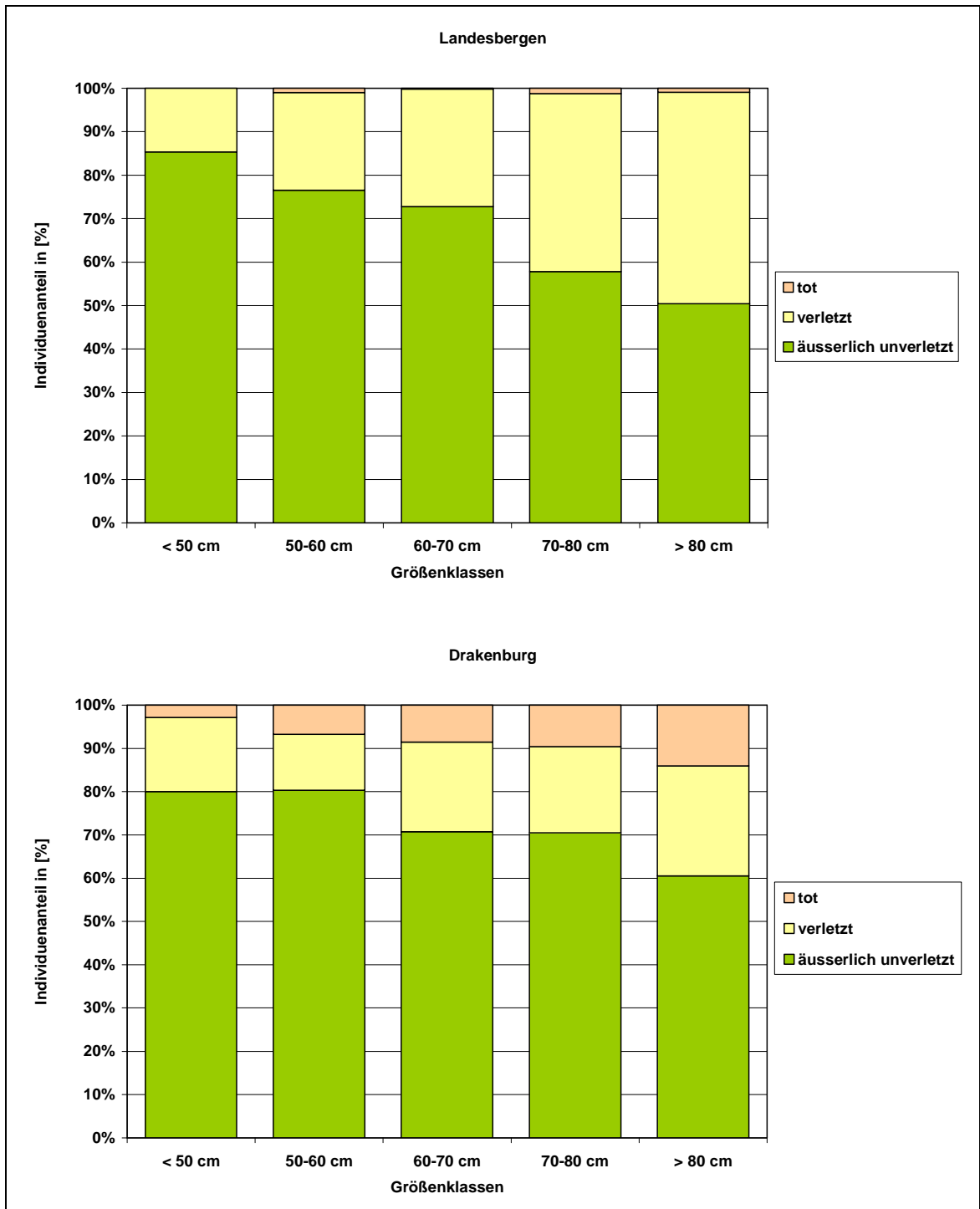


Abb. 38: Schädigungsrate der Aalfänge im Unterwasser der Staustufen Landesbergen und Drakenburg, differenziert nach Größenklassen (genaue Anzahlen und Prozentsätze s. Tab. 13)

## **4.5 BILANZIERUNG DER BLANKAALABWANDERUNG**

### **4.5.1 Gesamtzahl**

Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden die Schokkerfänge abwandernder Blankaale im Unterwasser der Staustufen Landesbergen und Drakenburg in der Saison 2008/09 mit 2.378 bzw. 2.256 Individuen ermittelt (Tab. 6). Darüber hinaus wurden in Landesbergen 83 und in Drakenburg 49 der 500 farblich markierten Aale wiedergefangen (Tab. 7). Aus diesen Daten lässt sich nach folgender Formel die Gesamtzahl der in der Weser abgewanderten Aale abschätzen:

$$\text{Anzahl}_{\text{gesamt}} = \frac{\text{Fang}_{\text{gesamt}} * \text{Anzahl}_{\text{markiert}}}{\text{Fang}_{\text{markiert}}}$$

Aus den o. a. Daten ergibt sich für den Standort Landesbergen:

$$\text{Anzahl}_{\text{Landesbergen-gesamt}} = \frac{\text{Fang}_{\text{Landesbergen-gesamt}} * \text{Anzahl}_{\text{markiert}}}{\text{Fang}_{\text{Landesbergen-markiert}}} = \frac{2.378 * 500}{83} = 14.325$$

Für die Berechnung der Gesamtzahl abwandernder Blankaale am Standort Drakenburg ist der relevante Ausgangsbestand niedriger als die Anzahl von 500 markierten Aalen, denn von dieser Zahl müssen abgezogen werden:

- Die Verluste durch die Wasserkraftanlage Landesbergen. Als mittlerer Wert ist hier gemäß Tab. 8 eine Mortalitätsrate von 27 % anzusetzen. Entsprechend reduziert sich die Anzahl der markierten, unverletzten Aale um  $500 * 0,27 = 135$  Individuen.
- Die Fänge im Unterwasser der Staustufe Landesbergen sind ebenfalls abzuziehen, also 83 Individuen.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der Fang im Unterwasser der Staustufe Landesbergen z. T. auch durch die Wasserkraftanlage geschädigte Aale enthält. Gemäß Tab. 11 sind dies 31 Exemplare. Diese sind aber nur ein Mal bei der Bilanzierung in Anrechnung zu bringen. Entsprechend reduziert sich die für den Standort Drakenburg relevante Anzahl markierter Aale auf:

$$500 - 135 - (83 - 31) = 313$$



Auf dieser Basis lässt sich folgender Gesamtbestand am Standort Drakenburg abschätzen:

$$\text{Anzahl}_{\text{Drakenburg-gesamt}} = \frac{\text{Fang}_{\text{Drakenburg}} * \text{Anzahl}_{\text{markiert}}}{\text{Fang}_{\text{Drakenburg-markiert}}} = \frac{2.256 * 313}{49} = 14.411$$

#### **4.5.2 Gesamtgewicht**

Aus den Fangzahlen und dem Fanggewicht in Tab. 6 errechnet sich das mittlere Stückgewicht der im Unterwasser der Staustufe Landesbergen gefangenen Aale mit 0,557 kg. Die Fänge im Unterwasser der Staustufe Drakenburg sind mit durchschnittlichen 0,614 kg etwas schwerer. Aus diesen mittleren Stückgewichten und der Gesamtzahl gemäß Kap. 4.5.2 errechnet sich das Gesamtgewicht der in der Saison 2008/09 an den beiden Standorten abgewanderten Aale nach der Formel

$$\text{Gesamtgewicht [kg]} = \text{Anzahl} * \text{mittleres Stückgewicht [kg]}$$

Entsprechend ergibt sich für Landesbergen:

$$\text{Gesamtgewicht}_{\text{Landesbergen}} = 14.325 * 0,557 \text{ kg} = 7.979 \text{ kg}$$

und für Drakenburg:

$$\text{Gesamtgewicht}_{\text{Drakenburg}} = 14.411 * 0,614 \text{ kg} = 8.848 \text{ kg}$$

### 4.5.3 Gesamtfang und Fangquote der Fischer

Die in Kap. 4.1 dokumentierten Gesamtfänge an den beiden Standorten in Anzahl und Gewicht sind in Tab. 13 zusammengefasst.

