

Ausbreitungsdynamik von Gelb- und Blankaalen zwecks Optimierung des Aalschutzes an Wasserkraftstandorten

- Projekt-Kennnummer AZ 37463/01



Endbericht

zur Vorlage bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt e.V.

Dr. Beate Adam, Christian Becker & Sven Mögeltönder-Löwenberg

Institut für angewandte Ökologie GmbH

Neustädter Weg25

36320 Kirtorf-Wahlen

info@ifoe.eu

15. September 2024

GLIEDERUNG DES ENDBERICHTS

Projektkennblatt	0
1 Veranlassung	1
2 Einführung.....	2
2.1 Die Farben der Aale	2
2.2 Einführung in die Farblehre	3
2.2.1 Optische Wahrnehmung von Farben durch das menschliche Auge.....	3
2.2.2 Physikalische Farbmessung	5
3 METHODEN.....	8
3.1 Physikalisch-objektive Farbmessungen	8
3.2 Optisch-subjektive Farbeinschätzung mittels Farbfächer.....	9
3.3 Generelles Vorgehen für die Untersuchung von Aalen	10
3.3.1 Individuelle Markierung der Aale	12
3.3.2 Protokollierung individueller phänotypischer Merkmale.....	13
4 Befunde.....	17
4.1 Datenbestand	17
4.2 Abwanderverhalten	17
4.3 Phänotypische Merkmale zur Unterscheidung von Gelb- und Blankaalen	19
4.3.1 Totallänge	19
4.3.2 Körperproportionen.....	21
4.3.3 Korpulenzfaktor [KF]	24
4.3.4 Länge der Brustflossen und Brustflossenindex [BrFil].....	25
4.3.5 Augendurchmesser und Okularindex [OI].....	27
4.3.6 Neuromasten	30
4.4 Farben der Aale.....	31
4.4.1 Kontrast.....	31
4.4.2 Optisch-subjektive Farbeinschätzungen.....	33

4.4.3 Physikalisch-objektive Farbmessungen.....	35
4.5 Stabilität bzw. Reversibilität der Färbung von Aalen	39
4.6 Erkenntnisse jenseits den Fragestellungen des DBU-ProjektS	43
4.6.1 Aktivität von Aalen übers Jahr	43
4.6.2 Überlebenschancen abwandernder Aale in Lahn.....	44
4.6.3 Besatzflucht	44
5 Zusammenfassung der Befunde.....	45
6 Konsequenzen für den Betrieb des Frühwarnsystem MIGROMAT®	47
7 Literatur	48
Anhang I - Protokolle der phänotypischen Merkmale von 162 besenderten Aalen	50
Anhang II - Liste aller für das DBU-Projekt besenderten Aale sowie die von den DBU- Hydrophonendetektierten Aale	56

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	37463	Referat	Fördersumme	250.654 €
Antragstitel	Ausbreitungsdynamik von Gelb- und Blankaalen zwecks Optimierung des Aalschutzes an Wasserkraftstandorten			
Stichworte	Differenzierung von Gelb- und Blankaal, phänotypische Merkmale und Färbung von Aalen, Wanderverhalten, Optimierung des Frühwarnsystems MIGROMAT®			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)	
36 Monate	29. 06. 2021	28. 06. 2024	1	
Zwischenberichte	01	13. 12. 2021	2	
	02	20. 05. 2023	3	
Endbericht	03	15. 09. 2024		
Bewilligungsempfänger	Institut für angewandte Ökologie GmbH Neustädter Weg 25 36320 Kirtorf-Wahlen	Tel.	06692 / 6044	
		Fax	06692 / 6045	
		Projektleitung	Dr. Beate Adam	
		Bearbeiter	Dr. Beate Adam, Christan Becker, Florian Dersch & Sven Mögeltönder Löwenberg	
Kooperationspartner	keiner			

ENDBERICHT

Anlass und Ziele des Vorhabens

Um abwandernde Aale vor einer durch Wasserkraftwerke verursachten Mortalität schützen zu können, ist es erforderlich zu wissen, ob nur Blankaale ein katadromes Migrationsverhalten aus den Flüssen des Binnenlandes ins Meer haben, oder ob auch das bisher als standorttreu bezeichnete, jüngere Entwicklungsstadium des Gelbaals abwandert. Folgende Fragen sollen anhand von Freilanduntersuchen beantwortet werden:

- Lassen sich die Entwicklungsstadien des Gelb- und Blankaals anhand phänotypischer Merkmale, insbesondere ihrer Färbung verlässlich differenzieren?
- Ist die Umfärbung vom Gelb- zum Blankaal stabil oder reversibel?
- Korrelieren die Färbung und andere phänotypische Merkmale mit einem stationären, resp. Abwanderverhalten, d. h. sind Gelbaale tatsächlich stationär und Blankaale mobil?
- Welche Verbesserungsmöglichkeiten ergeben sich aus den gewonnenen Erkenntnissen u. a. für den Betrieb des Frühwarnsystems MIGROMAT®?

Angewandte Methoden

Die Fragestellungen wurden mittels zweier methodischer Ansätze bearbeitet, wobei soweit wie möglich auch Daten und Informationen aus dem zeitgleich im hessischen Lahnabschnitt laufenden telemetrischen EU-Projekt „Living Lahn - ein Fluss, viele Ansprüche“ (Projektkennz: LIFE14IPE/DE/022) in den ausgewerteten Datenpool eingeflossen sind:

1. Das Ausbreitungs- bzw. Wanderverhalten von Aalen wurde mittels akustischer Telemetrie im ca. 70 km langen Unterlauf der rheinland-pfälzischen Lahn untersucht. Hierfür wurden die phänotypischen Merkmale und das Bewegungsverhalten von 162 Aalen aufgenommen, die individuell besendert und wieder in der Lahn freigelassen worden sind. Zu den aufgenommenen phänotypischen Merkmalen zählten die optisch-subjektive Einschätzungen sowie die physikalisch-objektive Messungen der Färbung sowie der

Kontrast zwischen Rücken- und Bauch, die Totallänge, der Korpulenzfaktor, verschiedene Körperproportionen, die Länge der Brustflossen und der Brustflossenindex, der Durchmesser der Augen und der Okularindex sowie schließlich die Erkennbarkeit von Neuromasten entlang der Seitenlinie.

2. Anhand der individuellen Bewegungsmuster und den phänotypischen Merkmalen des jeweiligen Aals wurde ausgewertet, ob bzw. welche Farben und äußerlich erkennbaren Charakteristika insbesondere für angeblich abwanderwillige Blankaale zutreffen.
2. Zudem wurden viele der phänotypischen Merkmale an 780 Indikatoraaalen zu Beginn und am Ende der 7-monatigen Betriebssaison von 10 MIGROMATEN[®] erhoben. Es galt zu klären, ob die Färbung vom Gelbaal über ein intermediär gefärbtes Entwicklungsstadium zum Blankaal stabil oder aber reversibel ist.

Ergebnisse

Die Auswertungen und Analysen haben eine Fülle wirklich neuer Erkenntnisse zur Biologie des Aals und seines Abwanderungsverhaltens erbracht:

- Unter allen in der Literatur beschriebenen und im Rahmen des vorliegenden Projekts untersuchten phänotypischen Merkmalen hat sich nur die Präsenz von Neuromasten in Form schwarzer Punkte entlang der Seitenlinie als gut erkennbares und einigermaßen verlässliches Merkmal für Blankaale erwiesen.
- Die Farbpigmente in der Haut von Aalen bestehen gemäß dem Spektrum im CMYK-Farbraum aus gelb (Y) mit etwas beigemischtem magenta (M) und schwarz (K).
- Gelbaale weisen einen gelb-Anteil (Y) von bis zu 37 % und einen schwarz-Anteil (K) von unter 20 % auf, Blankaale hingegen haben einen messbaren gelb-Anteil (Y) von weniger als 16 % und Null Anteil an schwarz (K). Alle Aale mit dazwischen liegenden Farbanteilen sind als „intermediär gefärbt“ anzusprechen. Allerdings ist die Differenzierung der Entwicklungsstadien Gelb- und Blankaal mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.
- 19,5 % der Blankaale die 7 Monate gehältert wurden, haben wieder eine intermediäre Färbung angenommen. Hingegen haben sich nur 3 von 730 der blanken Indikatoraaalen wieder gelb zurückgefärbt. Damit ist die Färbung eines „echten“ Blankaals als relativ stabil zu betrachten.
- Der im Rahmen des vorliegenden Projekts entwickelte robuste Farbfächer hat sich als gut anwendbares Hilfsmittel für die Freilandarbeit erwiesen. Damit lassen sich die optisch-subjektiven Farbeinschätzungen mehrere Bearbeiter miteinander abgleichen und vergleichsweise verlässlichen Einschätzungen der Färbung von Aalen erzielen. Blankaale entsprechen dabei den Farbcodes SO14.05 und SO14.06.
- Auf Abwanderer in der Lahn entfielen etwa 85 % der zuvor als Blankaale angesprochenen Exemplare, die die o. g. phänotypischen Merkmale aufwiesen.
- Allerdings haben die telemetrischen Befunde auch gezeigt, dass zwar viele der phänotypisch als Blankaal angesprochenen Exemplare, aber keineswegs alle, stromabwärts wandern.
- Abwanderung findet keineswegs wie fischereilich tradiert beschrieben, nur im 4. Quartal eines Jahres statt, sondern auch im 2. Quartal von April bis Juni.
- Schließlich bleibt festzustellen, dass nur 1 % der besenderten Aale die Passage von 17 Wehrstandorten mit Wasserkraftnutzung bis zur Mündung überlebt hat
- Ferner hat sich gezeigt, dass die Besatzflucht ein methodisches Problem telemetrischer Untersuchungen darstellt, dass bisher nicht erkannt und bei der Auswertung von Bewegungsaufzeichnungen berücksichtigt wurde.

Konsequenzen in Hinblick auf eine optimierte Anwendung des Frühwarnsystems MIGROMAT®

Aus den Befunden haben sich folgende praxisrelevante Ansätze für den Einsatz des Frühwarnsystems MIGROMAT® ergeben:

- Als Indikatoren sollten Individuen mit folgenden phänotypischen Merkmalen zum Einsatz kommen: Totallänge mindestens 50 cm, Bauchseite weiß-silbrig gefärbt (d .h. gelb-Anteil unter 16 % bei fehlendem schwarz-Anteil oder entsprechend den Farbcodes SO14.05 und SO14.06 des Farbfächers) sowie mit Neuromasten, die als gut sichtbare schwarze Punkte auf der Seitenlinie angeordnet sind.
- Die Betriebssaison eines MIGROMAT® sollte von Anfang April bis Ende März verlängert werden (bisher von Juli bis Ende Februar).

1 VERANLASSUNG

Die Bestände des Europäischen Aals (*Anguilla anguilla*) sind im Verlauf der vergangenen Dekaden so stark eingebrochen, dass sie sich aktuell außerhalb sicherer biologischer Grenzen bewegen. Deshalb werden von der Europäischen Aalschutzverordnung von den Mitgliedsstaaten Maßnahmen gefordert, damit es mindestens 40 % der Aale gelingt, aus dem Binnenland zur Reproduktion ins Meer abzuwandern. Daraus folgt, dass geeignete Maßnahmen für diese als „Blankaale“ bezeichneten Migrationsstadien vor einer Schädigung durch Wasserkraftwerke zu ergreifen sind, z. B. mit Hilfe eines aalschützenden Betriebsmanagements auf der Basis von Alarmen des Frühwarnsystems MIGROMAT® (DBU-Projekt Az 17627). Jüngste Erkenntnisse u. a. aus „Fish Trek: Ein öffentliches Melderegister mit Datenbank zur Identifikation individuell markierter Fische“ (DBU-Projekt Az 36055) unterstreichen nun allerdings Zweifel an der fischereiwissenschaftlich tradierten und selbst in neueren Publikationen wiederholte Vorstellungen (www.fischlexikon.eu, TESCH 1983, ACOU et al. 2005, DURIF et al. 2005, 2009), dass es sich nur bei Blankaalen um das abwanderbereite Entwicklungsstadium handelt. Im Gegensatz dazu würden sich die jüngeren, aufgrund ihrer Färbung als Gelbaal bezeichneten Stadien, standorttreu verhalten und damit einem geringeren Risiko unterliegen, an den Einlaufrechen in Wasserkraftwerke und in deren Turbinen verletzt und getötet zu werden.

Vor diesem Hintergrund gilt es mit Hilfe des vorliegenden bis Juli 2024 laufenden DBU-Projekts Freilanduntersuchungen zur Beantwortung folgender Fragen durchzuführen:

1. Lassen sich die Entwicklungsstadien von Gelb- und Blankaal anhand ihrer der Färbung zuverlässig voneinander unterscheiden?
2. Ist die Umfärbung vom Gelb- zum Blankaal stabil oder aber reversibel?
3. Korreliert die Färbung mit einem Abwanderverhalten der Aale, d. h. sind Gelbaale tatsächlich stationär und Blankaale mobil?
4. Welche Verbesserungsmöglichkeiten ergeben sich aus den gewonnenen Erkenntnissen für den Betrieb des Frühwarnsystems MIGROMAT®, z. B. bezüglich der Betriebsdauer pro Saison oder der Verwendung von Indikатораalen mit speziellen Charakteristika?

2 EINFÜHRUNG

2.1 DIE FARBEN DER AALE

Gemäß der tradierten fischereilichen Behauptungen verhalten sich Aale während ihrer 8 bis 15 Jahre dauernden Wachstumsphase im Süßwasser mehr oder weniger standorttreu. Danach durchlaufen sie eine Metamorphose zum katadromen Wanderstadium, um zur Fortpflanzung aus den Flüssen des Binnenlandes ab-, bis in die Sargasso-See vor der Südost Küste Amerikas zu wandern.

Phänotypisch wird die Unterscheidung der beiden Entwicklungsstadien primär an ihrer Färbung festgemacht: Das Fressstadium wird aufgrund seiner olivgrün-gelblichen Bauchunterseite als Gelbaal bezeichnet und dem weiß-silbrig gefärbten Wanderstadium, dem Blankaal (engl. „silver eel“) gegenübergestellt (Abb. 1, TESCH 1983, www.fischlexikon.eu).



Gelbaal (Quelle: www.anglerboard.de)



Blankaal (Quelle: www.pivi.de)

Abb. 1: Gelb- (links) und Blankaal (rechts) im Vergleich

Diese äußerliche farbliche Unterscheidung von stationären und wanderwilligen Aalen ist allerdings gemäß jüngster Erkenntnisse aus dem DBU-Projekt „Fish Trek“ (Az. 36055) in Frage zu stellen: So wurde beispielsweise am 01. März 2012 im Unterwasser der Staustufe Langwedel in der Weser ein 77 cm langer Blankaal entlassen, der zuvor mit einem RFID Transponder (PIT-Tag) individuell markiert worden war. Dieses Exemplar wurde erst 8 Jahre danach am 10. Juni 2020 und nur 87 km stromabwärts von einem Angler wieder gefangen. Anhand des PIT-Tags konnte der Aal eindeutig individuell identifiziert werden: Der Fisch war aufgrund seiner Totallänge und Färbung bei seiner Freilassung im Fluss unbedingt als abwanderbereiter Blankaal anzusprechen gewesen. Dennoch ist der Fisch entgegen dem einschlägigen fischereilichen Erfahrungswissen nicht ins Meer abgewandert, sondern noch

viele Jahre im Fluss verblieben. Über dieses Einzelschicksal hinaus liegen aus dem Projekt „Fish Trek“ weitere 36 Rückmeldungen von individuell markierten Blankaalen aus der Fulda vor, die ebenfalls nach ihrer Entlassung bis zu 4 Jahre lang kein Abwanderverhalten gezeigt haben (Abb. 2). Solche Beobachtungen waren unter anderem Auslöser für die vorliegende Untersuchung.

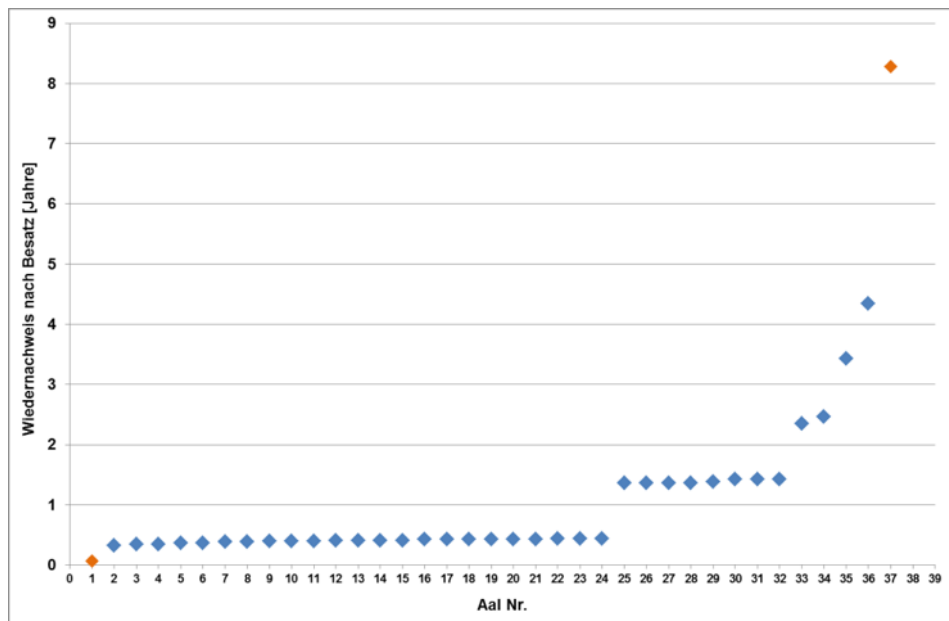


Abb. 2: Wiedernachweise individuell markierter „Blankaale“ nach ihrer Freilassung in der Fulda (blaue Punkte) und in der Weser (orange Punkte)

2.2 EINFÜHRUNG IN DIE FARBLEHRE

Die Bestimmung und Benennung von Farben im für den Mensch sichtbaren Spektralbereich ist nicht trivial. Es muss hierbei zwischen einer optisch-subjektiven Wahrnehmung von Farben durch einen Betrachter und physikalisch-objektiven Farbmessungen mit einem kalibrierten Sensor unterschieden werden.

2.2.1 Optische Wahrnehmung von Farben durch das menschliche Auge

Die Wahrnehmung von Farben im Spektrum von Wellenlängen zwischen 400 bis 700 nm, erfolgt mittels dreier Typen von Zapfen in der Retina des menschlichen Auges: Der L-Typ absorbiert Licht im roten Spektralbereich, der M-Typ im grünen und der S-Typ im blauen. Eine Ausnahme von diesem trichromatischen Farbsehen stellt die Tetrachromasie dar, über die nur schätzungsweise 1 % der Frauen, u. a. auch die Leiterin des vorliegenden Projekts Frau Dr. Adam verfügen: Aufgrund einer Genmutation auf dem zweiten X-Chromosom

besitzen Tetrachromatinnen einen vierten Zapfentyp mit einer Sensibilität im Spektrum gelb-orange. Solche Frauen können anstatt 1 Million etwa 100 Millionen Farbtöne unterscheiden (JAMESON et al. 2020).