Tab. 13: Blankaalfänge im Unterwasser der Staustufen Landesbergen und Drakenburg in der Saison 2008/09

	<b>Landesbergen</b>	<b>Drakenburg</b>	<b>Summe</b>
Anzahl	2.378	2.256	4.634
Gewicht	1.307 kg	1.385 kg	2.692 kg

Anhand der Anzahl markierter Aale und der Wiederfänge lässt sich die Fangquote an den beiden Standorten wie folgt kalkulieren:

$$\text{Fangquote} = \frac{\text{Fang}_{\text{markiert}}}{\text{Anzahl}_{\text{markiert}}}$$

Gemäß der o. a. Daten berechnet sich:

$$\text{Fangquote}_{\text{Landesbergen}} = \frac{\text{Fang}_{\text{markiert}}}{\text{Anzahl}_{\text{markiert}}} = \frac{83}{500} = 16,6 \%$$

und

$$\text{Fangquote}_{\text{Drakbenburg}} = \frac{\text{Fang}_{\text{markiert}}}{\text{Anzahl}_{\text{markiert}}} = \frac{49}{313} = 15,7 \%$$

### 4.5.4 Turbinenbedingte Mortalität

Aus dem Gesamtbestand sowie der Mortalitätsrate lässt sich gemäß folgender Formel die absolute turbinenbedingte Mortalität errechnen:

$$\text{Mortalität}_{\text{Turbinen}} = \text{Mortalitätsrate}_{\text{Turbinen}} * \text{Anzahl}_{\text{gesamt}}$$

An dieser Stelle sei angemerkt, dass für Bilanzierungen im Rahmen der Studie nur die bei der Passage von Fischen durch die Triebwerke entstehenden Schädigungen zu Grunde gelegt werden. Andere an Wasserkraftstandorten für abwandernde Fische bestehende Mortalitätsrisiken, z. B. zu hohe Anströmgeschwindigkeiten bei geringen lichten Weiten der Rechen und der erhöhte Prädationsdruck durch Wasservögel und Raubfische im Unterwasser bleiben mangels der Verfügbarkeit entsprechender Quantifizierungsansätze unberücksichtigt.

In der vorliegenden Studie wurde die Untergrenze der Mortalität am Standort Landesbergen mit 15 % und die Obergrenze mit 30 %, ermittelt (Kap. 4.4.3). Die für Drakenburg ermittelten Werte betragen 14 bzw. 28 % (Tab. 9). Auf der Grundlage dieser Werte und der ermittelten Gesamtzahl der abwandernden Aale von 14.325 bzw. 14.411 Individuen (Kap. 4.5.1) errechnet sich folgende absolute Mortalität:

$$\begin{aligned} \text{Mortalität}_{\text{Landesbergen-Untergrenze}} &= 0,15 * 14.325 = 2.149 \text{ Individuen} \\ \text{Mortalität}_{\text{Landesbergen-Obergrenze}} &= 0,30 * 14.325 = 4.298 \text{ Individuen} \\ \\ \text{Mortalität}_{\text{Drakenburg-Untergrenze}} &= 0,14 * 14.411 = 2.018 \text{ Individuen} \\ \text{Mortalität}_{\text{Drakenburg-Obergrenze}} &= 0,28 * 14.411 = 4.035 \text{ Individuen} \end{aligned}$$

Anhand des Durchschnittsgewichtes der Fänge können hieraus folgende Gewichtsverluste ermittelt werden:

$$\begin{aligned} \text{Mortalität}_{\text{Landesbergen-Untergrenze}} &= 2.149 * 0,557 \text{ kg} = 1.197 \text{ kg} \\ \text{Mortalität}_{\text{Landesbergen-Obergrenze}} &= 4.298 * 0,557 \text{ kg} = 2.394 \text{ kg} \\ \text{Mortalität}_{\text{Drakenburg-Untergrenze}} &= 2.018 * 0,614 \text{ kg} = 1.239 \text{ kg} \\ \text{Mortalität}_{\text{Drakenburg-Obergrenze}} &= 4.035 * 0,614 \text{ kg} = 2.477 \text{ kg} \end{aligned}$$

#### 4.5.5 Fischereiliche Mortalität

Die fischereiliche Mortalität entspricht dem dokumentierten Gesamtfang abzüglich derjenigen gefangenen Aale, die aufgrund turbinenbedingter Schädigungen tot bzw. tödlich verletzt gefangen werden:

$$\text{Mortalität}_{\text{Fischerei}} = \text{Fang}_{\text{gesamt}} * (1 - \text{Mortalitätsrate}_{\text{Turbinen}})$$

Legt man hierbei den Mittelwert der Ober- und Untergrenze der turbinenbedingten Mortalität gemäß Tab. 9 und Tab. 10 zugrunde, ergeben sich folgende Werte für die fischereiliche Mortalität in Anzahl und in Gewicht:

$$\begin{aligned} & 2.378 \quad * \quad (1 - 0,225) = 2.021 \text{ Individuen} \\ \text{Mortalität}_{\text{Fischerei-Landesbergen}} = & 1.324 \text{ kg} \quad * \quad (1 - 0,270) = 967 \text{ kg} \\ & 2.256 \quad * \quad (1 - 0,210) = 1.782 \text{ Individuen} \\ \text{Mortalität}_{\text{Fischerei-Drakenburg}} = & 1.385 \text{ kg} \quad * \quad (1 - 0,225) = 1.073 \text{ kg} \end{aligned}$$

#### 4.5.6 Übersicht über die Blankaalbilanzierung

In Tab. 14 sind die in den Kap. 4.5.1 bis Kap. 4.5.5 berechneten Befunde zur Blankaalabwanderung in der Saison 2008/09 an den Wasserkraftstandorten Landesbergen und Drakenburg zusammengefasst. Die derart errechneten Werte beziehen sich nur auf den betrachteten Weserabschnitt im untersuchten Zeitraum.

Tab. 14: Zusammenfassung der Befunde zur Bilanzierung der Blankaalabwanderung an den Standorten an der Weser Landesbergen und Drakenburg

Anzahl		Landesbergen		Drakenburg	
Schokkerfänge		2.378 Stück		2.256 Stück	
Abwanderung		14.325 Stück		14.411 Stück	
Fischerei	Fangquote	16,6 %		15,7 %	
	Mortalität	1.843 Stück		1.782 Stück	
Wasserkraft		Untergrenze	Obergrenze	Untergrenze	Obergrenze
	Mortalitätsrate	15 %	30 %	14 %	28 %
	Mortalität	2.149 Stück	4.298 Stück	2.018 Stück	4.035 Stück
Gewicht		Landesbergen		Drakenburg	
Schokkerfänge		1.324 kg		1.385 kg	
Stückgewicht		0,557 kg		0,614 kg	
Abwanderung		7.979 kg		8.848 kg	
Fischerei	Fangquote	16,6 %		15,7 %	
	Mortalität	967 kg		1.073 kg	
Wasserkraft		Untergrenze	Obergrenze	Untergrenze	Obergrenze
	Mortalitätsrate	18 %	36 %	15 %	30 %
	Mortalität	1.197 kg	2.394 kg	1.239 kg	2.477 kg

### 4.6 ÜBEREINSTIMMUNG DER AALABWANDERUNG IN DER WESER MIT DEM FRÜHWARNSYSTEM MIGROMAT® AN DER FULDA

Der MIGROMAT® in Wahnhausen an der Fulda löste im Verlauf der Saison 2008/09 an insgesamt 19 Tagen Alarm aus. In Abb. 39 sind diese Tage orange markiert. Ebenso ist die Anzahl der Aale dargestellt, die von den Berufsfischern an den einzelnen Tagen in der Mittelweser in Landesbergen und Drakenburg gefangenen wurden.

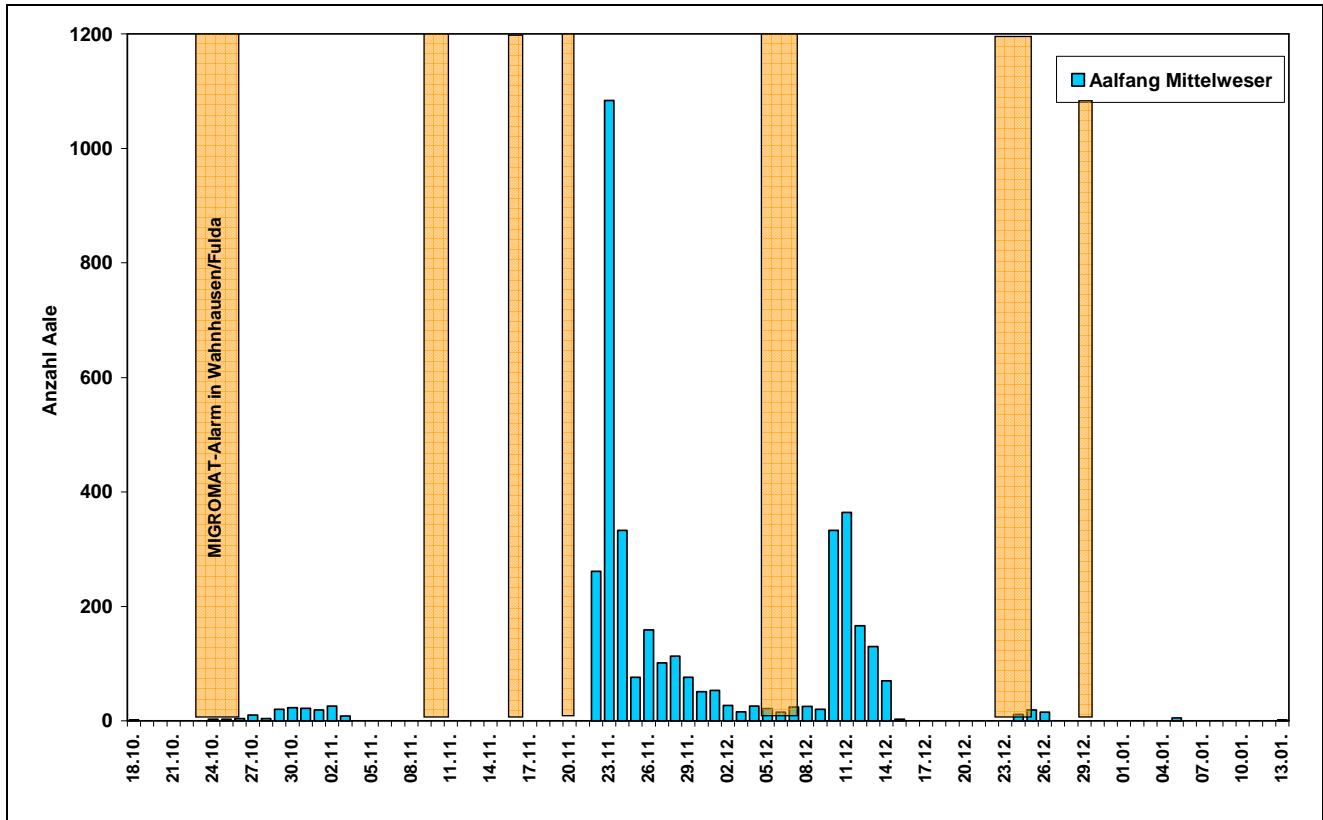


Abb. 39: Anzahl der Blankaalfänge in der Mittelweser im Verlauf des Untersuchungszeitraumes und Tage mit MIGROMAT®-Alarm an der Fulda in Wahnhausen in der Saison 2008/09



Die Fangzahlen der Fischer belegen, dass in der Mittelweser Ende Oktober sowie vor allem Ende November sowie Mitte Dezember Abwanderwellen von Blankaalen stattgefunden haben. Während dieser Zeiten gab der MIGROMAT<sup>®</sup> in Wahnhausen an der Fulda keine Alarmmeldungen ab und das dortige Monitoring erbrachte keine Hinweise auf eine Abwanderung von Blankaalen in der Fulda. Umgekehrt fingen die Berufsfischer an der Mittelweser an Tagen mit MIGROMAT<sup>®</sup>-Alarm gar keine oder allenfalls einzelne Blankaale. Es besteht somit keine Synchronität zwischen den MIGROMAT<sup>®</sup>-Alarmen an der Fulda und der Blankaalabwanderung an der Mittelweser.

Als Hinweis auf eine großräumige Ausbreitung von Abwanderwellen aus der Fulda über die Ober- bis in die Mittelweser könnte interpretiert werden, dass Aalalarme in der Fulda jeweils zwei bis drei Tage vor Beginn der Abwanderwellen in der Mittelweser zu verzeichnen waren. Allerdings würde sich dies dann lediglich auf den Beginn der Abwanderwellen beziehen, die sich jeweils über mehrere Tage erstreckten.

## **5 DISKUSSION**

### **5.1 QUANTIFIZIERUNG DER BLANKAALABWANDERUNG**

Die vorliegende Untersuchung basiert auf der Auswertung von Blankaalfängen der Berufsfischerei mittels Schokkern und Scherbretthamen, die mehr oder weniger weit unterhalb der Wasserkraftanlagen Landesbergen und Drakenburg an der Mittelweser betrieben werden.

Unsicherheiten bezüglich der Datengrundlage ergeben sich daraus, dass die Beprobung nicht kontinuierlich über den gesamten Untersuchungszeitraum erfolgte, sondern durch mehr oder weniger lange Perioden unterbrochen wurde, in denen die Berufsfischer ihre Fanggeräte nicht exponiert hatten. Dies hat im wesentlichen betriebswirtschaftliche Gründe: Der Einsatz der Fanggeräte ist mit einem erheblichen Aufwand verbunden. Deshalb werden sie nur dann betrieben, wenn der Fischer mit Aalfängen rechnet. Auch wenn hierbei z. T. auf jahrzehntelange Erfahrungen zurückgegriffen werden kann und die Fischer ein wirtschaftliches Interesse an möglichst großen Fangmengen haben, wird auf diese Weise doch nur ein Teil der Abwanderung erfasst.