Das Sehen von Farben unterliegt aber nicht nur der Fähigkeit der Sinneszapfen im Auge Wellenlängen des Lichtes wahrzunehmen. Einfluss nimmt darüber hinaus auch die Verschaltung der ans Gehirn weiter geleiteten Farbinformationen sowie nicht zuletzt die subjektive Interpretation durch den Betrachter und dessen mehr oder weniger stark ausgeprägte Sensibilität. Darüber hinaus bedarf es in der Regel eines bewussten Trainings von Auge und Gehirn, um Farben differenzieren und bezeichnen zu können. In diesem Kontext ist es nicht unerheblich, dass etwa 10 % der Männer eine genetisch oder neuronal bedingte Fehlsichtigkeit aufweisen, während dies bei Frauen weniger als 1 % betrifft. Eine Dyschromatopsie, wie die rot-grün Blindheit, schränkt die Farbwahrnehmung des Betrachters ein oder/und lässt ihn lediglich Helligkeitskontraste erkennen.

Die Schwierigkeit von Untersuchungen zur Wahrnehmung und Wahrnehmungsfähigkeit des Menschen besteht auch darin, dass das Vokabular der Sprache oft zu unpräzise oder gar unzutreffend ist, um einer zweiten Person farbliche Eindrücke beschreiben und damit nachvollziehbar machen zu können. Dies betrifft im Übrigen nicht nur das Farbsehen, sondern auch andere Sinnesleistungen wie das Riechen und Schmecken.

Vor diesem Hintergrund kann z. B. die Färbung eines Gelbaals von einer normal farbsichtigen Person völlig anders wahrgenommen werden, als beispielsweise von einer Tetrachromantin. Noch weitaus schwieriger ist es, eine zutreffende Ansprache und Beschreibung von nicht-Farben wie „schwarz“ und „weiß“ vorzunehmen, insbesondere wenn der Farbton metallisch irrisiert, also beispielsweise „silber-“ oder „bronzefarben“ erscheint.

Bereits im Jahr 1927 wurde das RAL-System (ReichsAusschuss für Lieferbedingungen) entwickelt, um Farbtöne normiert festzulegen und sprachlich zu benennen. Die aktuelle, international gültige RAL-Farbkarte umfasst 1.625 Farbtöne, wobei unter den Oberbegriff „gelb“ 30 Farbtöne entfallen, auf „braun“ 20 und auf „schwarz“ und „weiß“ 14 (Abb. 3). Das RAL-System wurde allerdings noch nie für die Definition oder Normierung der Färbung von Aalen genutzt. Dies wäre allerdings auch nur bedingt hilfreich, denn die Bandbreite der bei Aalen vorkommenden Farbtöne ist um ein Vielfaches differenzierter, als die Abstufung der Farbtöne des RAL-Farbsystems.

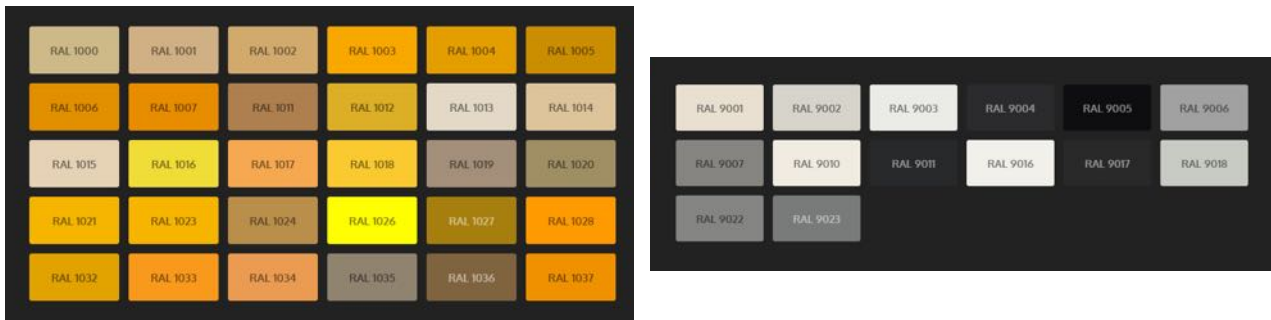


Abb. 3: Beispiele für die RAL-Farbtöne „gelb“ (links) sowie „schwarz“ und „weiß“ (rechts)

2.2.2 Physikalische Farbmessung

Um Farben objektiv bestimmen zu können, bedarf es physikalischer Lichtmessgeräte, d. h. Spektrometer. Deren Sensoren messen Farbwerte, die innerhalb wissenschaftlich definierter, sogenannter Farbräume liegen. Es bestehen ganz unterschiedliche Anforderungen an die Nutzung und Darstellung von Farben, z. B. bei der Speicherung von Digitalfotos, als Lichtfarben auf Bildschirmen oder für bildgebende Technologien. Völlig anders sind die Anforderungen bei Druckverfahren, bei der Mischung von strukturellen Farben, wie Dispersionsfarben etc. Deshalb wurden im Laufe der Zeit verschiedene Farbräume entwickelt. Da alle diese Farbräume eine physikalische Basis haben, lassen sich die Farbwerte eines jeden Farbraums in die Farbwerte aller anderen, physikalisch basierten Farbräume umrechnen. Die bei der Umrechnung entstehenden Ungenauigkeiten drücken sich zwar in den Zahlenwerten aus, liegen aber weit unterhalb der Wahrnehmungsschwelle des Auges normalsichtiger Personen.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde mit den Farbräumen L^{*}ab, CMYK und RGB gearbeitet, weshalb diese nachfolgend kurz beschrieben werden.

2.2.2.1 Farbraum L^{*}ab

Der Messsensor des für die vorliegende Untersuchungen eingesetzten Spektrometers MINOLTA CR-300 verwendet eine gepulste Xenon Arc Lampe. Für eine Messung wird der Sensor auf die zu messende Fläche aufgesetzt, woraufhin die Lampe einen Lichtstrahl aussendet, der von einem 8 mm² großen Messareal reflektiert wird. Das reflektierte Lichtwellenspektrum wird vom Messgerät gemäß der Drei-Farben-theorie von YOUNG-HELMHOLTZ im L^{*}ab-Farbraum analysiert und die drei ermittelten Farbwerte der gemessenen Farbe werden ausgegeben (Abb. 4).

Im L*a*b-Farbraum sind Farben so definiert, wie sie vom Auge eines Normalbetrachters unter standardisierten Lichtbedingungen wahrgenommen werden (Norm: EN ISO 11664-4 „Colorimetry - Part 4: CIE 1976 L*a*b Colour space“).

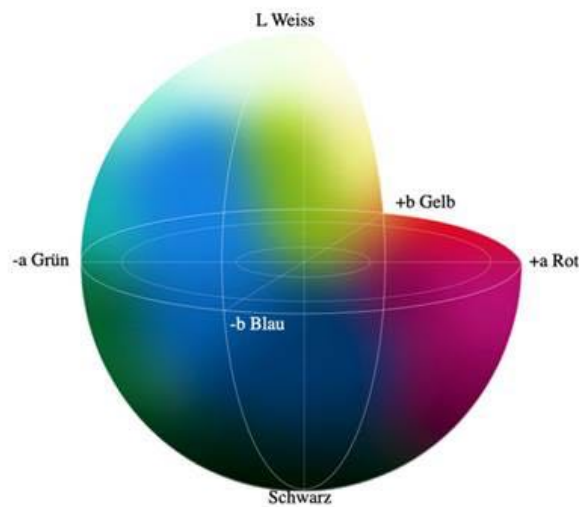


Abb. 4: Farbraum L*a*b (Quelle: www.Wisotop.de)

2.2.2.2 Farbraum CMYK

Der Farbraum CMYK bildet die Grundlage für den Druck von Farben. Durch das Mischungsverhältnis der vier Grundfarbtöne „cyan“ (C), „magenta“ (M), „yellow“ (Y) und „schwarz“ (K) kann jede druckbare Farbe erzeugt werden (Abb. 5). Hierbei wird für die Sättigung der Grundfarben jeweils ein Wert zwischen 0 % und 100 % angegeben

Sind im vorliegenden Berichtsausdruck also Farben dargestellt, basieren diese auf den Farbwerten im CMYK-System.

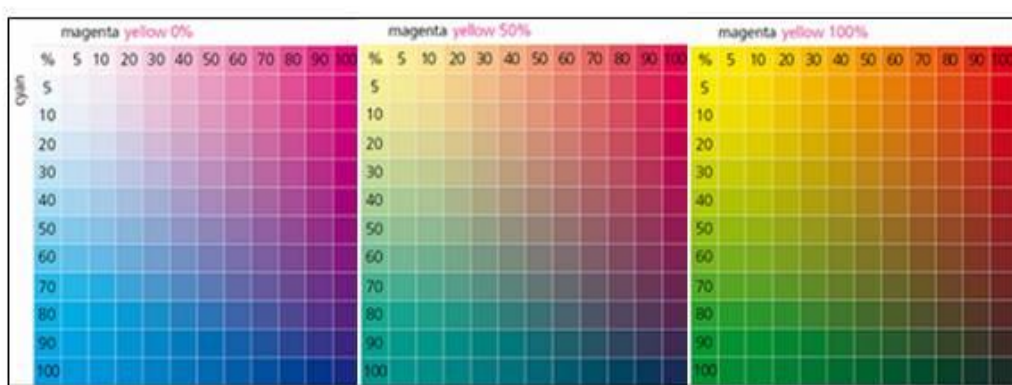


Abb. 5: Beispiel dreier Farbtabelle für Druckfarben, basierend auf dem CMYK-Farbraum (verändert nach: www.DruckDiscount24.de)

Das CMYK-System bietet gegenüber anderen Farbräumen den Vorteil, dass sich Farbtöne gemäß dem Anteil ihrer Grundfarben gruppieren und so miteinander vergleichen lassen (Tab. 1). Beispielsweise fehlt im gelben Farbspektrum von Aalen in der Regel ein „cyan“-Anteil, während im silbrigen Farbspektrum kaum „magenta“ enthalten ist.

Mit einem Software-Tool auf der Website <http://colormine.org> lässt sich die Umrechnung von L*ab- in CMYK-Werte und umgekehrt bewerkstelligen. Der Faktor K des CMYK-Farbraums entspricht dabei weitgehend dem Faktor L, für Helligkeit im L*ab-Farbraum.

Tab. 1: Beispiele für die Farbwerte einiger Aal-Farben nach CMYK und L*ab System

Farbton	Farbraum				L*ab		
	C	M	Y	K			
	0	31,6	85,5	1,6	75,7	20,4	73,5
	0	20,4	72,2	10,2	75,0	7,6	68,6
	0	9,0	71,4	11,7	81,0	-7,1	74,2
	0	7,5	17,3	37,3	59,6	3,5	15,6
	0	6,3	33,7	62,8	34,1	-0,6	39,1
	0	2,4	22,0	78,0	20,4	-3,8	30,7
	0	0,1	0,4	0,3	65,1	0,5	25,9
	9,0	3,9	7,5	67,5	29,7	-7,2	3,3
	5,1	0	5,1	49,0	53,0	-7,2	4,9
	5,1	0	5,5	24,7	76,5	-7,2	4,9
	5,5	0	13,3	1,6	96,8	-10,0	13,9

2.2.2.3 Farbraum RGB

Dieser auf den drei Grundfarben „rot“ (R), „grün“ (G) und „blau“ (B) basierende Farbraum ist der bekannteste, weil er auf Bildschirmen dargestellte oder projizierte Lichtfarben definiert. So können beispielsweise in Textverarbeitungs- und Tabellenkalkulationsprogrammen für Schrift und Hintergrund gewünschte Farben in Form von RGB-Farbwerten festgelegt werden (für jede Grundfarbe einen Wert zwischen 1 und 255; Abb. 6). Eine Umrechnung von CMYK- in RGB-Werte und umgekehrt lässt sich u. a. mit Programmen auf folgenden Internetseiten einfach bewerkstelligen: www.farb-tabelle.de und www.farbtabelle.at sowie vor allem www.easyrgb.com, das auch eine Umrechnung in L*ab Werte erlaubt.

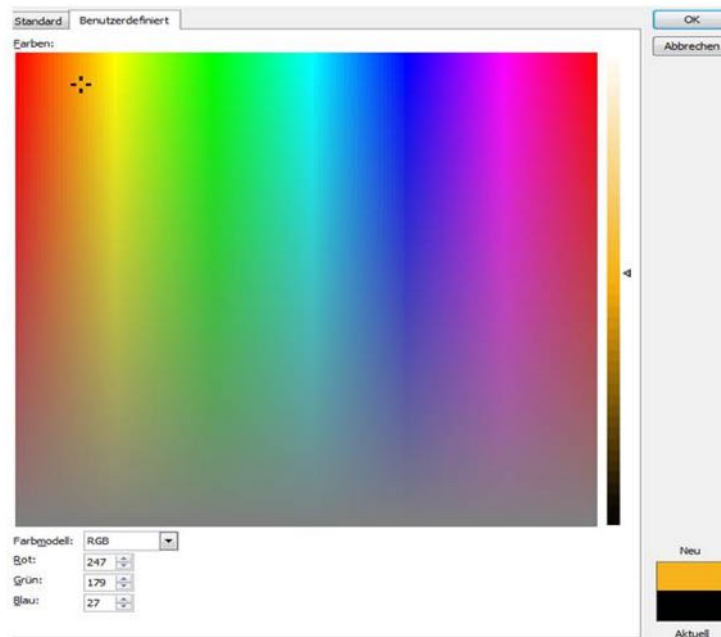


Abb. 6: Farbraum RGB (Quelle: MICROSOFT WORD)

3 METHODEN

3.1 PHYSIKALISCH-OBJEKTIVE FARBMESSUNGEN

Im Rahmen der Besenderung von 162 Aalen im Herbst 2021 und auch der Markierung von Indikatoraaalen für die MIGROMATE® mit jeweils einem PIT-Tag in jedem Sommer, wurde deren Körperfärbung spektrometrisch als L^*ab -Werte gemessen. Dies erfolgte an den sedierten und damit immobilisierten Aalen sowohl dorsal im vorderen Körperdrittel bis zum Ansatz der Rückenflosse, als auch auf der Bauchseite (Abb. 7). Die auf dem Display des Spektrometers angezeigten L^*ab -Werte wurden in das Stammdaten-Protokoll des jeweiligen Individuums eingetragen.

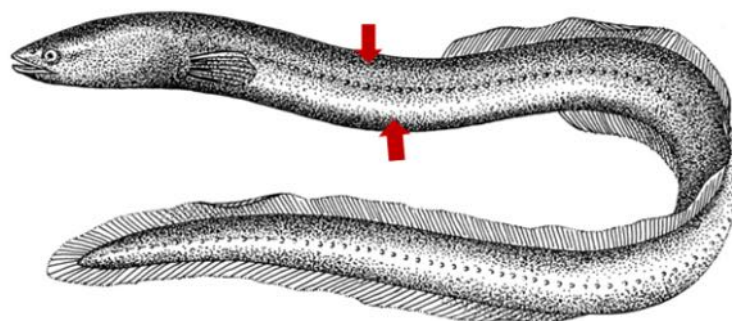


Abb. 7: Positionen für spektrometrischen Farbmessungen

Zurück aus dem Feld wurden die L*ab-Werte mit Hilfe des professionellen Graphikprogramms DESIGNER SCOPE Victor 2020.18.64 in CMYK- und RGB-Werte umgerechnet (Abb. 8). Vor allem die CMYK-Werte wurden dann in den späteren Analysen dazu verwendet, diese mit den anderen phänotypischen Merkmalen des jeweiligen Aalindividuums zu verknüpfen.

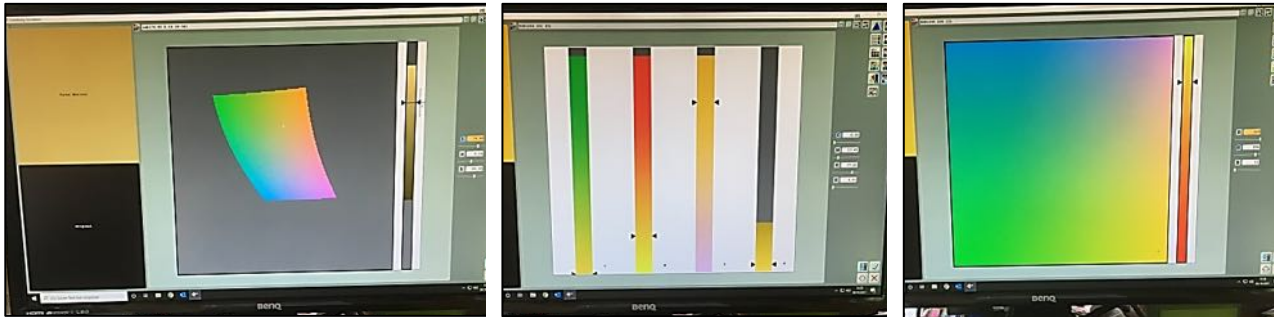


Abb. 8: Darstellung desselben Farbtons in verschiedenen Farbräumen mit Hilfe einer speziellen Graphiksoftware der Brokatweberei Egelkraut: L*ab (links), CMYK (Mitte) und RGB (rechts)

3.2 OPTISCH-SUBJEKTIVE FARBEINSCHÄTZUNG MITTELS FARBFÄCHER

Da es unter Feldbedingungen oft nicht ratsam ist, ein Spektrometer mitzuführen, da sich diese Geräte als sehr empfindlich gegenüber Feuchtigkeit erwiesen haben, wurde auf der Grundlage der bei Aalen spektrometrisch gemessenen L*ab-, CMYK- und RGB-Werte ein einfacher, aber für Felduntersuchungen geeigneter und sehr robuster Farbfächer aus wasserabweisend beschichtetem Papier konzipiert (Abb. 9). Die für den Farbfächer verwendeten Farbmusterstreifen dienten originär der Farbauswahl von Dispersionsfarben der Hausmarke „RENOVA“ der Baumarktkette HAGEBAU. Ein solcher Farbfächer hat sich als außerordentlich hilfreich erwiesen, um die optisch-subjektive Einschätzung mehrerer Bearbeiter abzugleichen und so ein einheitlicheres Ergebnis zu erzielen.



Abb. 9: Farbfächer zur Bestimmung der Farben von Aalen

3.3 GENERELLES VORGEHEN FÜR DIE UNTERSUCHUNG VON AALEN

Im Rahmen der Felduntersuchungen an der Lahn für das vorliegende Projekt wurden die telemetrisch zu besendernden Aale mit einem Mindestmaß von 50 cm Totallänge per Elektrofang dem rheinland-pfälzischen Abschnitt der Lahn entnommen und in eine mobile Hälterung überführt. Nach der individuellen Markierung von insgesamt 162 Aalen mit je einem telemetrischen Sender (siehe unten) wurden die Fische am stromaufwärtigsten Punkt des Untersuchungsgebietes (Abb. 10), d.h. im Oberwasser der Staustufe Hollerich wieder in die Lahn entlassen. Im Ober- und Unterwasser der 7 folgenden Staustufen in dem ca. 70 km langen rheinland-pfälzischen Unterlauf der Lahn bis zur Mündung in den Rhein waren insgesamt 14 Hydrophone exponiert:

Staustufe
Hollerich
Nassau
Dausenau
Fachbach
Nievern
Ahl
Lahnstein

Diese Empfänger haben etwa drei Jahre lang rund um die Uhr das Abwanderverhalten besenderter Aale zeitlich und räumlich aufgezeichnet.