Weitere Datenlücken ergeben sich aus Ausfallzeiten aufgrund von Beschädigung und Reparatur der Fanggeräte, personeller Engpässe etc. Insgesamt führt dies dazu, dass der tatsächliche Umfang der Aalabwanderung größer ist, als dies durch die vorliegenden Befunde dokumentiert wird. Dennoch erreichte die Wiederfangquote markierter Aale insgesamt gut 26 %. Dies ist wesentlich mehr, als bislang bei ähnlichen Experimenten, selbst in viel kleineren Flüssen erzielt wurde (Tab. 15).

Tab. 15: Wiederfangquoten bei Fang-Markierungs-Wiederfang-Untersuchungen mit Blankaalen

<b>Gewässer</b>	<b>MQ</b>	<b>Wiederfangquote</b>	<b>Quelle</b>
Weser	ca. 200 m <sup>3</sup> /s	26,4 %	vorliegende Untersuchung
Loire / Frankreich	ca. 400 m <sup>3</sup> /s	ca. 17 %	FEUNTEUN, mündl. Mittl.
Rhin	2,8 m <sup>3</sup> /s	16,0 %	SIMON & FLADUNG 2009
Obere Havel	6,7 m <sup>3</sup> /s	10,1 %	
Elbe	571 m <sup>3</sup> /s	3,5 %	
Rhein	2.280 m <sup>3</sup> /s	0,15 - 0,19 %	KLEIN BRETELER et al. 2007

Die Schokker- und Hamenfischerei der Berufsfischer an der Mittelweser ist somit, selbst wenn sie nicht kontinuierlich betrieben wird, eine vergleichsweise sehr effiziente Fangmethode und ermöglicht Fangquoten, die für fischökologische Freilanduntersuchungen außergewöhnlich hoch sind. Entsprechend ist sie sehr gut geeignet, die Blankaalabwanderung in ihrem zeitlichen Verlauf zu erfassen und ihren Umfang zu quantifizieren.

Ebenso wie bei vergleichbaren Untersuchungen (z. B. KLEIN BRETELER et al. 2007) geht die Bilanzierung von der Grundannahme aus, dass markierte und unmarkierte Aale die selbe Abwanderdynamik aufweisen und deshalb eine gleichmäßige zeitlich/räumliche Verteilung sowohl an den beprobten Standorten als auch in den Fängen herrscht. Entsprechend liegt der Bilanzierungsformel die Annahme zugrunde, dass das Verhältnis von markierten Exemplaren zum Gesamtbestand das selbe ist wie dasjenige von markierten Wiederfängen zum Gesamtfang. Das Ergebnis von jeweils ca. 14.000 Blankaalen pro Standort mit einem Gesamtgewicht von ca. 8.000 bzw. 9.000 kg ist folglich zwar mathematisch exakt, basiert aber auf unbestätigten Hypothesen und erlaubt damit lediglich eine ungefähre Abschätzung der tatsächlichen Abwanderung. Immerhin ist die Wiederfangquote in der vorliegenden Studie im Vergleich zu anderen Studien außerordentlich hoch, so dass der zu erwartende Fehler geringer ist als bei vergleichbaren Bilanzierungen, insbesondere am Rhein (Tab. 15).

## **5.2            UNTERSUCHUNG DER TURBINENBEDINGTEN MORTALITÄT**

Im Rahmen des vorliegenden Projekts sollte die wasserkraftbedingte Schädigung abwandernder Aale an den Standorten Landesbergen und Drakenburg untersucht und quantifiziert werden. Üblicherweise werden zu diesem Zweck Hamen direkt am Saugschlauch der Turbine befestigt, damit gewährleistet ist, dass tatsächlich alle über die Turbine abgewanderten Exemplare erfasst werden (LUNDBECK 1927, v. RABEN 1957, BERG 1985, 1988, TRAVADE et al. 1987, LARINIER & DARTIGUELONGUE 1989, HOLZNER 1999a, 1999b, TURNPENNY et al. 2000, BRUIJS et al. 2004, LAGARRIGUE et al. 2008 u. v. a.). Aus Kostengründen wurde hierauf im Rahmen der vorliegenden Untersuchung verzichtet. Statt dessen sollten Befunde zur wasserkraftbedingten Mortalität ebenfalls anhand der Schokker- und Hamenfänge der Berufsfischer erhoben werden. Entsprechend beziehen sich sämtliche Daten zur Schädigung und Mortalität abwandernder Aale auf Fänge, die bis zu 3,2 km unterhalb der Wasserkraftanlagen erfolgten. Es ist davon auszugehen, dass dies nicht ohne Einfluss auf die Befunde geblieben ist, denn:

- Die Schokker und Hamen erfassen nur einen Teil der abdriftenden Aale, Entsprechend der Fangquote der Fischer umfasst die hierdurch gewonnene Stichprobe pro Standort jeweils ca. 16 % der Gesamtabwanderung.
- Hierbei ist zu vermuten, dass sich unversehrte Aale anders verhalten, als verletzte oder tote, so dass sie mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit im Gerät der Berufsfischer gefangen werden.
- Je weiter ein Fanggerät von der Wasserkraftanlage entfernt exponiert ist, umso höher dürfte der Anteil gefangener Aale sein, die aus derselben Stauhaltung stammen, die Wasserkraftanlage also gar nicht passiert haben.
- Mittels Schokker und Scherbretthamen werden nicht nur Aale gefangen, die die Turbinen der oberhalb gelegenen Kraftanlage passiert haben, sondern auch diejenigen, die bei der Abwanderung den Weg über das Wehr genommen haben. Im Bearbeitungszeitraum der vorliegenden Untersuchung waren die Wehre allerdings nicht in nennenswertem Umfang überströmt, so dass dieser Einflussfaktor hier vernachlässigt werden kann.
- Aale könnten bereits durch oberhalb gelegene Wasserkraftanlagen vorgeschädigt sein. Entsprechend würden die Fänge nicht die Schädigungsrate eines einzigen Turbinendurchgangs repräsentieren, sondern den kumulativen Effekt mehrerer Standorte (EBEL 2008).

Dieser Frage kann allerdings anhand der Wiederfänge markierter Aale nachgegangen werden: Sämtliche 500 markierten Aale wurden unverletzt im Unterwasser der Staustufe Schlüsselburg freigelassen. Alle im Unterwasser Landesbergen wiedergefangenen markierten Exemplare hatten also diesen einen Wasserkraftstandort passiert, alle im Unterwasser der Staustufe Drakenburg wieder gefangenen Exemplare zusätzlich den zweiten Standort. Wären im Fang in nennenswertem Umfang vorgeschädigte Aale enthalten, müsste folglich die Schädigungsrate der im Unterwasser Drakenburg gefangenen markierten Aale nach zwei Turbinenpassagen höher sein, als diejenige im Unterwasser Landesbergen nach nur einer Turbinenpassage, zumal so gut wie keine Wehrüberströmung erfolgte. Genau dies ist jedoch nicht der Fall. Aus Tab. 11 ist ersichtlich, dass die Schädigungsrate der markierten Aale in Landesbergen und Drakenburg annähernd gleich ist. Weil sich auch die Schädigungsraten der Gesamtproben nur unwesentlich voneinander unterscheiden, lässt dies darauf schließen, dass

Vorschädigungen die vorliegenden Befunde zur wasserkraftbedingten Schädigung von Aalen in der Weser nur in geringem Umfang beeinflussen.

Insgesamt weichen aus den o.a. Gründen die anhand der Fänge der Berufsfischer ermittelten Befunde von den tatsächlichen turbinenbedingten Schädigungs- und Mortalitätsraten ab, wobei sich das Ausmaß dieser Abweichung nicht quantifizieren lässt.

Ein grundsätzliches Problem von Untersuchungen zur wasserkraftbedingten Schädigung von Aalen ist die Einstufung der einzelnen Exemplare in Schadenskategorien, denn Aale sterben häufig nicht unmittelbar nach einer tödlichen Verletzung, sondern erst verzögert nach Tagen oder gar Wochen. Dies ist speziell bei niedrigen Wassertemperaturen der Fall, wie sie während der hier untersuchten Abwandersaison 2008/09 in der Weser herrschten. So lebte beispielsweise selbst das in Abb. 27 dargestellte, tödlich verletzte Tier noch zwei Tage nach seinem Fang. Insofern ist es im Falle wasserkraftbedingter Schädigungen von Aalen nicht zielführend, die registrierten Fische in lebende und tote zu unterscheiden und den Anteil toter Exemplare als Mortalitätsrate auszuweisen. Vielmehr wird auch ein erheblicher Teil der zwar (noch) lebenden, aber verletzten Aale letztlich verenden und muss deshalb in die Mortalitätsrate einbezogen werden. Diese Vorgehensweise ist notwendig und auch üblich, wobei die einzelnen Autoren derartiger Untersuchungen die Kriterien, nach denen sie die Unterscheidung in letale und subletale Verletzungen vornehmen, mehr oder weniger exakt benennen (EBEL 2008). Auch wenn die meisten Autoren Mortalitätsraten in einem einzigen Zahlenwert ausdrücken, bleibt diese Einstufung letztendendes eine subjektive Einschätzung des Bearbeiters und ist mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Dem wird BERG (1985) beispielsweise dadurch gerecht, dass er die Mortalitätsrate für das Wasserkraftwerk Neckarzimmern mit „etwa 30 %“ angibt. HOLZNER (1999a) unterscheidet nur Schadensbilder, ohne Angaben zur Mortalität zu machen, wobei die Schadensbilder zum Teil sowohl in letaler als auch in subletaler Ausprägung auftreten können.

Die vorliegende Studie geht davon aus, dass neben bereits toten Exemplaren auch solche Aale mit Sicherheit ihren Verletzungen erliegen werden, die große offene Wunden, Wirbelbrüche, inneren Blutungen und großflächige Hautschäden aufweisen. Ihr Anteil wurde in Kap. 4.5.4 als Untergrenze der wasserkraftbedingten Mortalitätsrate ausgewiesen. Im ungünstigsten Falle verenden jedoch auch diejenigen Aale, deren Verletzungen subjektiv als weniger schwerwiegend eingestuft wurden. Die Obergrenze der wasserkraftbedingten



Mortalitätsrate entspricht somit der Gesamtheit aller toten und verletzten Exemplare. Aus dieser Vorgehensweise resultiert eine relativ große Spannweite der Mortalität, die jedoch den tatsächlichen Unsicherheiten weit besser gerecht wird als die scheinbare Objektivität eines einzigen Zahlenwertes.

Präzisieren ließe sich die Mortalitätsrate z. B. durch röntgenologische Untersuchungen oder durch Ermittlung der verzögerten Mortalität im Rahmen von Hältertests über mindestens 48 Stunden. In von EBEL (2008) zitierten Untersuchungen wurde hierbei eine verzögerte Mortalität von Aalen zwischen 0 und 5 % ermittelt. Diese Werte sind in Relation zu den methodischen Unsicherheiten, die sich aus dem Einsatz von Schokkern zum Fang der Aale ergeben, relativ gering, so dass im Rahmen der vorliegenden Studie auf derartige Untersuchungen verzichtet wurde.

Zum großen Teil sind die Befunde zur wasserkraftbedingten Schädigung plausibel und sprechen somit für einen eher geringen methodischen Fehler infolge der Datenerhebung mittels Schokkern und Hamen sowie bei der Einstufung der Schädigungen:

- Für die beiden weitgehend baugleichen Wasserkraftanlagen Landesbergen und Drakenburg wurden etwa gleich hohe Schädigungsraten ermittelt.
- Diese liegen in der selben Größenordnung wie die Schädigungsraten vergleichbarer Wasserkraftanlagen, wie sie z. B. von HOLZNER (1999a) für das Wasserkraftwerk Dettelbach am Main oder BERG (1985, 1988) für das Werra-Wasserkraftwerk am „Letzten Heller“ und den Standort Neckarzimmern ermittelt wurden.
- Mit zunehmender Körperlänge steigt die Schädigungsrate. Diesbezüglich stimmen die Befunde mit den Kenntnissen von anderen Wasserkraftstandorten überein und bestätigen die theoretische Erwartung, dass die Schädigungsrate maßgeblich von der Relation zwischen Turbinen- und Fischdimensionen beeinflusst wird.

Andere Befunde hingegen sind unplausibel, was vermutlich nicht zuletzt auf die im vorliegenden Projekt eingesetzte Nachweismethode mittels Schokker zurückzuführen ist. So entfällt ein erheblicher Teil der letalen Schädigungen durch Kaplan-turbinen bei Aalen in der Regel auf Totaldurchtrennungen des Körpers. In Dettelbach am Main betrug dieser Anteil beispielsweise 18 % (HOLZNER 1999b), an der Wasserkraftanlage „Letzter Heller“ an der Werra ca. 50 % (BERG 1988). Demgegenüber entfielen an der Mittelweser in Drakenburg 5 % und in Landesbergen nur 2 % der letalen Verletzungen auf dieses

Schadensbild. Dies ließe sich dadurch erklären, dass die Schwimmblase bei der Durchtrennung zerstört wird, so dass Aalstücke ein höheres spezifisches Gewicht haben als intakte Körper, auf den Gewässergrund absinken und deshalb vor allem dann mit geringerer Wahrscheinlichkeit mittels Schokkern und Scherbretthamen gefangen werden, wenn diese in größerer Entfernung von der Wasserkraftanlage exponiert sind.

Je größer der Abstand zwischen zwei Laufradschaufeln, um so geringer ist das Kollisionsrisiko von Fischen und damit die Schädigungsrate. Entsprechend müssten in Abhängigkeit vom Turbinendurchfluss mit steigendem Öffnungswinkel geringere Schädigungsraten auftreten. Dass sich dieser Zusammenhang jedoch weder für den Standort Landesbergen noch für den Standort Drakenburg herstellen lässt, ließe sich ebenfalls mit unterrepräsentierten Fängen von vollständig durchtrennten Aalen erklären. Unsicherheiten ergeben sich jedoch auch daraus, dass für den Untersuchungszeitraum nur Angaben zum Turbinendurchfluss der Wasserkraftanlagen Landesbergen und Drakenburg, nicht aber zum Öffnungswinkel verfügbar sind. Im Falle der Wasserkraftanlage Drakenburg ist zudem darauf hinzuweisen, dass die Turbinen an 15 Fangtagen der Berufsfischer nicht gleichmäßig betrieben, sondern die dritte Turbine konstant mit 25 m<sup>3</sup>/s beaufschlagt wurde, während der übrige Abfluss, im Mittel ca. 80 % des Gesamtabflusses, gleichmäßig auf die beiden anderen Turbinen aufgeteilt wurde. Die Turbinen arbeiteten somit mit unterschiedlichem Öffnungswinkel ihrer Laufradschaufeln und haben deshalb vermutlich unterschiedliche Schädigungsraten verursacht.