Abb. 10: Untersuchungsgebiet im rheinland-pfälzischen Abschnitt der Lahn; der rote Punkt ist der Besatzort, an dem die telemetrisch besenderten Aale in den Fluss entlassen wurden; markiert mit roter Schrift sind zudem die 7 Staustufen, an denen jeweils im Ober- und Unterwasser ein Hydrophon positioniert war

Analog wurde mit den für eine jede Betriebssaison jeweils 60 benötigten Indikatoraale für jeden der 10 eingesetzten, als MIGROMATE® bezeichneten Frühwarnsysteme verfahren. Der Unterschied bestand lediglich darin, dass diese Aale stets aus dem Fluss stammten, an dem das Frühwarnsystem eingesetzt war:

Fluss	MIGROMAT®-Standort am Wasserkraftwerk
Regnitz	Hausen
Main	Garstadt
	Erlabrunn
	Rothenfels
	Großheubach
	Kesselstadt
Werra	Werrawerk
Fulda	Wahnhausen

Weser	Petershagen
	Langwedel

3.3.1 Individuelle Markierung der Aale

Bei den telemetrischen Sendern handelte es sich um den Typ L-AMT 8.2 des Herstellers LOTEK (Abb. 11, links). Ein solcher Sender der neuesten Generation ist 23 mm lang, 9 mm dick, hat ein Gewicht an Luft von 3,5 g und wird einem Aal unter Narkose intraabdominal eingesetzt. Danach wird die Wunde zur Vermeidung einer Infektion oder eines Verlustes des Implantates mittels einer chirurgischen Heftung mit resorbierbarem Nahtmaterial verschlossen. Die Lebensdauer, mit der ein solcher Sender geortet werden kann, beträgt ca. 914 Tage, resp. 2,5 Jahre. Die Verortung der besenderten Aale erfolgte mittels Hydrophonen (Abb. 11, rechts), von denen jeweils eines im Ober- und ein zweites im Unterwasser der insgesamt 7 Staustufen im rheinland-pfälzischen Abschnitt der Lahn exponiert worden waren. Die Hydrophone waren kontinuierlich über den gesamten dreijährigen Untersuchungszeitraum in Betrieb, wofür etwa alle vier Monate die Batterien ausgetauscht werden mussten.

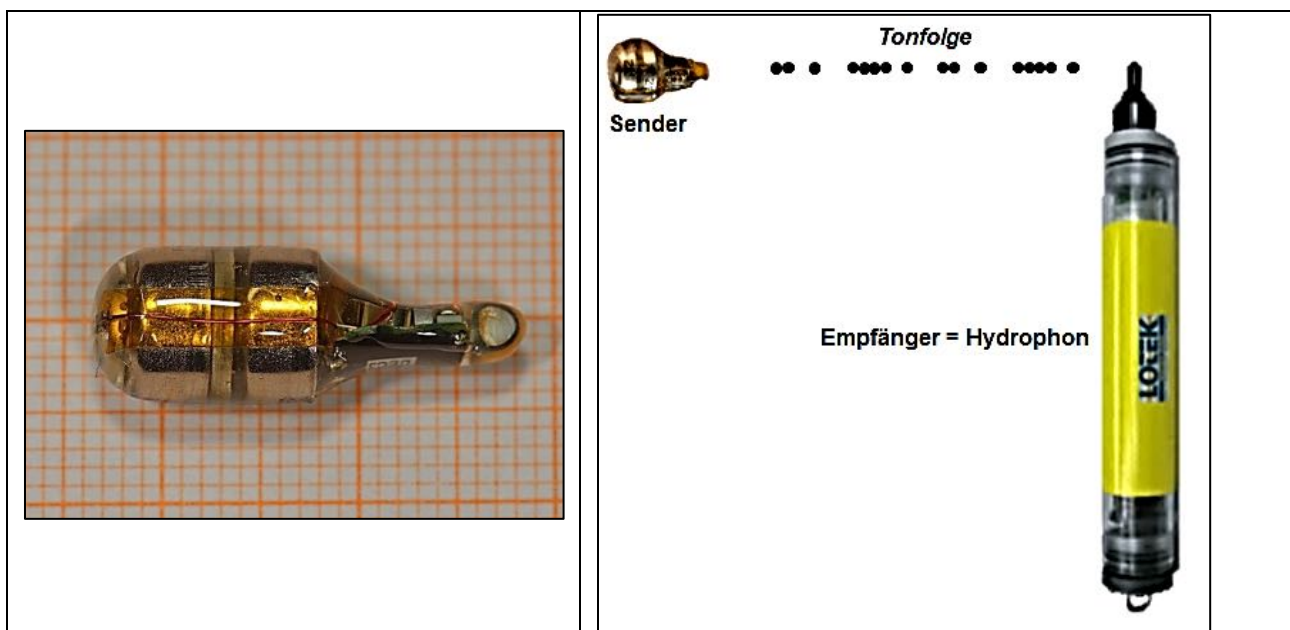


Abb. 11: 23 x 9 mm großer telemetrischer Sender (links); Prinzip der Kommunikation von telemetrischem Sender und Empfänger (Hydrophon) zur Verortung besendeter Aale (rechts)

Indikatoraale für das Frühwarnsystem MIGROMAT[®] werden grundsätzlich mit RFID PIT-Tags (Radio Frequency Identification) der technischen Variante FDX (Full Duplex) subkutan markiert (Abb. 12, links; SCHWEVERS & ADAM 2024). Pro Betriebssaison werden 60 Aale unter Narkose mit einem PIT-Tag individuell gekennzeichnet, um das Verhalten eines jeden

Fisches in den Becken eines MIGROMAT[®] über einen Zeitraum von 7 Monaten kontinuierlich zeitlich und positionsgenau aufzuzeichnen. Im Falle charakteristischer Verhaltensänderung mit einer Überschreitung spezifischer Schwellenwerte, informiert das Frühwarnsystem automatisch den Betreiber des jeweiligen Wasserkraftwerkes. So alarmiert ist dieser in der Lage noch vor dem Einsetzen eines Abwanderereignisses von Aalen im Fluss, einen aalschützenden Betrieb (ASB) seiner Kraftanlage einzuleiten (Abb. 12, rechts).

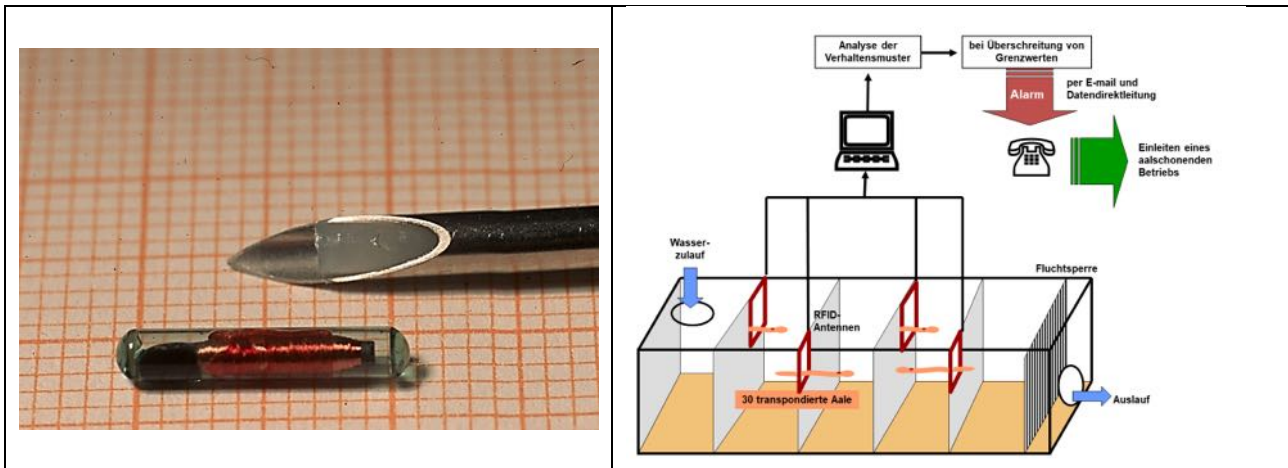


Abb. 12: 12 x 2 mm kleiner PIT-Tag, der zur individuellen Markierung von Indikatoraalen (links); Aufbau und Funktionsprinzip eines MIGROMAT[®] (rechts)

3.3.2 Protokollierung individueller phänotypischer Merkmale

Für jeden untersuchten Aal wurde ein individuelles Protokoll angelegt, um folgende phänotypischen Merkmale möglichst vollständig zu dokumentieren (Anhang I und Tab. 2):

1. Identifikationscode des Individuums anhand seines telemetrischen Senders oder PIT-Tags.
2. Totallänge auf 5 mm genau mit Messbrett gemessen.
3. Körperumfang auf 2 mm genau mit Maßband vermessen.
4. Gewicht auf 5 g genau mit einer elektronischen Waage gewogen.
5. Durchmesser des Auges in vertikaler und horizontaler Achse auf 1 mm genau mit einer elektronischen Schieblehre gemessen (Abb. 13).



angeblich Gelbaal



angeblich Blankaal

Abb. 13: Vergleich verschiedener Augendurchmesser

6. Länge der Brustflossen auf 2 mm genau mit elektronischer Schieblehre gemessen.
7. Erkennbarkeit dunkler Punkte, d. h. Neuromasten entlang der Seitenlinie (ja/nein; Abb. 14).

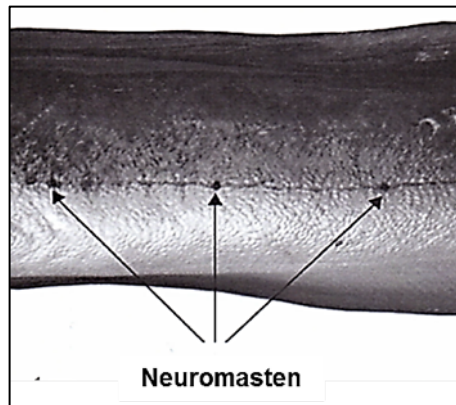


Abb. 14: Gruppen von Neuromasten, die als dunkle Punkte entlang der Seitenlinie erkennbar sind

8. Kontrast der dorsalen zur ventralen Körperseite (KD = stark, KM = mittel, KS = schwach).
9. Einschätzung des Entwicklungsstadiums gemäß einschlägigem fischereilichem Expertenwissen (G = Gelbaal, B = Blankaal, I = intermediäres Stadium; Abb. 15).

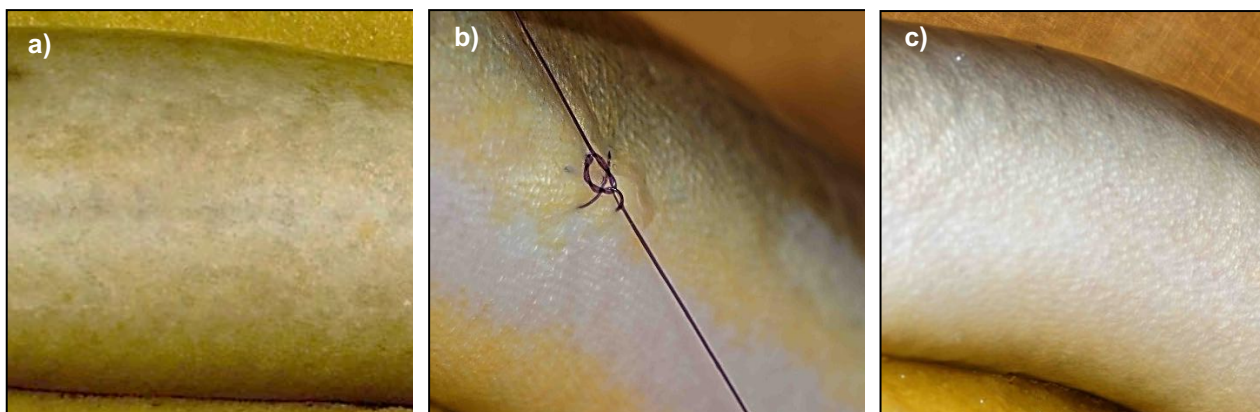


Abb. 15: Visuelle Einschätzung des Entwicklungsstadiums bzw. der Abwanderbereitschaft eines Aals anhand seiner Färbung; a) Gelbaal, b) intermediäre Färbung, c) Blankaal

Die mit einer Spiegelreflexkamera (NIKON D810) angefertigten Belegfotos von der Färbung der Aale wurden nachträglich nicht graphisch bearbeitet und damit verändert. Die im Druckbild dargestellten Farben entsprechen den technischen Möglichkeiten der Farbwiedergabe des jeweiligen Druckers und können deshalb von den optisch gesehenen bzw. gemessenen Farbwerten abweichen.

10. Färbung eines jeden Aals auf der Rücken- und Bauchseite. Gemessen mit einem Spektrometer Chroma Meter CR 300 (MINOLTA, Messmodus D65, Abb. 16). Die Messungen an den Indikatoraaalen für die MIGROMATE® wurden sowohl vor dem Besatz in die Hälterbecken, als auch 7 Monate vor der Entlassung der Fische in den jeweiligen Fluss vorgenommen (Tab. 2).



Abb. 16: Spektrometer CR-300 Chroma Meter für physikalische Lichtfarbmessungen

4 BEFUNDE

4.1 DATENBESTAND

Der Datenbestand für die vorliegende Untersuchung umfasst die Farbaufnahmen von 162 telemetrisch besenderten und im ersten Projektjahr 2021 in den rheinland-pfälzischen Unterlauf der Lahn besetzten Aale (Anhang I). Zur Vergrößerung des Datenvolumens wurden zudem mit Einverständnis der Projektleitung auch Informationen über besenderte Aale für das zeitgleich im Oberlauf der Lahn laufende EU-LIFE Projekt „Living-Lahn - ein Fluss, viele Ansprüche“ (LIFE14IPE/DE/022) genutzt.

Weitere Daten für sind Farbaufnahmen von 1.733 mit PIT-Tags individuell markierten Indikатораale, die während der Projektlaufzeit an mehreren MIGROMAT® Standorten in Deutschland eingesetzt wurden. Diese Fische wurden phänotypisch und farblich zwei Mal vermessen, nämlich zu Beginn und zum Ende einer jeden Betriebssaison eines Frühwarnsystems (Tab. 2).

An dieser Stelle muss nachdrücklich daraufhin gewiesen werden, dass im Rahmen der Arbeiten unter Feldbedingungen nicht immer alle Merkmale eines Individuums lückenlos ermittelt werden konnten. Sei es, dass trotz der Narkose einige Individuen zu mobil blieben, um ihr Gewicht und ihre Körperproportionen bestimmen zu können, oder die Lichtverhältnisse ließen eine optisch-subjektive Farbeinschätzung nicht zu, oder die Schleimschicht eines Aals war für eine physikalisch-objektive Messung mit dem Spektrometer zu stark verunreinigt. Zudem ging das erste Spektrometer im Jahr 2022 kaputt und die Anschaffung eines neuen Gerätes des gleichen Typs erforderte erheblich viel Zeit. Schließlich sind nicht alle besenderten Aale abgewandert oder wurden vor allem bei Hochwässern von den Hydrophonen nicht registriert. In Konsequenz schwankt die Anzahl (n) der für Auswertungen und Analysen zur Verfügung stehenden Daten und Informationen erheblich.

4.2 ABWANDERVERHALTEN

Im Fokus der vorliegenden Freilanduntersuchungen steht die Frage, ob und in wieweit die Färbung von Aalen mit ihrem Abwanderverhalten korreliert. Während den sogenannten Gelbaalen eine stationäre Lebensweise im Süßwasser unterstellt wird, wird das Blankaalstadium als das katadrome Abwanderstadium definiert. Mit Hilfe der telemetrischen Besenderung von 162 Aalen am 08. Oktober 2021 und ihrer Freilassung in der Lahn im Oberwasser der Staustufe Hollerich galt es ihr Abwanderverhalten im ca. 80 km langen

rheinland-pfälzischen Unterlauf der Lahn über drei Jahre zu beobachten (Abb. 17). Dazu waren 14 Hydrophone an 7 Staustufen je im Ober- und Unterwasser exponiert (Anhang II). Es ist an dieser Stelle zu betonen, dass die Empfänger zur Detektion sich annähernder besendeter Aale rund um das Jahr, auch bei Hochwasser betrieben worden waren.

Außer den im rheinland-pfälzischen Abschnitt der Lahn besetzten besenderten Aalen wurden zusätzlich 8 Aale von den Hydrophonen des vorliegenden DBU-Projekts detektiert, die im Rahmen des EU-Projekts „Living Lahn - ein Fluss, viele Ansprüche“ stromaufwärts im hessischen Abschnitt der Lahn mit den gleichen Sendertypen markiert und entlassen worden waren (Abb. 17, Tab. 4).



Abb. 17: Untersuchungsgebiete in den hessischen und rheinland-pfälzischen Abschnitten der Lahn aus denen telemetrische Daten in das vorliegende Projekt einfließen (Kartengrundlage: www.daslahntal.de)

Von den also insgesamt 170 (162 + 8) im Untersuchungsgebiet präsenten besenderten Aalen, wurden 71 Individuen von den Hydrophonen des DBU-Projekts registriert. Dies entspricht einer Redetektionsrate von 43,8 %, was als ausgesprochen hoch zu bewerten und Ausdruck des Dauerbetriebs der Empfänger ist. Zum Vergleich bewegen sich die

Redetektionsraten für telemetrische Untersuchungen in größeren Flüssen in der Regel unter 20 % (ADAM et al. 2023, SCHWEVERS & ADAM 2024).

Zudem ist festzustellen, dass fast alle Detektionen auf die Jahre 2021 und 2022 entfallen. Nur ein einziger Aal wurde noch im Jahr 2023 registriert. Darüber, ob die bis dato nicht detektierten Exemplare gestorben sind oder nach der Entnahme der Hydrophone im Frühjahr 2024 noch immer in der Lahn leben, lässt sich nur spekulieren.

4.3 PHÄNOTYPISCHE MERKMALE ZUR UNTERSCHIEDUNG VON GELB- UND BLANKAALEN

In der einschlägigen Literatur finden sich diverse Berichte darüber, welche phänotypischen Merkmale für die Unterscheidung von Gelb- und Blankaalen herangezogen werden können. Diese Merkmale werden nachfolgend kurz dargestellt und mit den Ergebnissen der Analysen im Rahmen des vorliegenden Projekts verglichen.

4.3.1 Totallänge

Das Geschlecht von Aalen lässt sich am lebenden Tier äußerlich nicht bestimmen, sondern nur mittels Sektion lassen sich die Geschlechtsorgane darstellen; wonach die Fische natürlich tot sind. Nach einer Literaturlauswertung von TESCH (1983) ist anzunehmen, dass sowohl männliche, als auch weibliche Aale ab einer Totallänge von 50 cm abwanderbereit sind. Bei deutlich längeren Exemplaren handelt es sich in der Regel um weibliche Exemplare. Bei Aalen unter 50 cm Totallänge kann es sich demnach sowohl um männliche, als auch um weibliche Fische handeln. Auch DURIF et al. (2005) haben Aale mit einer Totallänge über 50 cm als abwanderbereit definiert, da in französischen Flüssen abwandernde weibliche Blankaale ab 53 cm Totallänge nachgewiesen wurden.

Für das vorliegende Projekt wurden die Totallängen von 749 Aalen betrachtet (162 Aale aus dem vorliegenden Projekt plus 587 aus dem Projekt „Living Lahn“), über deren Abwanderverhalten zudem entsprechende Kenntnisse mittels Telemetrie vorlagen (Abb. 18). Die kleinsten der vermessenen Exemplare wiesen eine Länge von 53 bis 55 cm auf; das längste Exemplar maß 99 cm.

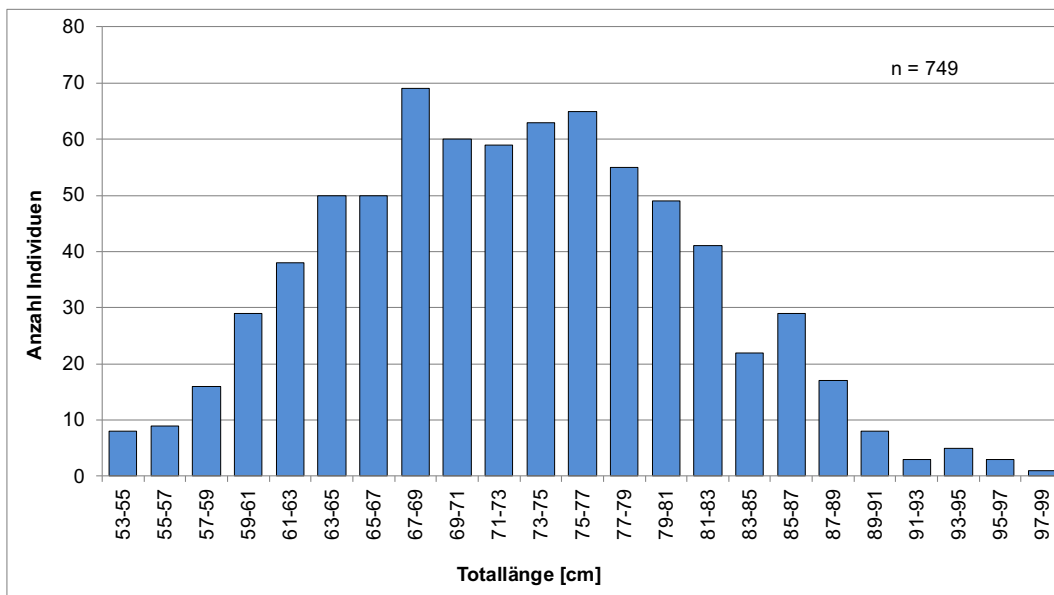


Abb. 18: Längenfrequenz der vermessenen Aale; dargestellt in Klassen

Die Aufzeichnungen der Hydrophone ergaben, dass 141 besondere Exemplare ein katadromes Abwanderverhalten gezeigt haben, d.h. mindestens eine Staustufe stromabwärts geschwommen sind. Nur zwei Exemplare verhielten sich stationär, wobei es sich um den kürzesten und den längsten Aal gehandelt hat (Abb. 19). Die übrigen besonderen Aale waren nicht detektiert worden, weshalb keine Aussagen zur Abhängigkeit ihres Abwanderungsverhaltens von ihrer Totallänge getroffen werden können.

Ein Vergleich der Längenfrequenzen der markierten und nachweislich abgewanderten Aale zeigt, dass sich unter den Abwanderern vor allem Exemplare über 70 cm Totallänge befanden. Dies stimmt mit der tradierten Erkenntnis überein, dass vor allem ältere, und damit längere Aale an Abwanderereignissen teilnehmen.

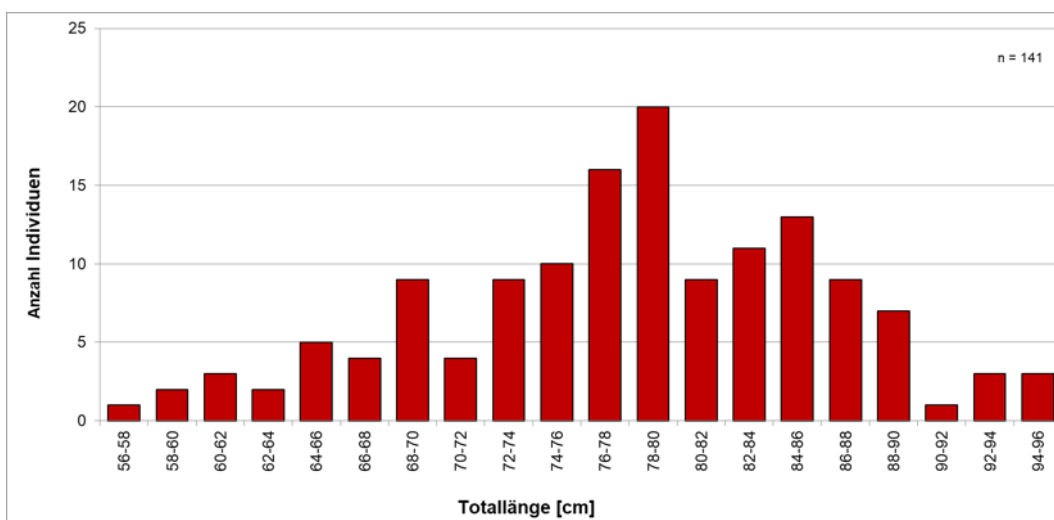


Abb. 19: Längenfrequenz der abgewanderten Aale; dargestellt in Klassen

Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen somit, dass es sich bei der überwiegenden Mehrheit von Aalen ab einer Totallänge von 50 cm in der Lahn wohl um potentiell abwanderbereite Exemplare handelt. Dies bedeutet allerdings nicht, dass sich ein über 50 cm langer Aal zwingend katadrom verhält. Vielmehr kann er noch viele Jahre im Fluss verweilen, bevor er sich entschließt, stromabwärts zu wandern.

4.3.2 Körperproportionen

Um Einblick in die Biometrie von Aalen aus der Lahn zu gewinnen war von 498 Exemplaren das Gewicht [g], der Umfang [mm] und die Totallänge [mm] erhoben worden (162 Aale aus dem vorliegenden Projekt plus 327 aus dem Projekt „Living Lahn“). Diese individuellen Daten wurden für die Auswertung nicht nur ins Verhältnis zueinander gesetzt, sondern auch mit dem Abwanderverhalten des jeweiligen Individuums korreliert.

Die Spanne der Gewichte reichte von 200 g bis über 1,4 kg, wobei das Durchschnittsgewicht bei ca. 700 g lag (Abb. 20). Von den gewogenen Exemplaren waren 91 Aale auf ihrer katadromen Abwanderung von den Hydrophonen registriert worden (Abb. 21), während sich zwei weitere detektierte Exemplare stationär verhalten hatten. Die Gewichtsverteilung der abgewanderten Aale lässt allerdings keinen Zusammenhang ihrem Migrationsverhalten erkennen.

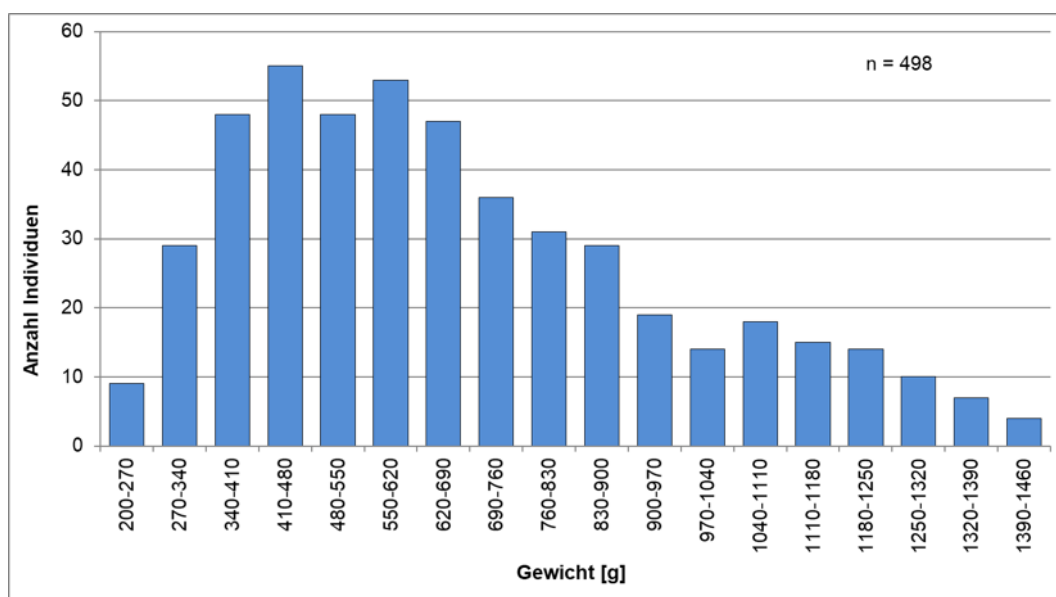


Abb. 20: Gewicht der bei der Besenderung gewogenen Aale; dargestellt in Klassen

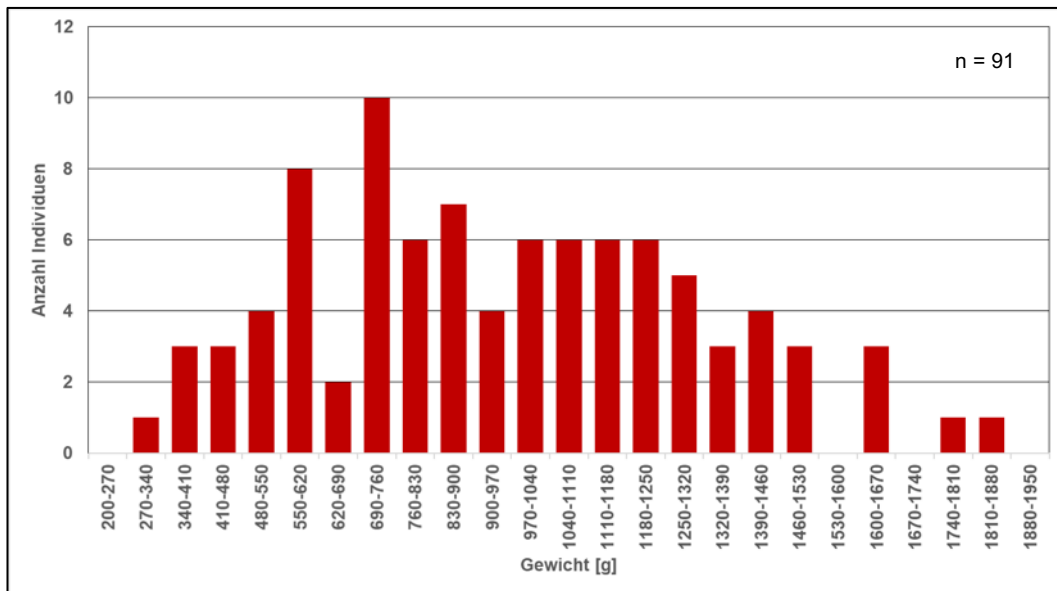


Abb. 21: Gewicht der abgewanderten Aale; dargestellt in Klassen

Die Spanne der Werte für den Umfang [mm] an der dicksten Körperstelle eines Aals, reichte von 85 bis 165 mm (Abb. 22), wobei der Mittelwert bei 76 mm lag. Das Verhältnis der Körperlänge zum Umfang erwies sich als annähernd linear (Abb. 23), während sich das Verhältnis der Körperlänge zum Gewicht durch eine Exponentialfunktion beschreiben lässt (Abb. 24). Wie für das Gewicht auch, ließ sich jedoch für den Parameter des Umfangs kein Zusammenhang mit dem Migrationsverhalten erkennen.

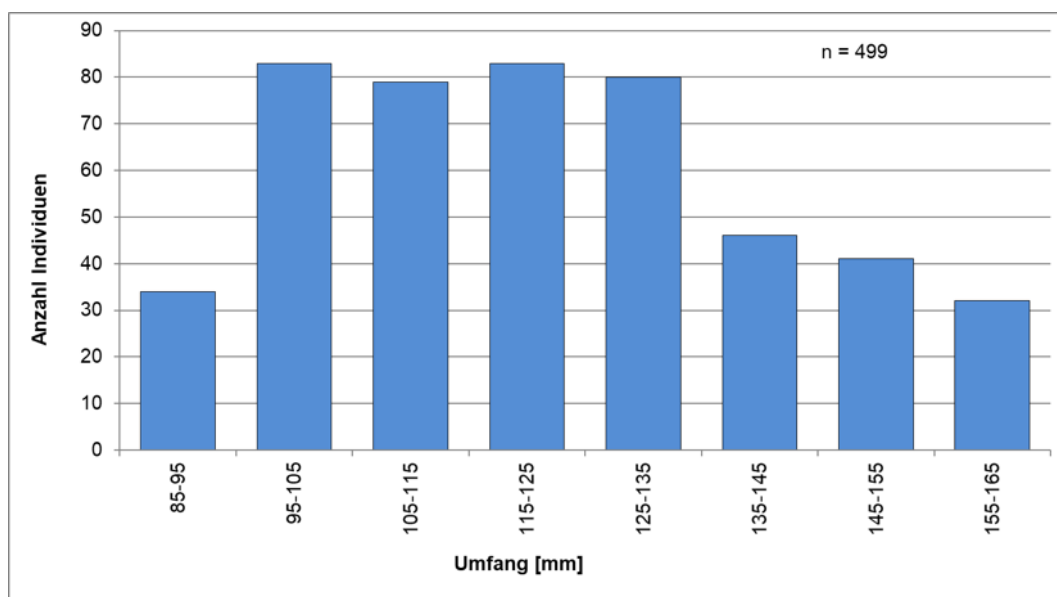


Abb. 22: Umfang der im Rahmen der Besenderung vermessenen Aale; dargestellt in Klassen

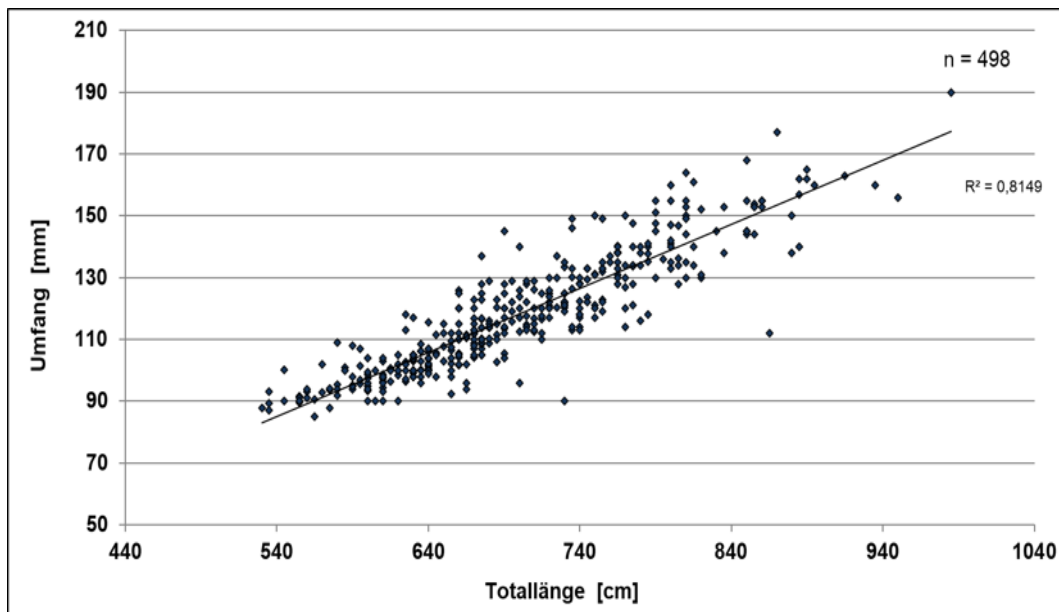


Abb. 23: Verhältnis von Totallänge (TL [mm]) zum Umfang (mm) der vermessenen Aale

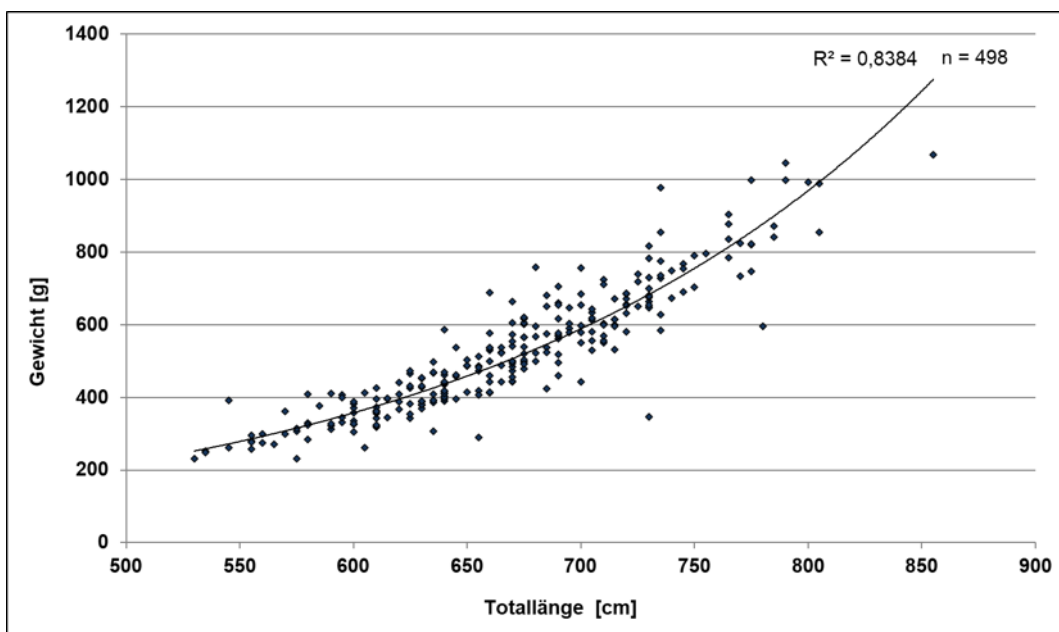


Abb. 24: Verhältnis der Totallänge (TL [mm]) zum Gewicht (g) der vermessenen Aale

Die Körperproportionen von Fischen sind beispielsweise für eine Berechnung der maximal zulässigen lichten Weite der Einlaufrechen vor Wasserkraftwerken relevant, um u.a. das Eindringen von Aalen in Turbinen zu verhindern (SCHWEVERS & ADAM 2019). Für eine Differenzierung von Gelb- und Blankaalen sind die Parameter Gewicht und Umfang sowie die Körperproportionen von Aalen allerdings nicht geeignet.

4.3.3 Korpulenzfaktor [KF]

Aus dem Gewicht [G] und der Totallänge [TL] wird nach FULTON der „Korpulenzfaktor“ [KF] berechnet (NASH et al. 2006), der vor allem dem Vergleich der Lebens- und Ernährungsbedingungen von Fischbeständen unterschiedlicher Herkunft dient:

$$KF = \frac{100 \times G \text{ [g]}}{TL \text{ [cm]}^3}$$

DURIF et al. (2005) nutzten den Korpulenzfaktor aber auch zur Unterscheidung von Gelb- und Blankaalen in dem sie für Gelbaale eine Spanne von $0,18 \pm 0,029$ und für Blankaale von $0,187 \pm 0,028$ angaben.