Eine Überströmung der Wehre spielt diesbezüglich keine Rolle, denn lediglich das Wehr Drakenburg wurde an einem einzigen Fangtag, nämlich am 10. Dezember 2008 von ca. 11 m<sup>3</sup>/s, also von weniger als 6 % des Gesamtabflusses überströmt. Ansonsten erfolgte an den Fangtagen der Berufsfischer nach Angaben der STATKRAFT MARKETS GmbH kein Wehrabfluss.

Andererseits ließen auch die Befunde von BERG (1988) an der Wasserkraftanlage „Letzter Heller“ in der Werra diesen Zusammenhang vermissen, obwohl dort ein Hamen benutzt wurde, der unmittelbar am Saugschlauch befestigt war.

Insgesamt sind damit die Befunde zur wasserkraftbedingten Mortalität mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Diese sind primär darauf zurück zu führen, dass der Fang der abwandernden Aale nicht in Hamen unmittelbar am Turbinenauslass erfolgte, sondern mittels der bis zu 3,2 km stromabwärts der Wasserkraftanlagen exponierten Fanggeräte der Berufsfischer.

### **5.3 VERWERTBARKEIT DER MIGROMAT<sup>®</sup>-ALARME AN DER MITTELWESER**

Voraussetzung für den zweckdienlichen Einsatz von Frühwarnsystemen sind eine hohe Zuverlässigkeit und zeitliche Präzision, mit der Alarme generiert werden: Dies ist die Voraussetzung dafür, zeitlich begrenzt auf Abwanderwellen reagieren zu können, indem durch eine entsprechende Betriebsführung der Kraftanlage abwandernde Aale vor einer Turbinenpassage geschützt werden, ohne dass dem Wasserkraftbetreiber unnötig hohe Kosten für Produktionsausfälle entstehen.

Im Falle des Frühwarnsystems MIGROMAT<sup>®</sup> bestand bislang an drei Standorten die Möglichkeit, die Zuverlässigkeit der Vorhersage durch ein lückenloses Monitoring zu überprüfen:

- In der Maas erfolgte in den Jahren 2001 und 2002 ein Monitoring anhand der Schokker- und Reusenfänge von Berufsfischern. Darüber hinaus wurden Blankaale mit Transpondern (NEDAP-Trial-System) markiert, so dass ihre Abwanderung an stationären Antennenanlagen im gesamten Verlauf der niederländischen Maas orts- und zeitgenau dokumentiert werden konnte. Passagen der Standorte Linne und Alphen wurden mit den Alarmmeldungen der dort betriebenen MIGROMATE<sup>®</sup> verglichen (BRUIJS et al. 2003).
- Das Wasserkraftwerk Wahnhausen an der Fulda ist mit einem 20 mm-Rechen ausgestattet, der mit so hoher Fließgeschwindigkeit angeströmt wird, dass abwandernde Aale angepresst, von der Rechenreinigungsanlage erfasst und in den Rechengutcontainer befördert werden. Durch Kontrolle des Rechengutes auf verendete Aale erfolgt seit 2002 ein lückenloses Monitoring, durch das Abwanderwellen dokumentiert werden, bei denen die Wasserkraftanlage im Falle ausbleibender Alarmmeldungen des MIGROMAT<sup>®</sup> nicht aalfreundlich betrieben wurde. Ob während des Aalarmetriebs eine Aalabwanderung erfolgt, wird hingegen nicht systematisch untersucht und kann nur sporadisch anhand der Fänge eines Berufsfischers in Hann. Münden überprüft werden.

Der bisherige Bilanz des Monitorings der MIGROMATE<sup>®</sup> an den Standorten Linne, Alphen und Wahnhausen ist in Abb. 40 dargestellt. Hierbei zeigt sich, dass an ca. 10 % der bisherigen Betriebstage ein Alarm generiert wurde.

An etwa der Hälfte dieser Alarmtage wurde in der Maas im Rahmen des Monitorings auch ein Abwanderereignis von Aalen nachgewiesen. An insgesamt 25 von 568 Betriebstagen hingegen lösten die MIGROMATE<sup>®</sup> Alarm aus, ohne dass das Monitoring Hinweise auf eine Abwanderung ergab. Am Standort Wahnhausen werden im Rahmen des Monitorings

nur die Verluste abwandernder Aale lückenlos erfasst, während die Abwanderung im Fluss in der Regel nicht dokumentiert werden kann. Folglich ist für die Mehrzahl der Alarmtage nicht bekannt, ob eine Abwanderung stattfand oder nicht.

In Hinblick auf den Aalschutz ist es ohne Belang, dass gelegentlich Alarme ausgelöst werden, obwohl sich gar keine Abwanderung ereignet. Ein Problem ist dies allerdings für den Wasserkraftbetreiber, dem hierdurch ein „unnötiger“ Produktionsausfall entsteht.

An etwa 90 % aller bisherigen Betriebstage lösten die MIGROMATE<sup>®</sup> keinen Alarm aus. Wenn sich an solchen Tagen dennoch Abwanderwellen ereignen, sind die Aale ungeschützt und es kommt zu Verlusten in der selben Höhe wie ohne Frühwarnsystem. Dies ereignete sich bisher allerdings nur an deutlich weniger als 1 % aller Betriebstage. Insgesamt erreicht das Frühwarnsystem MIGROMAT<sup>®</sup> somit eine hohe Zuverlässigkeit.

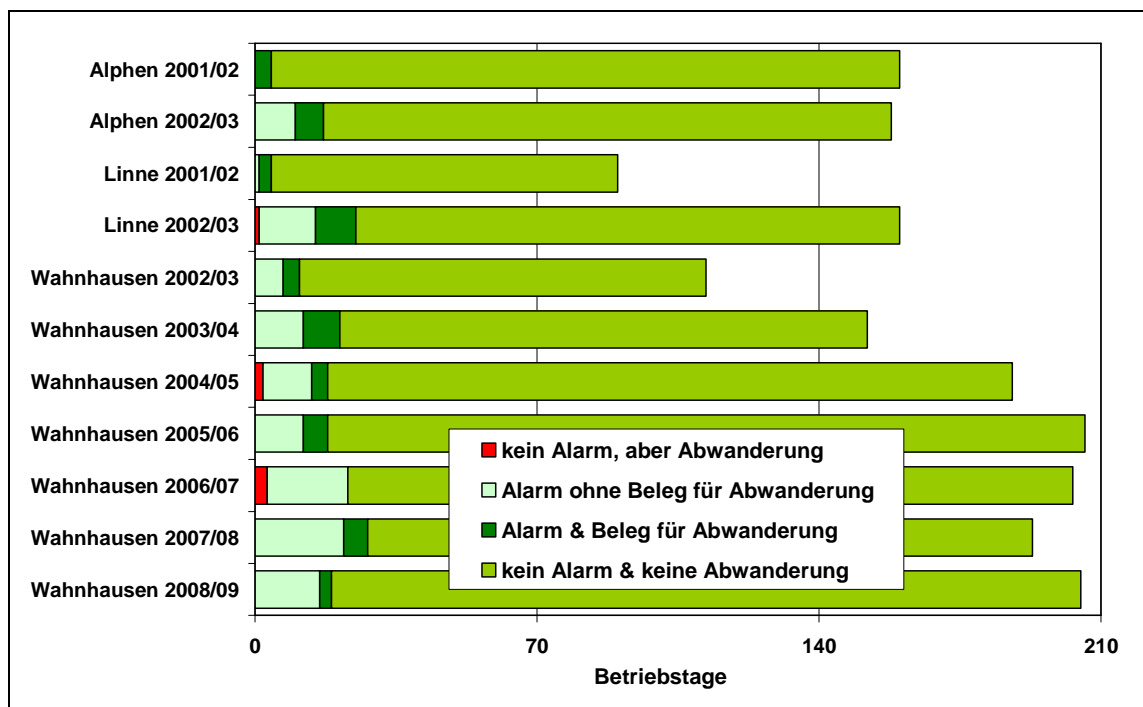


Abb. 40: Bilanz der Verlässlichkeit der bisher an Maas und Fulda betriebenen MIGROMATE<sup>®</sup>