Für das vorliegende Projekt wurde der Korpulenzfaktor von 500 Aalen (162 Aale aus dem vorliegenden Projekt plus 587 aus dem Projekt „Living Lahn“) berechnet. Für Aale in der Lahn ergibt sich danach eine Werteverteilung zwischen $< 0,14$ und $> 0,25$ (Abb. 25). Die der Literatur zu entnehmenden Wertebereiche für Gelb- und Blankaale überschneiden sich allerdings so beträchtlich, dass dieser Parameter nicht ausreichend scharf und damit ungeeignet ist, um die Entwicklungsstadien der Aale aus der Lahn unterscheiden zu können.

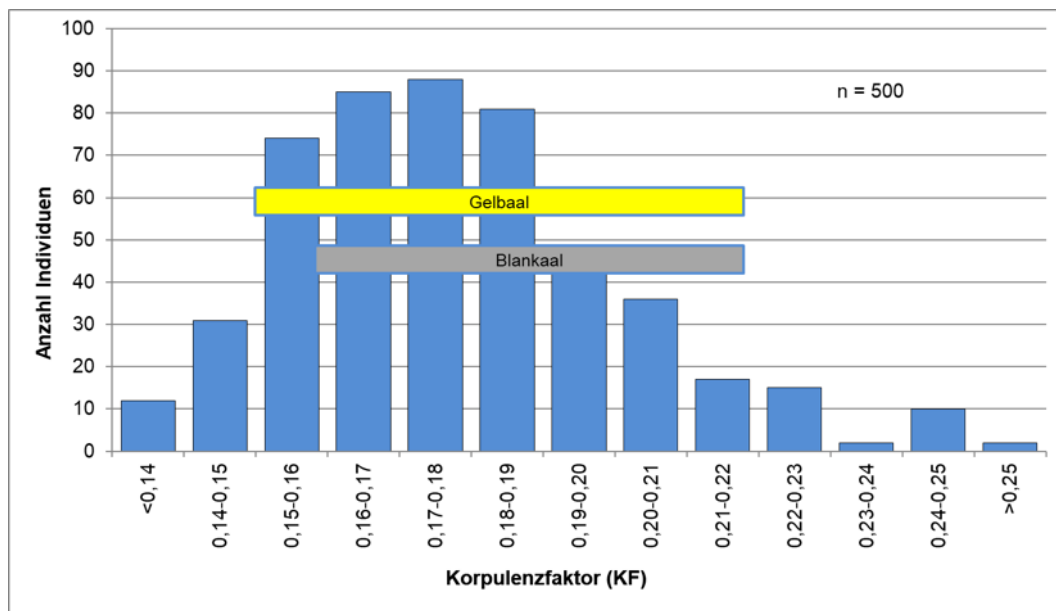


Abb. 25: Korpulenz [KF] von Aalen aus der Lahn verglichen mit Angaben von DURIF et al. (2005) zur Unterscheidung von Gelb- und Blankaalen; dargestellt in Klassen

Noch eindeutiger wird dies, wenn man die Korpulenzfaktoren von den in der Lahn abgewanderten Aalen betrachtet. Danach haben sich von den in die Auswertung eingegangenen 500 besenderten Individuen von denen der Korpulenzfaktor berechnet

werden konnte, 91 Exemplare nachweislich katadrom nach stromab bewegt (Abb. 26). Vergleicht man deren Korpulenzfaktor mit den Werten zur Differenzierung von Gelb- und Blankaalen nach DURIF et al. (2005), so fallen die meisten Exemplare in den Überlappungsbereich beider Werte. Damit lässt sich kein Entwicklungsstadium sicher ansprechen.

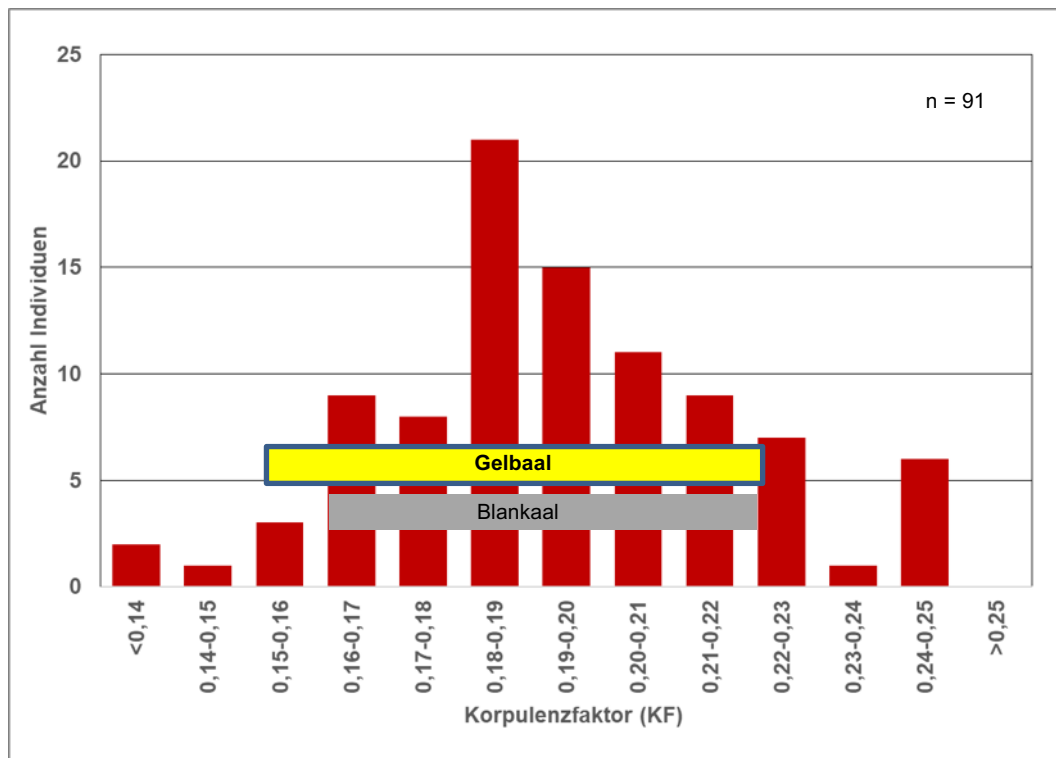


Abb. 26: Korpulenzfaktor (KF) von in der Lahn abgewanderten Aalen, verglichen mit Angaben von DURIF et al. (2005) zur Korpulenz von Gelb- und Blankaalen, dargestellt in Klassen

4.3.4 Länge der Brustflossen und Brustflossenindex [BrFII]

DURIF et al. (2005) stellten fest, dass die relative Länge der Brustflossen der von ihnen untersuchten Blankaale größer war, als bei Gelbaalen. Als Maß hierfür definierten sie den Brustflossenindex [Br_{FII}], der gemäß folgender Formel die Länge der Brustflosse [Br_{FI}] in Relation zur Totallänge [TL] setzt:

$$\text{Br}_{\text{FII}} = \frac{100 \times \text{Br}_{\text{FI}} [\text{mm}]}{\text{TL} [\text{cm}]^3}$$

Für Gelbaale geben die Autoren einen Brustflossenindex von $3,9 \pm 0,6$ an und für Blankaale von $4,9 \pm 0,7$.

Um den Nutzen des Brustflossenindex als Unterscheidungsmerkmal von Gelb- und Blankaalen in der Lahn im Rahmen des vorliegenden Projekts zu überprüfen, war die Länge der Brustflossen von 497 Aalen (162 Aale aus dem vorliegenden Projekt plus 335 aus dem Projekt „Living Lahn“) gemessen worden, um daraus den Brustflossenindex unter Nutzung der Totallänge zu ermitteln. Es zeigte sich, dass die Länge der Brustflossen zwischen Messwerten von 22 bis zu 50 mm beträchtlich variierte (Abb. 27).

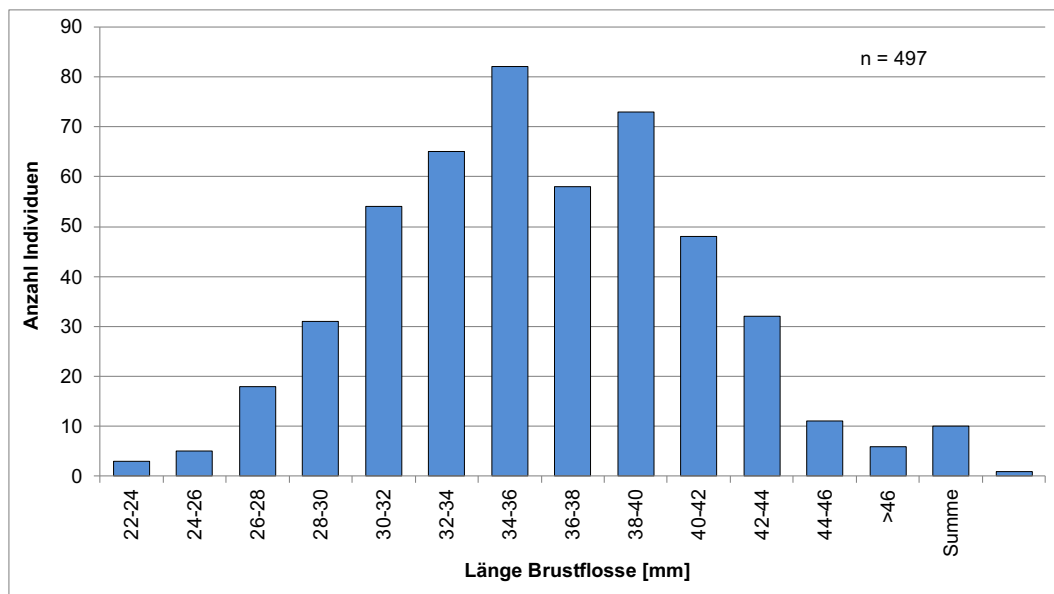


Abb. 27: Länge der Brustflossen [mm] der Aale aus der Lahn; dargestellt in Klassen

Die Verteilung der daraus berechneten Brustflossenindices entsprach einer klassischen Normalverteilung mit einem Plateau zwischen 4,0 und 4,8 (Abb. 28), das damit genau in den Übergangsbereich der von DURIF et al. (2005) für Gelb- und Blankaale genannten Indices fällt. Der Brustflossenindex ist somit zumindest für Aale aus der Lahn für eine Differenzierung der beiden Entwicklungsstadien völlig ungeeignet. Eine weitere Differenzierung der Daten nach den in der Lahn tatsächlich abgewanderten Exemplaren erübrigte sich somit.

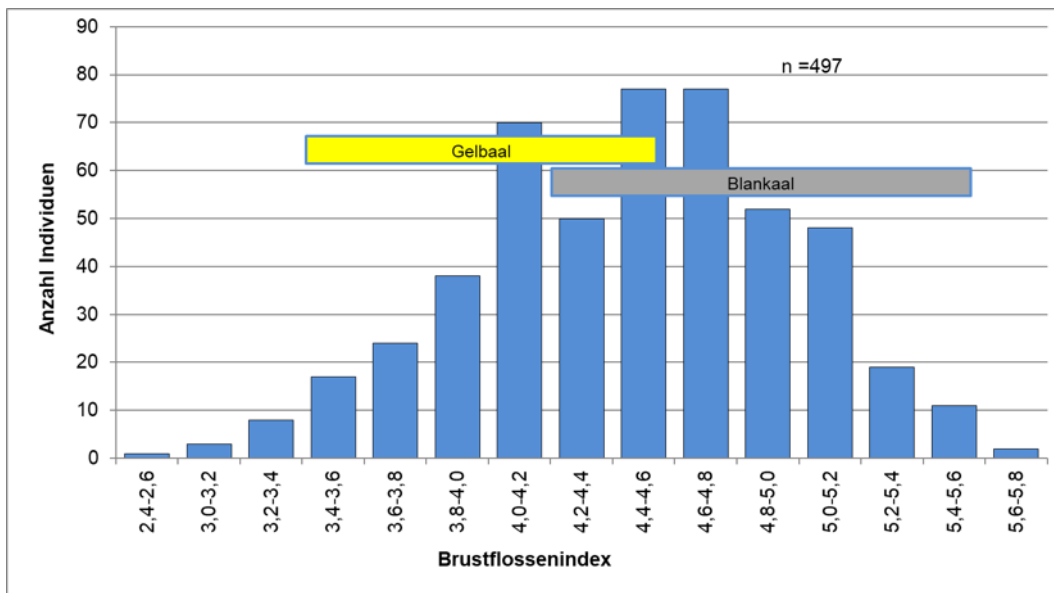


Abb. 28: Brustflossenindex der vermessenen Aale dargestellt in Klassen, im Vergleich mit den von DURIF et al. (2005) angegebenen Spannweiten für Gelb- und Blankaale

4.3.5 Augendurchmesser und Okularindex [OI]

Der Okularindex (OI) beschreibt das Verhältnis der mittleren Größe der beiden Augen eines Aals zu seiner Körperlänge. Berechnet wird der Okularindex [OI] nach PANKHURST & LYTHGOE (1985) aus dem Durchmesser des rechten (R) und des linken Auges (L) in horizontaler und in vertikaler Achse [A_R , A_L , sowie B_R , B_L] sowie im Verhältnis zur Totallänge [TL]:

$$OI = \{((A_R + B_R) / 4) \times ((A_L + B_L) / 4) \times \pi / TL\} \times 100$$

Nach PANKHURST & LYTHGOE setzt die Blankaalmetamorphose bei einem Okularindex von $\geq 6,5$ ein, während MARCHELIDON et al. (1999) einen Grenzwert von $\geq 8,0$ angeben. ACOU et al. (2005) stufen deshalb einen $OI \geq 6,5$ als unsicheres und einen $OI \geq 8,0$ als sicheres Blankaalkriterium ein. DURIF et al. (2005) geben für die von ihnen untersuchten Gelbaale einen Okularindex von $OI = 5,3 \pm 1,4$ an und für Blankaale einen deutlich höheren Wert von $OI = 9,9 \pm 1,7$.

Um die Aussagekraft dieses Parameters als Unterscheidungskriterium von Gelb- und Blankaalen aus der Lahn zu überprüfen, war von 497 Aalen (162 Aale aus dem vorliegenden Projekt plus 335 aus dem Projekt „Living Lahn“) der vertikale und der horizontale Durchmesser beider Augen vermessen (Abb. 29) und der Okularindex berechnet worden (Abb. 30). Es zeigte sich, dass der Augendurchmesser zwischen minimal 4,5 und maximal

10,5 mm schwankte. Die Größenverteilung entsprach einer eingipfligen Kurve mit einem Peak bei 7 bis 7,5 mm.

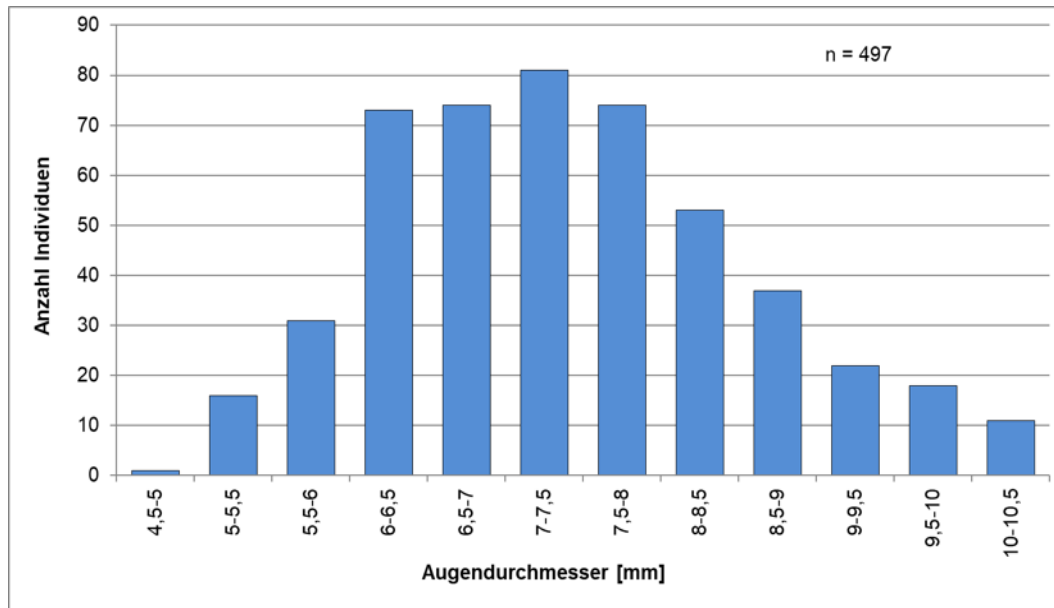


Abb. 29: Augendurchmesser der Aale aus der Lahn; dargestellt in Klassen

Auch der aus den Messwerten berechnete Okularindex der Aale schwankte beträchtlich zwischen Werten von $OI < 3,5$ und $> 10,5$ (Abb. 30). Die Verteilung der ermittelten Werte zeigt einen Peak bei einem OI von 5 bis 5,5; und damit genau in dem von ACOU et al. (2005) und DURIF et al. (2005) für Gelbaale charakteristischen Wertebereich. Da allerdings im Rahmen des Projekts vorwiegend mit Totallängen von > 50 cm vermeintliche Blankaale als abwanderbereit vermutete Exemplare besendert worden waren, kann das Differenzierungskriterium eines Okularindex von 7,5 bis 8 zumindest für Aale aus der Lahn nicht zutreffen.

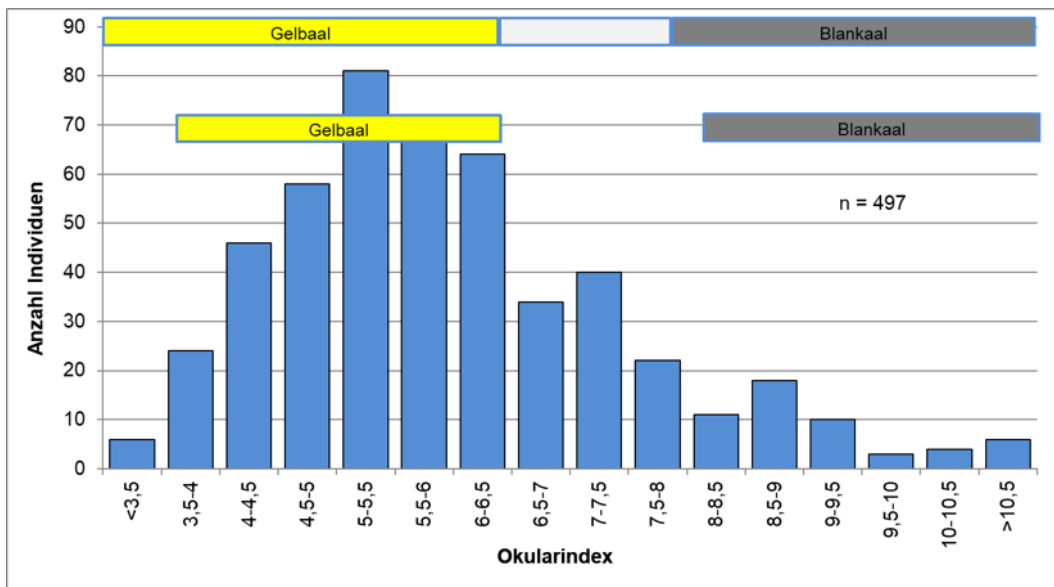


Abb. 30: Okularindex für Aale aus der Lahn; dargestellt in Klassen, im Vergleich mit von ACOU et al. (2005) (oben) und DURIF et al. (2005) (unten) angegebenen Spannweiten für Gelb- und Blankaale

Auch bei der Betrachtung des Okularindexes von definitiv abgewanderten Aalen zeigt sich keinerlei Trend, dass diese Exemplare einen Index von > 7,5 aufgewiesen hätten (Abb. 31). Im Gegenteil lag der Okularindex bei ziemlich genau der Hälfte der Abwanderer deutlich darunter. Auch diese Auswertung zeigt, dass der Okularindex ungeeignet ist, um stationäre Gelb-, von katadromen Blankaalen unterscheiden zu können.