Die Abwanderung der Blankaale vollzieht sich in Schüben, die z. T. lokal begrenzt sind, sich z. T. aber auch großräumig flussabwärts bewegen (BRUIJS et al. 2003, DURIF 2003, DURIF & ELIE 2008). Dies bedeutet, dass sich Abwanderereignisse in der Regel an verschiedenen Orten entlang eines Flusses nicht zeitgleich ereignen, sondern entweder

zeitversetzt oder aber unabhängig voneinander. Deshalb geht die Genauigkeit der Vorhersage von Abwanderereignissen durch ein Frühwarnsystem mit zunehmender Distanz verloren. Dies wurde bereits für die ca. 100 km voneinander entfernten MIGROMATE® in Linne und Alphen an der Maas festgestellt (BRUIJS et al. 2003) und gilt umso mehr für ein Turbinenmanagement an der Mittelweser auf der Basis der MIGROMAT®-Alarmer des ca. 250 km entfernten Standortes Wahnhausen an dem Zufluss Fulda. Die vorliegenden Befunde zeigen, dass sich Abwanderereignisse an der Mittelweser über diese Distanz zeitlich nicht exakt durch den MIGROMAT® an der Fulda vorhersagen lassen oder gänzlich unerkant bleiben, so dass hohe Aalverluste an der Weser unvermeidlich wären. Gleichzeitig würden die Wasserkraftanlagen an der Mittelweser über beträchtliche Zeiten im Alarmbetrieb gefahren und damit Produktionseinbußen erleiden, obwohl gar keine Aalabwanderung stattfindet.

Für den Fall, dass an der Mittelweser künftig ein aalfreundliches Betriebsmanagement der Wasserkraftanlagen auf der Basis eines Frühwarnsystems durchgeführt werden soll, ist der bestehende MIGROMAT® in Wahnhausen an der Fulda somit nicht nutzbar. Vielmehr wäre es nicht nur in Hinblick auf die Zuverlässigkeit der Vorhersage, sondern auch aus wirtschaftlichen Gründen notwendig, die Alarmer an der Mittelweser selbst zu generieren. Hier verteilen sich die bestehenden Wasserkraftanlagen über eine Flussstrecke von mehr als 100 km. Um dennoch eine hohe Präzision der Vorhersage zu erreichen, wären gemäß der Erfahrungen von BRUIJS et al. (2003) an der Maas MIGROMATE® an mindestens zwei Standorten der Mittelweser notwendig.

## **6 AUSBLICK**

Die vorliegende Untersuchung legt detaillierte Befunde zur Aalabwanderung in der Weser vor. Die Wiederfangquote markierter Aale ist deutlich höher als bei vergleichbaren Projekten (SIMON & FLADUNG 2009, KLEIN BRETELER et al. 2007). Insofern bilden die im Rahmen der Freilandarbeiten erzielten Befunde eine vergleichsweise gute Datenbasis zur Quantifizierung der Blankaalabwanderung aus dem betrachteten Weserabschnitt.

Darüber hinaus wurden die Schädigungs- und Mortalitätsrate abwandernder Blankaale an den beiden untersuchten Wasserkraftstandorten bestimmt. Dies erlaubte eine Bilanzierung



des Abwandergeschehens mit Einbeziehung sowohl der turbinen-, als auch der fischereilich bedingten Mortalität. Allerdings stehen diese Befunde unter dem methodischen Vorbehalt, dass lediglich die Fänge von Berufsfischern ausgewertet werden, die bis zu 3,2 km unterhalb der Wasserkraftanlagen erfolgten. Deshalb empfiehlt es sich, eine derartige Untersuchung, methodisch optimiert (s.u.) in einem zweiten Jahr zu wiederholen, wie dies bislang bei allen anderen, vergleichbaren Projekten zur Blankaalabwanderung der Fall war. Ein solches Vorgehen würde wesentlich zur Absicherung der Befunde beitragen und eine Einordnung erlauben, in wie weit die Blankaalabwanderung und -mortalität in der Saison 2008/09 den Normalfall in der Weser repräsentiert, oder davon abweicht. Darüber hinaus wäre es möglich, bei einer Wiederholung mit optimierten methodischen Ansätzen zu arbeiten und damit die Qualität der Daten zu verbessern. Dies betrifft beispielsweise:

- Einsatz von Hamen unmittelbar am Saugschlauch der Kraftwerke, da sich nur auf diese Weise der methodische Fehler quantifizieren lässt, der unvermeidlich durch Einsatz z. T. mehrere Kilometer stromabwärts lokalisierter Schokker und Scherbretthamen entsteht.
- Von besondere Bedeutung wäre hierbei der Standort Petershagen als oberste Staustufe der Mittelweser.
- Längerfristige Hälterung unverletzt erscheinender Tiere zur Ermittlung der verzögerten Mortalität sowie deren Untersuchung auf innere Verletzungen durch Sektion oder Röntgen.
- Erhöhung der Anzahl markierter Aale und Besatz an verschiedenen Stellen zur besseren statistischen Absicherung der Befunde.
- Besatz markierter Aale unterhalb Petershagen und Untersuchung der Mortalität durch Wasserkraft und Fischerei auch am Standort Schlüsselburg

Aktuell steht die fischereiliche Infrastruktur für eine Wiederholung der Untersuchungen noch zur Verfügung und die Fischer zeigen sich zu einer Kooperation bereit. Wie lange diese Voraussetzungen allerdings noch bestehen werden, erscheint vor dem Hintergrund der Entwicklung der Aalbestände in der Weser, bzw. den im Rahmen der EG-Aalschutzverordnung zu ergreifenden Maßnahmen etc. fraglich.

## 7 LITERATUR

- ADAM, B. (2000): MIGROMAT<sup>®</sup> - ein Frühwarnsystem zur Erkennung der Aalabwanderung. - Wasser & Boden 52/4, 16 - 19.
- ADAM, B. (2006): Das Frühwarnsystem MIGROMAT<sup>®</sup> schützt abwandernde Aale (*Anguilla anguilla*) vor Verletzungen durch Wasserkraftanlagen. - Artenschutzreport 19, 13 - 18.
- BERG, R. (1985): Turbinenbedingte Schäden an Fischen. Bericht über Versuche am Laufkraftwerk Neckarzimmern. - Langenargen (Institut für Seenforschung und Fischereiwesen), 25 S.
- BERG, R. (1988): Gutachterliche Stellungnahme zu Fischschäden durch den Betrieb der Wasserkraftanlage "Am letzten Heller". - Langenargen (Institut für Seenforschung und Fischereiwesen), 34 S.
- BRAUER, C. (2007): Auswertung der Schokkerfänge in der Saison 2006/07 im Unterwasser der Staustufe Landesbergen/Weser.
- BRUIJS, M. C. M., H. V. WINTER, U. SCHWEVERS, U. DUMONT et al. (2003): Management of silver eel: Human impact on downstream migrating eel in the river Meuse. - Kema-Report 50180283-KPS/MEC 03-6183, Abschlußbericht des EU-Forschungsprojektes Q5RS-2000-31141, 105 S.
- BÜRGER, F. (1926): Die Fischereiverhältnisse im Bereich der preußischen Rheinprovinz. - Z. Fischerei 24, 217 - 399.
- DURIF, C. (2003): La migration d'avalaison de l'anguille européenne *Anguilla anguilla*: Caractérisation des fractions dévalantes, phénomène de migration et franchissement d'obstacles. - Dissertation, Universität Toulouse, 348 S.
- DURIF, C. M. F. & P. ELIE (2008): Predicting downstream migration of silver eels in a large river catchment based on commercial fishery data. - Fisheries Management and Ecology 15, 127 - 137.
- DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) (2005): DWA-Themen: Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen - Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. - Hennef (DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.), 2. Auflage, 256 S.