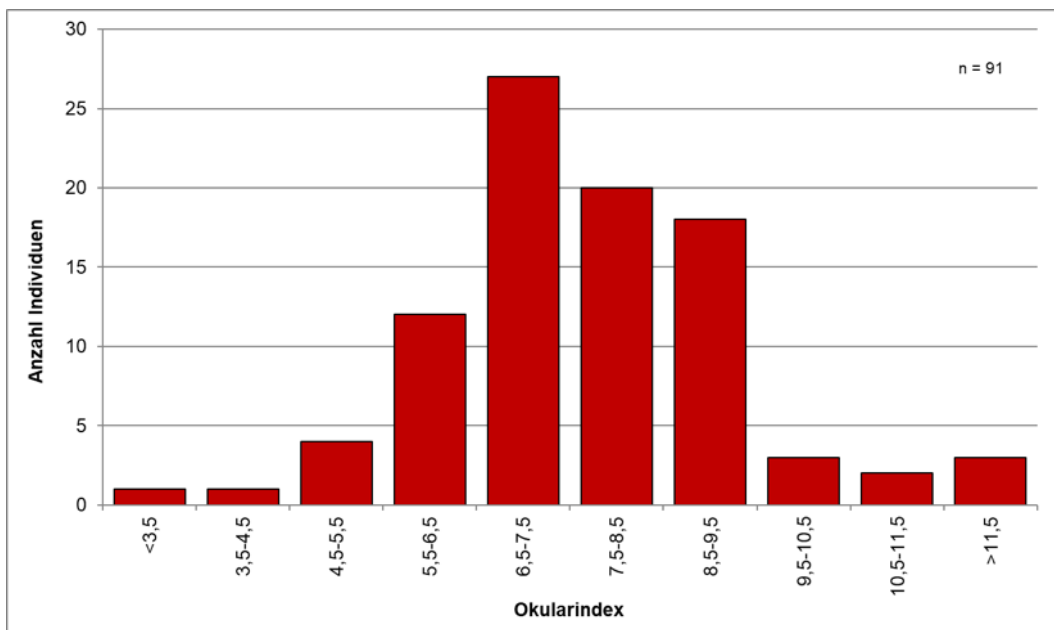


Abb. 31: Okularindex der in der Lahn abgewanderten Aale

4.3.6 Neuromasten

Die Seitenlinie von Fischen besteht u.a. aus oberflächlichen Rezeptoren, den Neuromasten, die hoch sensibel auf hydrodynamische Veränderungen in der Umwelt des Fisches reagieren (MONTGOMERY et al. 1997). Bei Gelbaalen sind diese Neuromasten in Gruppen angeordnet und bei jungen Entwicklungsstadien als kleine weiße Punkte von weniger als 1 mm Durchmesser kaum erkennbar. Während der Blankaalmetamorphose entwickelt sich die Seitenlinie jedoch deutlich (ZACCHEI & TAVOLARO 1988): Die weißen Punkte werden von einem schwarzen Kreis zunehmenden Durchmessers umgeben, bis sich schließlich deutlich sichtbare schwarze Punkte von 1 bis 2 mm Durchmesser ausbilden (Abb. 14), die in einer Reihe vom Ansatz der Brustflosse bis zum Schwanz entlang der Flanke angeordnet sind (VOIGT et al. 2000). Die Anzahl solcher Neuromasten schwankt in Abhängig von der Totallänge und Reife des Aals zwischen 5 und 30. ACOU et al. (2005) stufen die Erkennbarkeit von Neuromasten in Form von schwarzen Punkte entlang der Seitenlinie als ein qualitatives Blankaalkriterium ein.

Von den insgesamt 497 auf das Vorhandensein von Neuromasten untersuchten Aalen (162 Aale aus dem vorliegenden Projekt plus 335 aus dem Projekt „Living Lahn“), waren bei etwas mehr als der Hälfte, nämlich 52 % der auf dieses Merkmal untersuchten Exemplare, deutliche schwarze Punkte entlang der Seitenlinie zu erkennen. Allerdings war hierbei kein Zusammenhang mit der Totallänge [TL] eines Aals erkennbar; vielmehr fanden sich Neuromasten, aber auch ihre Abwesenheit über das gesamte untersuchte Längenspektrum verteilt (Abb. 32).

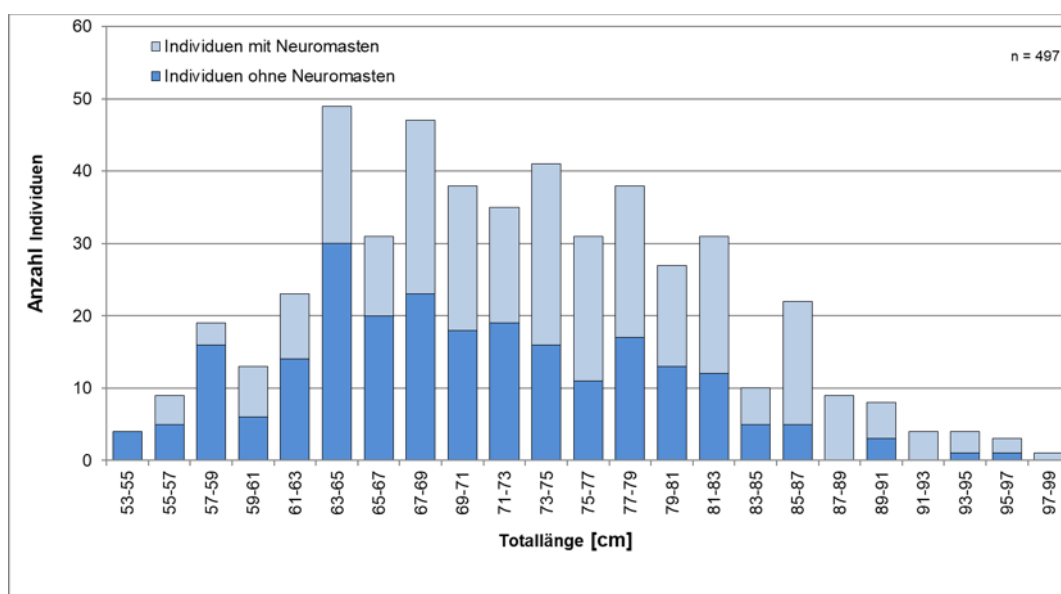


Abb. 32: Vorhandensein von Neuromasten bei Aalen aus der Lahn und Verteilung auf das Spektrum der Totallänge [TL]

Unter den nachweislich in der Lahn abgewanderten Aalen trugen allerdings bis auf wenige Ausnahmen, fast alle Exemplare sehr deutlich erkennbare Neuromasten entlang ihrer Seitenlinie (Abb. 33). Dies spricht dafür, dass im Wesentlichen nur solche Aale ein katadromes Abwanderverhalten zeigen, die dieses gut erkennbare phänotypische Merkmal aufweisen. Für eine Unterscheidung stationärer Gelb- von abwanderwilligen Blankaalen ist dieses Kriterium hingegen nach vorliegenden Erkenntnissen wenig geeignet, da etwa die Hälfte der untersuchten, nachweislich stationären Aale ebenfalls erkennbare Neuromasten entlang der Seitenlinie zeigte.

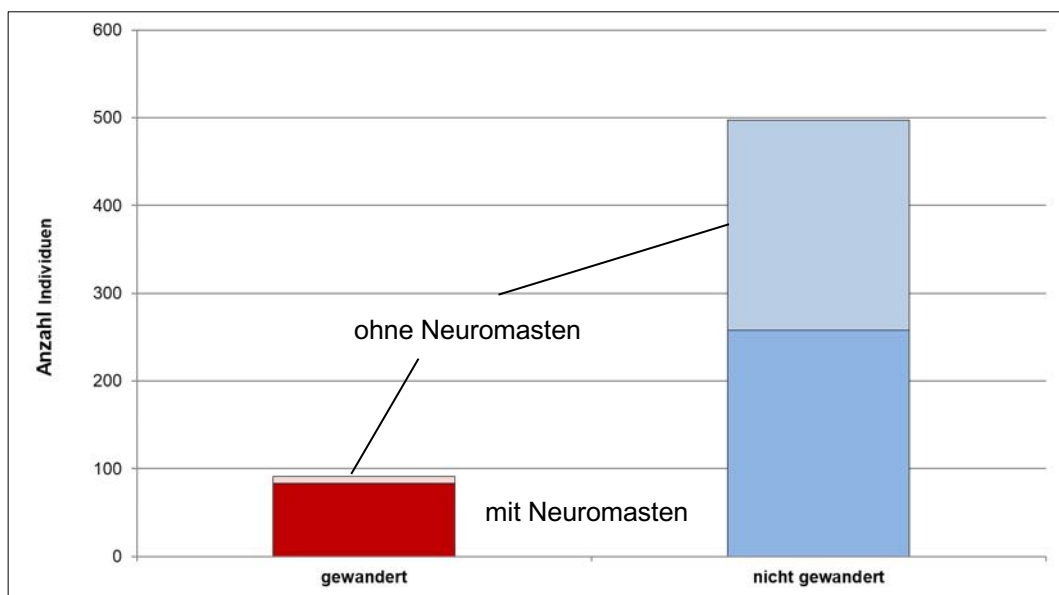


Abb. 33: Vorhandensein von Neuromasten bei den Abwanderern und stationären Aalen aus der Lahn

4.4 FARBEN DER AALE

4.4.1 Kontrast

Für eine optisch-subjektive Beurteilung des Farbkontrasts eines Aals, wird die Farbintensität seiner Rücken- zur Bauchseite eingeschätzt (ACOU 2005). Allerdings ist der Literatur keine Definition zu entnehmen, wie ein starker oder aber schwacher Kontrast aussehen müsste. Die Autoren behaupten vielmehr ohne genauere Angaben zu machen, dass bei Gelbaalen die Rücken- zur Bauchfärbung weniger kontrastreich sei, als bei Blankaalen.

Bei 500 optisch-subjektiv untersuchten Aalen (162 Aale aus dem vorliegenden Projekt plus 338 aus dem Projekt „Living Lahn“) wurden drei Gruppen unterschiedlicher Kontrastausprägung beschrieben: deutlicher, mittlerer und schwacher Kontrast. Eine

präzisere Definition dieses Aspektes war nicht möglich. Auf der Grundlage der Auswertung dieses weichen Kriteriums, zeigt die Verteilung bei 91 in der Lahn nachweislich abgewanderten Individuen (Abb. 34), dass 50 % der Abwanderer vor ihrer Freilassung in der Lahn tatsächlich als deutlich kontrastreich angesprochen worden waren, während sich jeweils etwa ein Viertel als mittel oder schwach kontrastreich dargestellt hatten.

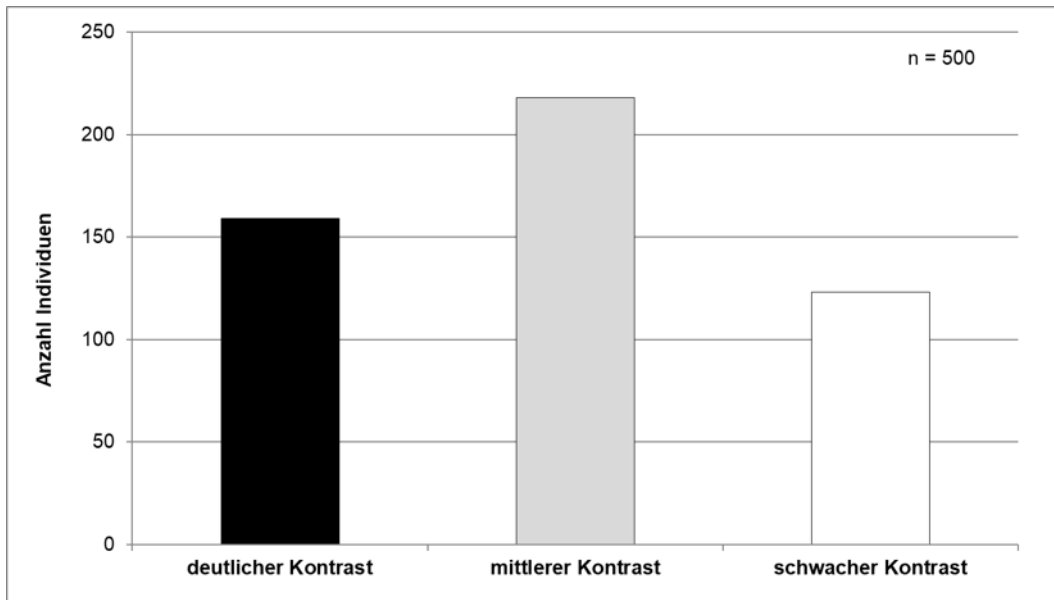


Abb. 34: Optisch-subjektiv eingeschätzte Stärke des Kontrasts zwischen Rücken- (dorsal) und Bauchseite (ventral) bei Aalen aus der Lahn

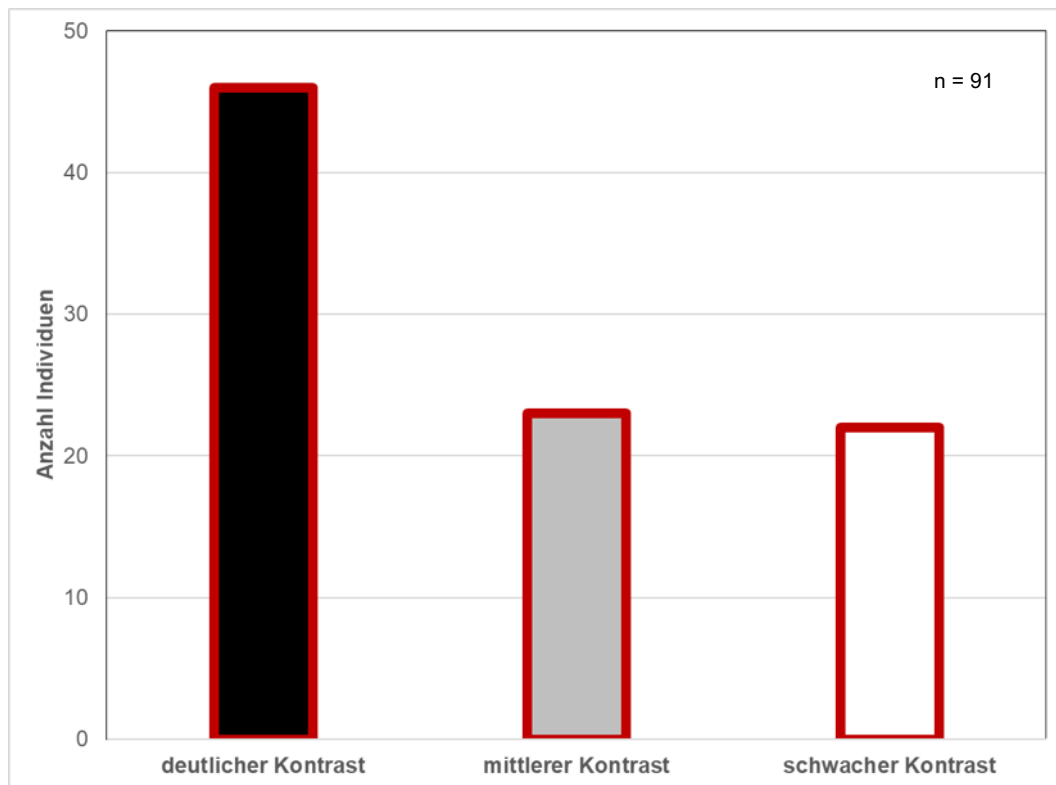


Abb. 35: Stärke des Kontrasts zwischen Rücken- (dorsal) und Bauchseite (ventral) bei abgewanderten Aalen zum Zeitpunkt ihrer Besenderung

Beim Kontrast handelt es sich zweifellos um ein weiches Kriterium mit nur begrenztem Nutzen für die Differenzierung kontrastärmerer Gelb-, von kontrastreicheren Blankaalen. Dies zumal, da Aale ihre Pigmentierung schnell den Farb- und Lichtverhältnissen in ihrer Umgebung angleichen können. Immerhin bestätigen die durchgeführten Auswertungen tendenziell die Aussagen von ACOU et al. (2005), nachdem Blankaale kontrastreicher sind als Gelbaale.

4.4.2 Optisch-subjektive Farbeinschätzungen

Die Beschäftigung mit der Färbung von Aalen hat gezeigt, dass die Farbe der Rückenseite eines Aals unabhängig von seiner Totallänge und Bauchfärbung von schwarz über dunkelbraun bis grau ausgeprägt sein kann. Dies ist Ausdruck der Anpassungsfähigkeit dieser Fischart, ihre Pigmentierung an die Helligkeitsverhältnisse und insbesondere die Farbe des Substrates in ihrem Lebensraum binnen kürzester Zeit anpassen zu können. Entsprechend diesen Tatsachen fokussierten sich die Auswertungen der nachfolgenden optisch-subjektiven Farbeinschätzungen der Projektbearbeiter auf die Färbung der Bauchseite von 714 besenderten Aalen (162 Aale aus dem vorliegenden Projekt plus 552 aus dem Projekt „Living Lahn“). Für eine Beurteilung der Verlässlichkeit dieser optisch-

subjektiven Einschätzungen wurden physikalisch-objektive spektrometrische Farbmessungen an 249 Aalen aus der Lahn (162 Aale aus dem vorliegenden Projekt plus 87 aus dem Projekt „Living Lahn“) hinzugenommen.

Da für die Besenderung von Aalen nur Exemplare ab einer Totallänge von 50 cm genutzt wurden, war zu erwarten, dass der Anteil an Blankaalen unter den untersuchten Fischen überrepräsentiert war. Tatsächlich wurden bei der optisch-subjektiven Beurteilung durch die Bearbeiter 18,5 % der Fische als Gelbaale angesprochen (Abb. 36, rechts, und Abb. 37). 37 % der Aale wies eine Mischfärbung aus dem grau- und oliv-Spektrum auf oder/und zeigte unterhalb der Seitenlinie einen mehr oder weniger breiten gelben Streifen, der bauchseitig in einen farblos silbrigen Bereich überging (Abb. 36, Mitte). Diese Exemplare konnten weder einer gelben, noch silbrig-weißen Färbung zugeordnet werden, weshalb sie als „intermediär gefärbt“ bezeichnet wurden. 44,5 % der Aale entsprachen dem tradiert als Blankaal benannten farblichen Erscheinungsbild (Abb. 36, rechts).