- EBEL, G. (2008): turbinenbedingte Schädigung des Aals (*Anguilla anguilla*) - Schädigungsraten an europäischen Wasserkraftanlagenstandorten und Möglichkeiten der Prognose. - Halle/Saale (Mittelungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie Dr. Ebel Heft 3), 176 S.
- GOLLMANN, H. P., E. KAINZ & O. FUCHS (1986): Zur Markierung von Fischen unter besonderer Berücksichtigung der Anwendung von Farbstoffen und Pigmenten, insbesondere von Alcianblau 8 GS. - Österr. Fischerei 39, 340 - 345.
- HART, P. J. B. & T. J. PITCHER (1969): Field trials of fish marking using a jet inoculator. - J. Fish Biol. 1, 383 - 385.
- HOLZNER, M. (1999a): Untersuchungen zur Vermeidung von Fischschäden im Kraftwerksbereich, dargestellt am Kraftwerk Dettelbach am Main / Unterfranken. - SchrR. Landesfischereiverband Bayern 1, 224 S.
- HOLZNER, M. (1999b): Untersuchungen zur Vermeidung von Fischschäden im Kraftwerksbereich dargestellt am Kraftwerk Dettelbach am Main. - Tagungsband 2. Mainsymposium 1999. - Würzburg (Arbeitsgemeinschaft Main e.V.), 46 - 55.
- INSTITUT FÜR NETZFORSCHUNG, HAMBURG (1956): Scherbretthamen Unterweser. - Fischwirt 6, 341 - 342.
- KLEIN BRETELER, J., T. VRIESE, J. BORCHERDING, A. BREUKELAAR, L. JÖRGENSEN, S. STAAS, G. DE LAAK & D. INGENDAHL (2007): Assessment of population size and migration routes of silver eel in the River Rhine based on a 2-year combined mark-recapture and telemetry study. - ICES J. Mar. Sci. Advance Access, 5. 9. 2007, 1 - 7.
- KLUST, G. (1956): Der KÖTHKEsche Scherbretthamen. - Fischwirt 6, 251 - 256.
- LAGARRIGUE, T., B. VOEGTLE & J. M. LASCAUX (2008): Test d'évaluation des dommages subis par les salmonidés et des anguilles en dévalaison lors de leur transit à travers le turbogénérateur VHL - Tests avec des anguilles argentées. - Pins-Justaret (ECOGEA), 25 S.
- LARINIER, M. & J. DARTIGUELONGUE (1989): La circulation des poissons migrateurs et transit à travers les turbines des installations hydroélectriques. - Bull. Fr. Pêche Piscic. 312/313, 90 S.

- LAVES et al. (2008): Aalbewirtschaftungsplan für das Flusseinzugsgebiet der Weser. - Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit - Dez. Binnenfischerei (Hannover), Der Senator für Wirtschaft und Häfen (Bremen), Regierungspräsidium Kassel - Dez. Landwirtschaft und Fischerei, Bezirksregierung Detmold - Dez. Landschaft und Fischerei, Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei - Ref. 22 (Gotha), Landesverwaltungsamt - Ref. Agrarwirtschaft, Ländliche Räume, Fischerei (Halle//Saale), Hannover, 28 S.
- LUNDBECK, J. (1927): Untersuchungen über die Beschädigung von Fischen, besonders Aalen, in den Turbinen des Kraftwerks Friedland (Opr.). - Z. Fischerei 25, 439 - 465.
- MANN, H. (1965): Ergebnisse der Aalmarkierungen in der Elbe im Jahr 1963. - Fischwirt 15, 1 - 7.
- MONTÉN, E. (1985): Fish and Turbines - Fish injuries during passage through power station turbines. - Stockholm (Vattenfall), 111 S.
- NLWKN (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2006): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch Weser- und Emsgebiet 2003. - Norden (NLWK).
- PÖHLER, F. (2006): Erfahrungen mit dem aalschonenden Betriebsmanagement einer Wasserkraftanlage. - DWA-Themen: Durchgängigkeit von Gewässern für die aquatische Fauna, 116 - 122.
- RABEN, K. von (1957): Über Turbinen und ihre schädliche Wirkung auf Fische. - Z. Fischerei NF. 6, 171 - 182.
- RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (2007): Verordnung (EG) Nr. 1100/2007 des Rates vom 18. September 2007 mit Maßnahmen zur Wiederauffüllung des Bestands des Europäischen Aals. - Amtsblatt der Europäischen Union DE L 248/17 - 23 vom 22. 09. 2007.
- RATHCKE, P. C. (2000): Untersuchung über turbinenbedingte Schäden an Aalen im Kraftwerk Landesbergen (Weser) - Fortführung der Untersuchung aus dem Jahr 1996. - Wedel (Fischereiwissenschaftlicher Untersuchungs-Dienst P.-C. Rathcke), im Auftrag des Nieders. LA f. Ökologie, 14 S.

- SCHWEVERS, U. & B. ADAM (1997): Erfolgskontrolle von Besatzmaßnahmen mit Lachsen und Meerforellen im rheinland-pfälzischen Abschnitt des Gewässersystems der Lahn, Abschlußbericht der 1. Phase, 1994/96. - Kirtorf-Wahlen (Institut für angewandte Ökologie), im Auftrag der Bezirksregierung Koblenz, 101 S.
- SIMON, J. & E. FLADUNG (2009): Untersuchungen zur Blankaalabwanderung aus Oberhavel, Rhin und Mittelelbe. - Fischer & Teichwirt 60, 288 - 289.
- TESCH, F. W. (1983): Der Aal - Biologie und Fischerei. - Hamburg (Verlag Paul Parey) 2. Auflage, 340 S.
- TÖNSMANN, F. (Hrsg.) (1995): Zur Geschichte der Wasserstraßen insbesondere in Nordhessen. - Kasseler Wasserbau-Mitteilungen 4, 288 S..
- TRAVADE, F., J. DARTIGUELONGUE & M. LARINIER (1987): Dévalaison et franchissement des turbines et ouvrages énergétiques: l'expérience EDF. - La Houille Blanche 1/2, 124 - 133.
- TURNPENNY, A. W. H., S. CLOUGH, K. P. HANSON, R. RAMSAY & D. MCEWAN (2000): Risk assessment for fish passage through small, low-head turbines. - London (Crown Coypright), 41 S.
- WSV (Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes) (1999): Planfeststellungsverfahren für die Anpassung der Mittelweser an den Verkehr mit auf 2,50 m abgeladenen 1350-t-Schiffen und den Verkehr von Großmotorgüterschiffen mit Begegnungs- und Abladebeschränkungen, Weser-km 252,600 bis 354,190. - Erläuterungsbericht, 25 S. Planfeststellungsunterlagen (25. Ausfertigung)