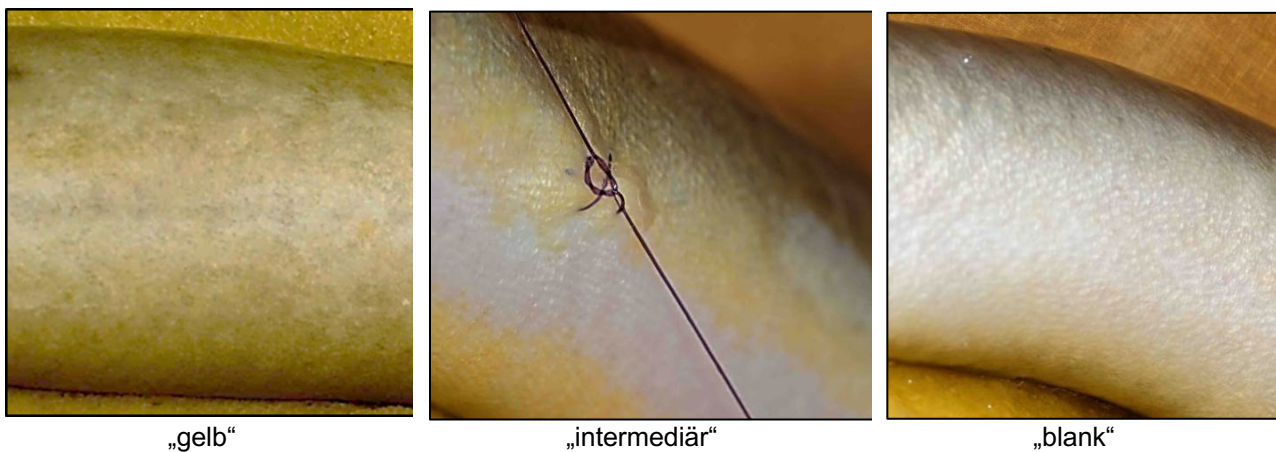


Abb. 36: Färbung der Bauchseite der untersuchten besenderten Aale

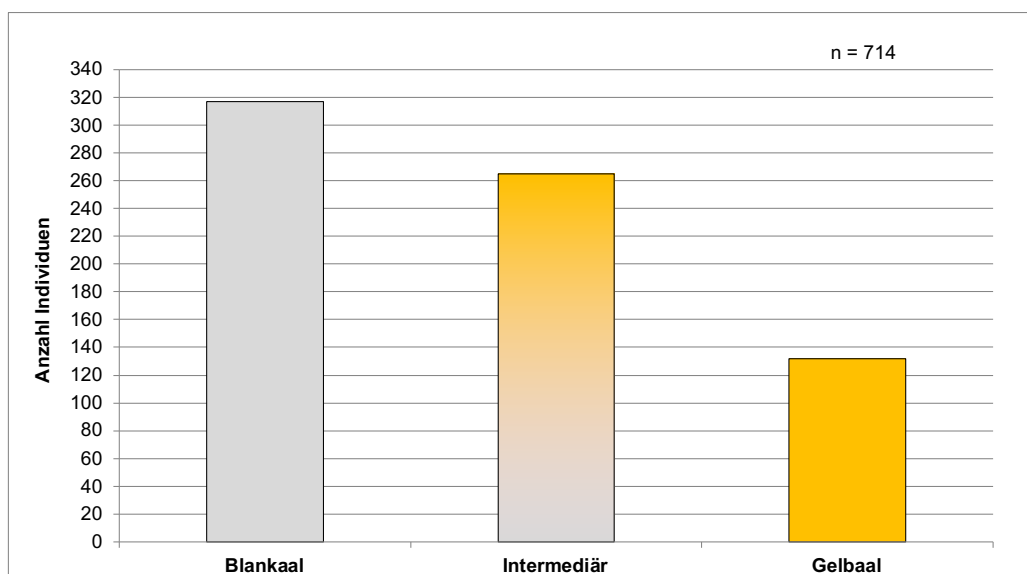


Abb. 37: Häufigkeit der optisch-subjektiv als Blankaal, intermediär gefärbt oder Gelbaal angesprochenen Individuen

Unter den nachweislich abgewanderten Aalen entfielen allerdings 85 % auf solche, die optisch-subjektiv bei ihrer Besenderung aufgrund ihrer silbrigen Färbung als Blankaale angesprochen worden waren (Abb. 38). Nur 10 % waren von den Bearbeitern als intermediär und 5 % als Gelbaale eingeschätzt worden. Somit entsprachen die allermeisten Abwanderer tatsächlich dem klassischen Erscheinungsbild eines Blankaals, während ein geringerer Teil keine typische silbrig-weiße Färbung aufwies und sich trotzdem katadrom verhalten hatte.

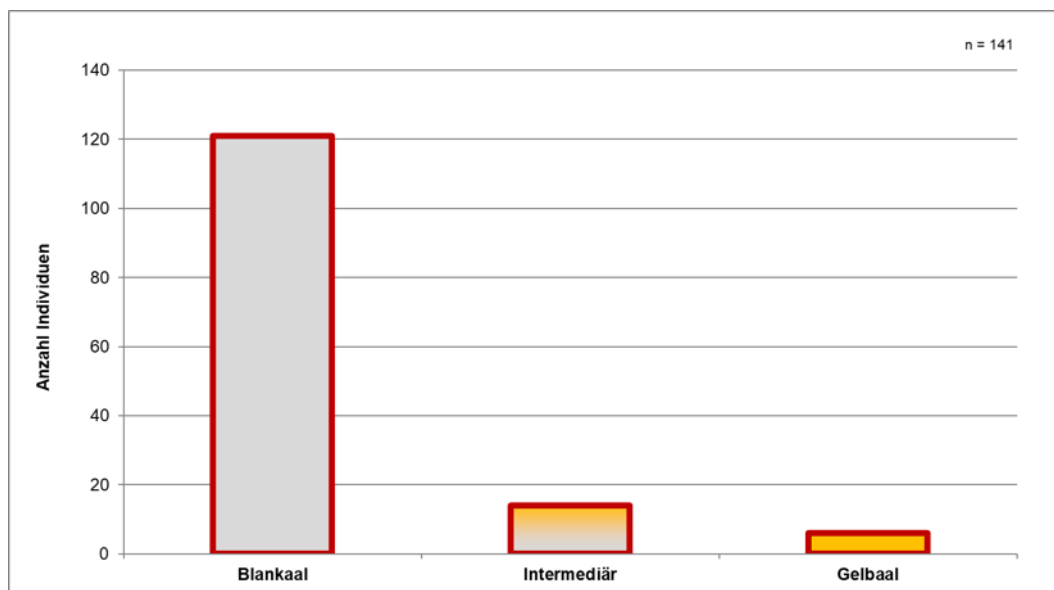
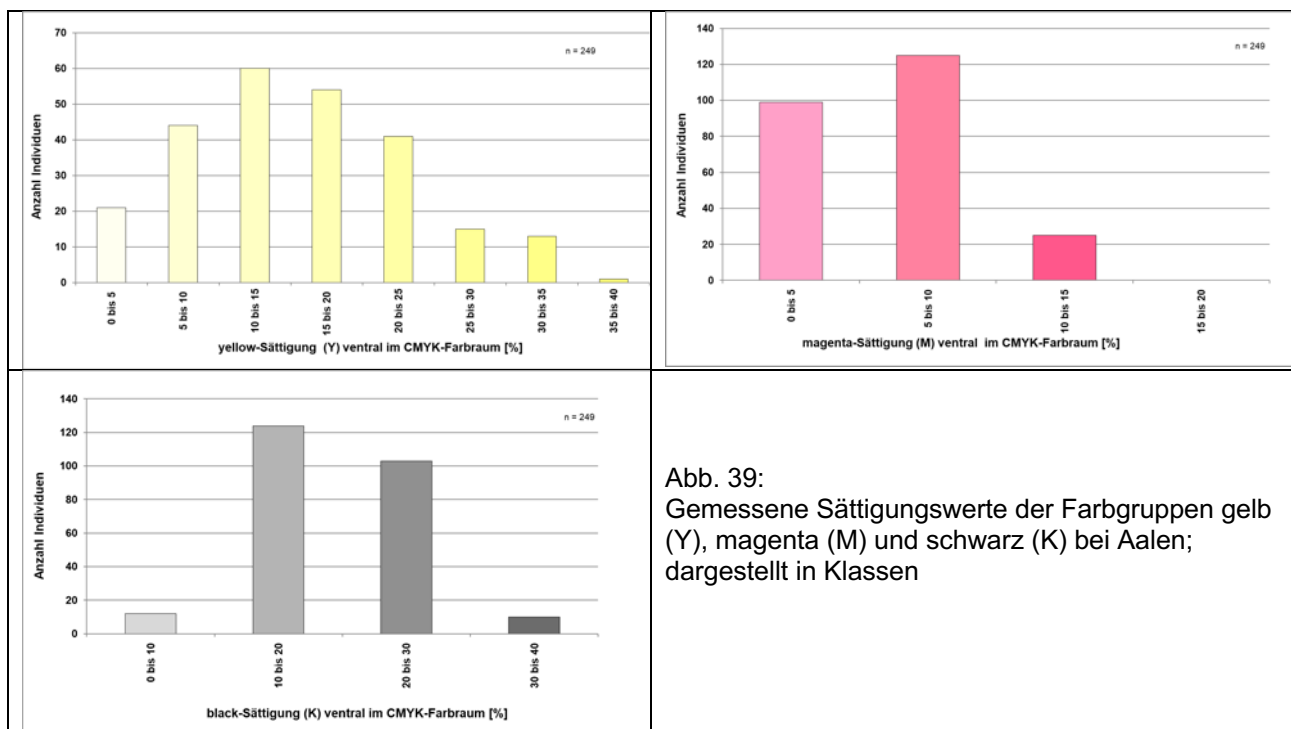


Abb. 38: Häufigkeit der Abwanderer, die bei ihrer Markierung als Blankaal, intermediär gefärbt oder als Gelbaal optisch-subjektiv angesprochen worden waren

4.4.3 Physikalisch-objektive Farbmessungen

Um zumindest Farbgruppen zu definieren zu können, die sich dem Entwicklungsstadium eines Gelb- bzw. Blankaals zuordnen lassen, wurden mit den physikalisch-objektiv gemessenen Farbwerten Clusteranalysen durchgeführt. Insgesamt liegen dieser Auswertung die physikalisch-objektiven Messwerte von der Bauchseite von 249 Aalen (162 Aale aus dem vorliegenden Projekt plus 87 aus dem Projekt „Living Lahn“) zu Grund. Die Analysen führten zu folgenden Befunden unter Verwendung des CMYK-Farbraumes (Kap. 2.2.2.2), da sich dieser als das für die Beschreibung der Färbung von Aalen zutreffendste Farbsystem erwiesen hatte (Abb. 39):

- Die Färbung eines Aals setzt sich aus den drei Grundfarben gelb (Y = yellow), schwarz (K = black) und magenta (M = magenta) zusammen, während die vierte Farbe aus dem Farbraum blau (C = cyan) gänzlich fehlt.
- Die drei Farbgruppen Y, M und K treten nie rein auf. Vielmehr ist gelb (Y) stets magenta (M) im Verhältnis von etwa 4:1 beigemischt.
- Hingegen tritt schwarz (K) unabhängig von gelb-Werten auf und kann der Farbe eines Aals von bis zu 70 % beigemischt sein. Dies erklärt, weshalb die Bauchseite von Gelbaalen und intermediär gefärbten Exemplaren grau oder oliv erscheinen kann.
- Zusätzlich durchgeführte Korrelationsanalysen der identifizierten Farbwerte haben ergeben, dass die Aalhaut auf der Bauchseite vor allem ein gelbes Pigment mit einem gewissen rötlichen Farbanteil und ein schwarzes Pigment enthält (Abb. 40).



Eine statistische Auswertung der physikalisch-objektiv mit einem Spektrometer gemessenen Farben ergab, dass der gelb-Wert mit Abstand am aussagekräftigsten ist (Abb. 40). Insbesondere die letztere Erkenntnis hat dazu geführt, dass bei den weiteren Auswertungen physikalisch-optischer Farbmessungen nur der gelb-Anteil, bzw. die gelb-Sättigung (%) (Y) und analog dazu der schwarz-Anteil (K) im CMYK-Farbraum betrachtet wurde.

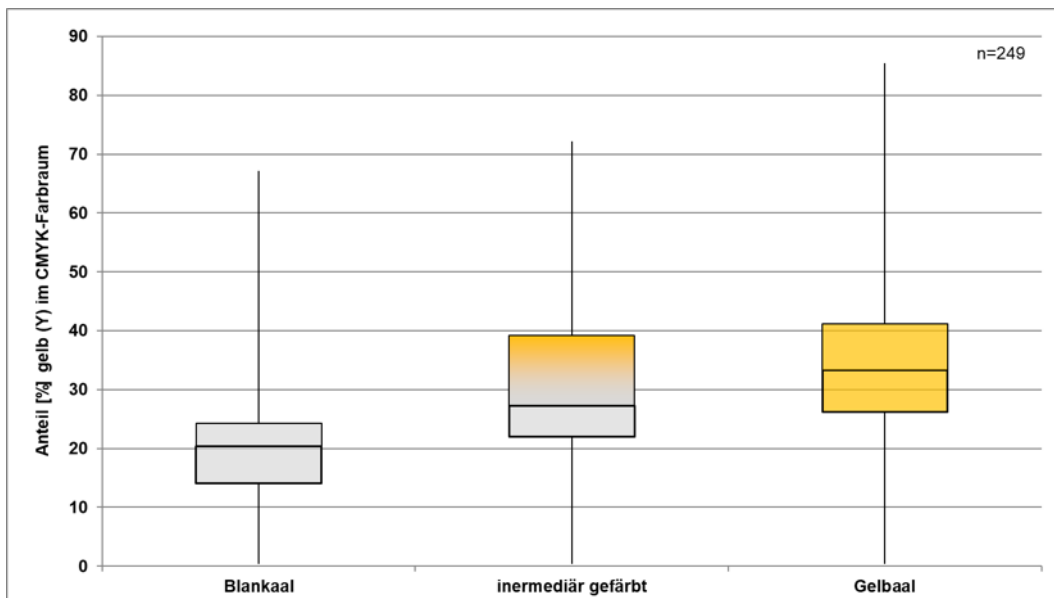


Abb. 40: Anteil des Anteils des gelb-Anteils, resp. der gelb-Sättigung (%) bei Gelb-, intermediär gefärbten und Blankaalen

Entsprechend den spektrometrisch gemessenen Anteilen des gelben Farbpigmentes, resp. der gelb-Sättigung (%) in der Haut der Bauchseite eines Aals, konnten den drei Stadien Gelb- und Blankaal sowie dem intermediär gefärbten Entwicklungsstadium physikalisch-objektive Farbwerte zugewiesen werden. Dabei musste auch das Pigment schwarz berücksichtigt werden, da es maßgeblich für den Kontrast zuständig ist (Kap. 4.4.1, Tab. 5). An dieser Stelle sei ergänzend erwähnt, dass die Färbung eines Blankaales gemäß dem Farbfächer den Farbcodes SO14.05 oder SO14.06 entspricht.

Tab. 5: Definition der Farbanteile, resp. Sättigung (%) der Pigmente gelb und schwarz bei der Färbung der verschiedenen Entwicklungsstadien der Aale

<p>Gelbaal: gelb-Sättigung (Y) bis zu 37 % und schwarz-Sättigung (K) maximal 20 %.</p>	
Y bis 37 %	K bis 20 %
<p>Blankaal: gelb-Sättigung (Y) maximal 16 % bei einem nahezu vollständig fehlendem schwarz-Anteil (K).</p>	
Y unter 16 %	K = 0 %
<p>intermediär gefärbte Aale: es können alle Mischungsverhältnisse der beiden Farbanteile gelb (Y) und schwarz (K) auftreten.</p>	
Y	K

Von besonderem Interesse war ferner, wie sich die besenderten Abwanderer aus dem DBU-Projekt (162 Aale) plus Abwanderer aus dem Projekt „Living Lahn - Ein Fluss viele Ansprüche“ (8 Aale) auf die Farbgruppen gelb (Y) und schwarz (K) verteilt haben. Die Auswertung ergab, dass sich in den beiden Sättigungsklassen Abwanderer befanden (Abb. 41 und Abb. 42). Da dieses Ergebnis von den spektrometrisch gemessenen physikalisch-objektiven Farbwerten abweicht (Tab. 5), ist offenbar keine der definierten Farbgruppen, resp. Sättigungsklassen ein charakteristisches und verlässliches Merkmal für die Abwanderbereitschaft von Blankaalen.

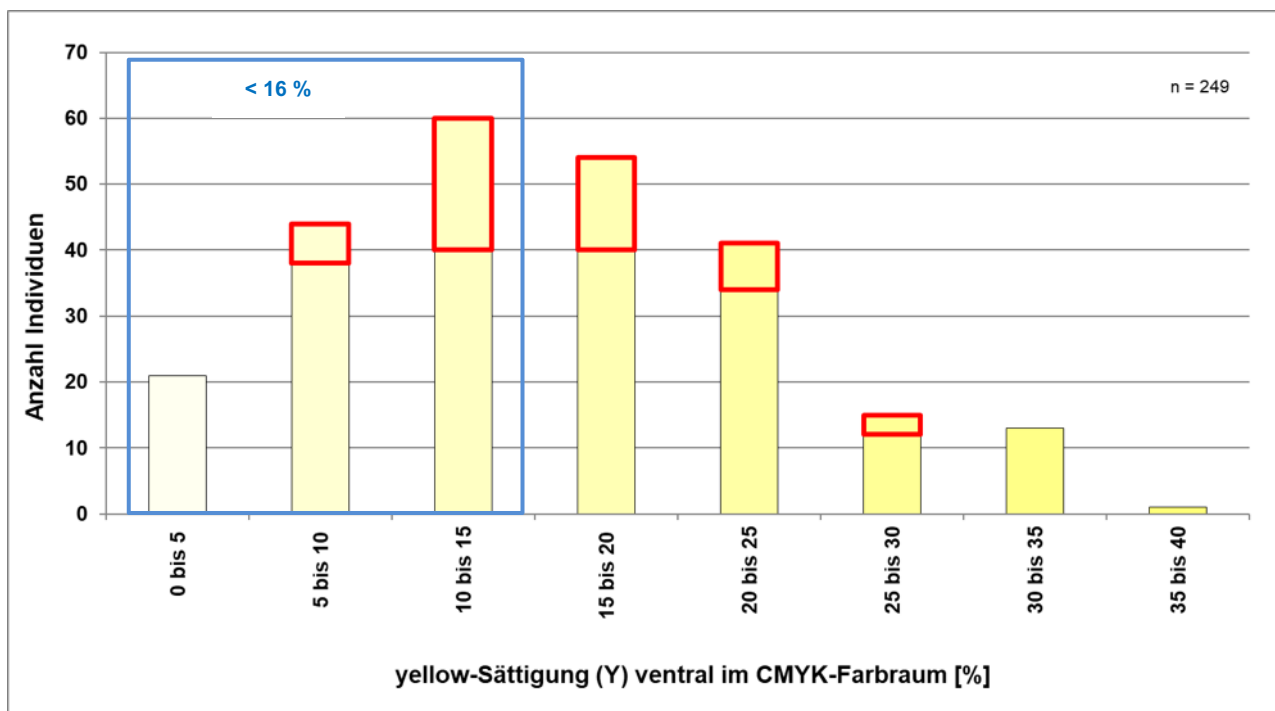


Abb. 41: Verteilung von Abwanderern (rot umrandet) auf die verschiedenen Sättigungsklassen [%] der gelben (Y) Farbgruppe (blau umrandet: gem. Tab. 5 definierte Farbsättigungswerte für Blankaale)

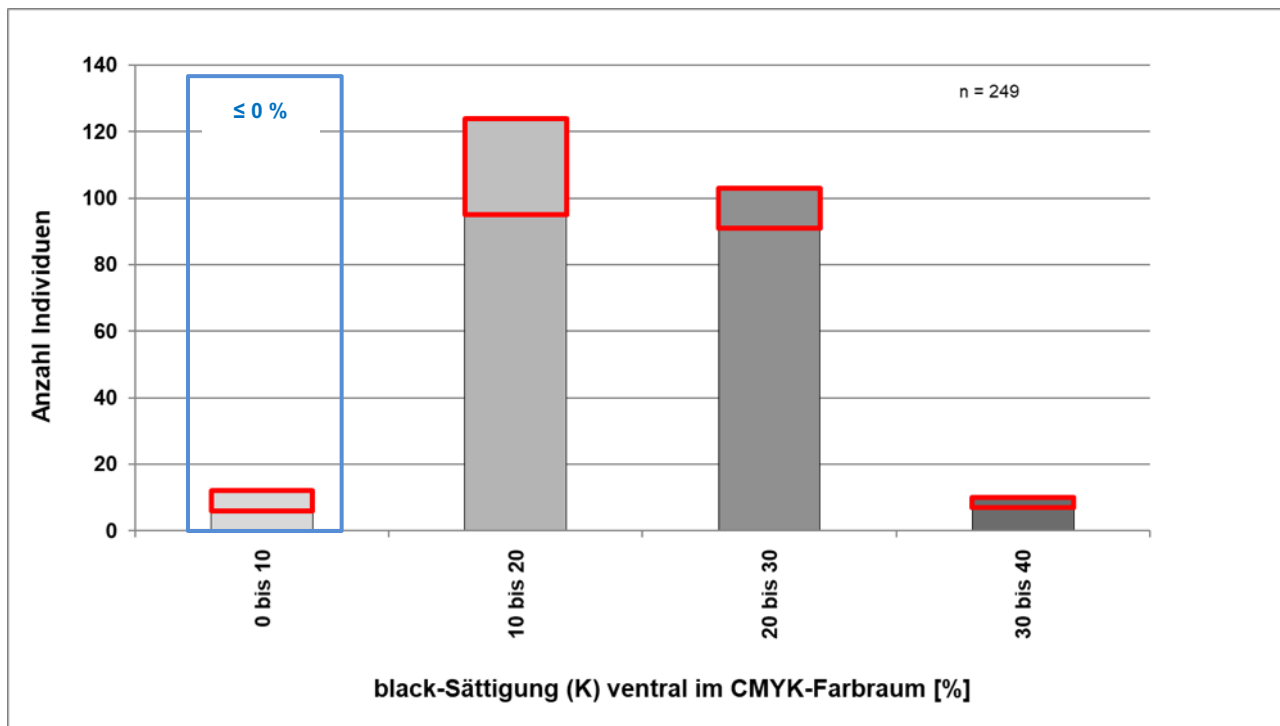


Abb. 42: Verteilung von Abwanderern (rot umrandet) auf die verschiedenen Sättigungsklassen [%] der schwarzen (K) Farbgruppe (blau umrandet: gem. Tab. 5 definierte Farbsättigungswerte für Blankaale)

4.5 STABILITÄT BZW. REVERSIBILITÄT DER FÄRBUNG VON AALEN

Um festzustellen, ob die Färbung von Aalen stabil, veränderlich oder sogar reversibel ist, wurden über die Laufzeit des vorliegenden DBU-Projekts an 10 verschiedenen MIGROMAT®-Standorten insgesamt 1.730 mit einem PIT-Tag individuell markierte Indikатораale in die Hand genommen, um sie auf ihre phänotypischen Merkmale und ihre Färbung zu untersuchen; und das unabhängig davon, ob ein individueller Datensatz vollständig aufgenommen werden konnte. Die erste Untersuchung erfolgte am Tag des Besatzes der Aale in die Hälterbecken eines jeden MIGROMAT®. 7 Monate danach wurde die Untersuchung wiederholt, nachdem die Fische den Hälterbecken entnommen wurden, um sie in dem jeweiligen Fluss, aus denen sie stammten, wieder zu entlassen. Diese Untersuchungen wurden mit dem Ziel durchgeführt, die individuelle Farbkonzanz bzw. -variabilität von Gelb- und Blankaalen, sowie intermediär gefärbten Exemplaren zu untersuchen.

Da es bei Freilandarbeiten kaum Gelegenheiten gibt, dasselbe Fischindividuum innerhalb von mehreren Monaten zweimal in die Hand zu bekommen, wurden knapp 500 Indikатораale für die MIGROMATE® zunächst einer optisch-subjektiven Farbeinschätzung unter Zuhilfenahme des Farbfächers (Abb. 9) unterzogen. Dabei lag der Fokus vor allem auf dem gelb-Anteil (Y) [%] im CMYK Farbraum, der sich bereits in den Voranalysen als besonders

aussagekräftig für die Differenzierung von Gelb- und Blankaalen erwiesen hatte (Kap. 4.4.3). Es zeigte sich, dass sich bei 496 Aalen die optisch-subjektiven Farbeinschätzungen der Bearbeiter nahezu nicht, oder wenn doch, dann nur geringfügig von der Erst- zur Wiederholungsuntersuchung unterschieden (Abb. 43). Dieser Befund war durchaus überraschend und wäre ohne das Hilfsmittel des Farbfächers zweifellos heterogener ausgefallen.

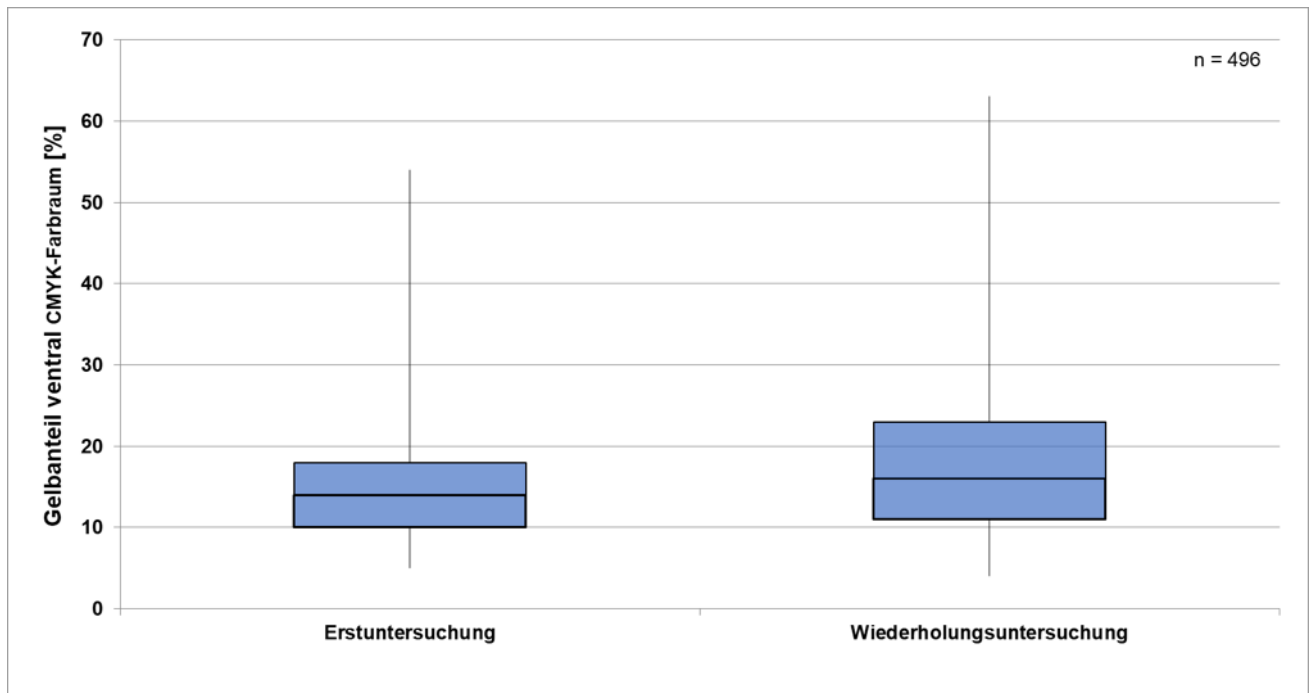


Abb. 43: Optisch-subjektive Einschätzungen des gelb-Anteils der Färbung von Aalen mit Hilfe eines Farbfächers von der Erstuntersuchung bis zur Freilassung

Erste spektrometrische Farbmessungen konnten bei 1.650 Aalen vorgenommen werden, während von dieser Anzahl 1.266 Aale einer Wiederholungsmessung unterzogen wurden. Die Differenz erklärt sich vor allem mit technischen Problemen, wie dem Defekt des Spektrometers und falsch gelesene Codes der PIT Tags mit dem Handlesegerät. Schlussendlich lagen von 730 Aalen vollständige Datensätze von einer Erst- und Wiederholungsmessung ihrer Farben vor.

An dieser Stelle ist zu bemerken, dass als Indikatorale für einen MIGROMAT® grundsätzlich nur Individuen mit einer Mindesttotallänge von 50 cm verwendet werden. Das bedeutet für die vorliegende Fragestellung, dass viele der Indikatorale mit hoher Wahrscheinlichkeit bereits abwanderbereit und dem einem Blankaal entsprechenden Phänotypus aufgewiesen haben, als sie für die Hälterung in einem MIGROMAT® erstmalig farblich untersucht worden waren (Kap. 4.3.1). Dementsprechend ist es nicht verwunderlich,

dass sich nur 3 von 730 der spektrometrisch vermessenen Indikатораale nachweislich nach 7 Monaten vom Gelb- zum Blankaal verändert hatten (Abb. 44). Allerdings haben sich 80 Individuen, die bei der Erstmessung nicht als Gelbaal, sondern farblich als intermediär angesprochen worden waren, zu Blankaalen umgewandelt (Abb. 45). Die Ungenauigkeit der farblichen Zuordnung eines intermediär gefärbten Aals drückt sich nicht zuletzt in der großen Länge der Antennen im Boxplot Diagramm aus, die die Verteilung von 95 % der gemessenen Werte darstellen.

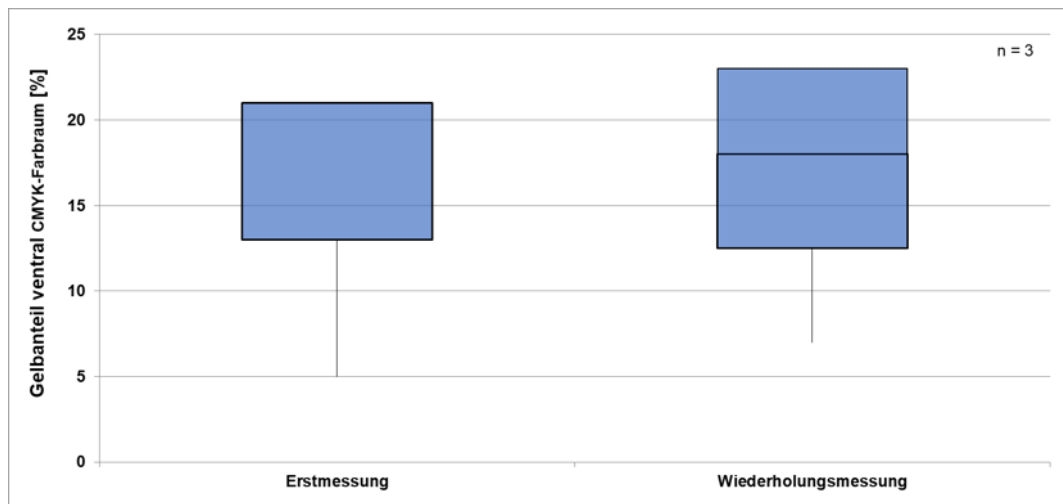


Abb. 44: Wechsel vom Gelb- zum Blankaal

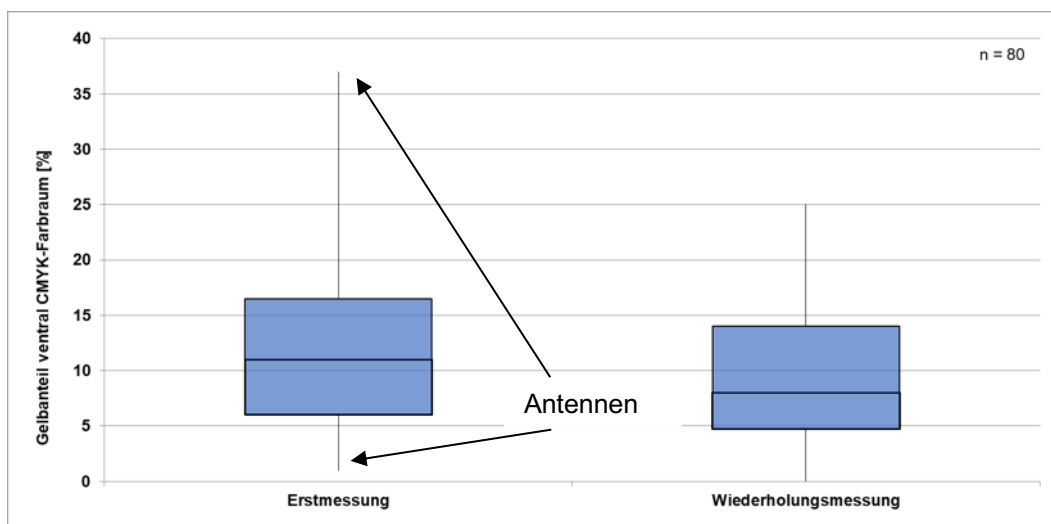


Abb. 45: Wechsel vom intermediär gefärbten Aal zum Blankaal

Wesentlich spannender als die Frage des farblichen Wechsels zum Blankaal ist der allerdings, ob der farbliche Phänotypus konstant oder aber reversibel ist.

Es zeigte sich, dass 143 von 730 Indikатораale vom Blankaal zurück zu einer intermediären Färbung gewechselt sind. Allerdings war trotz der physikalisch-objektiven

spektrometrischen Erstmessung mit der Zuordnung zum Blankaal mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, wie sich einmal mehr an der Länge der Antennen im Boxplot Diagramm erkennen lässt (Abb. 46). Immerhin konnten nur 3 Aale nachgewiesen werden, die sich vom Blank- zum Gelbaal zurück gefärbt hatten (Abb. 47).

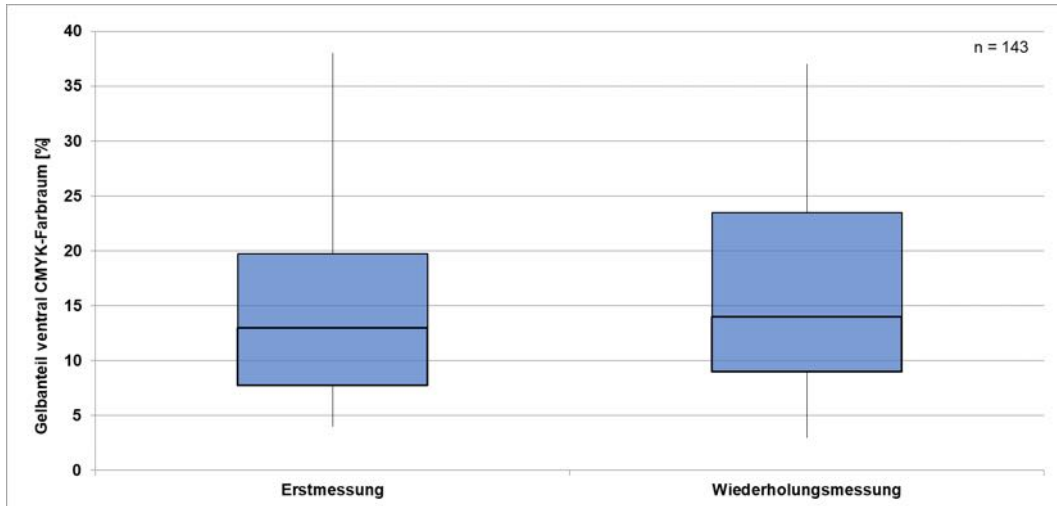


Abb. 46: Rückumwandlung vom Blankaal zum intermediär gefärbten Aal

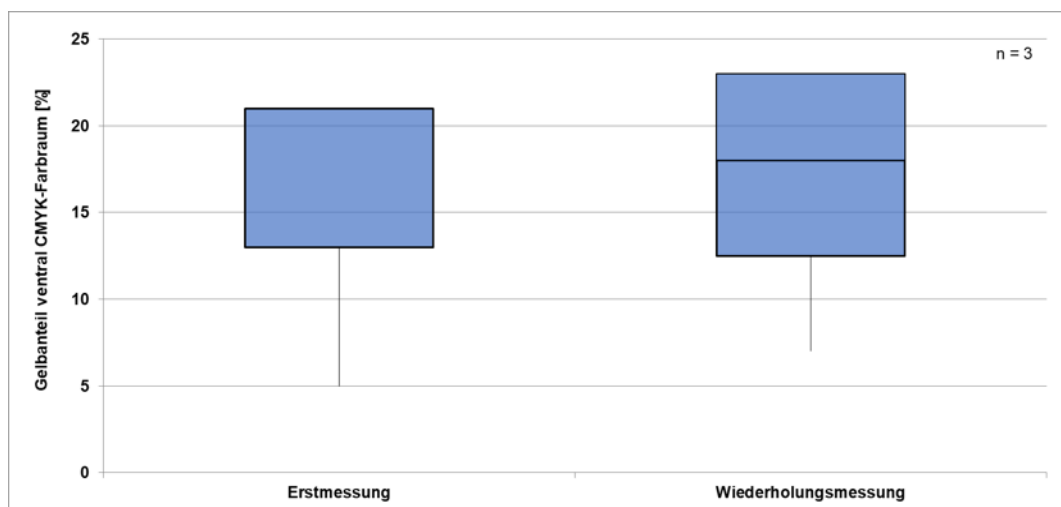


Abb. 47: Rückumwandlung vom Blankaal zum Gelbaal

Die Ergebnisse dieses Untersuchungsansatzes zeigen, dass trotz des eingesetzten Spektrometers für eine objektiv-physikalische Farbmessung die definitive farbliche Differenzierung der Entwicklungsstadien Gelb- und Blankaal mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist. Deshalb müssen viele Exemplare als intermediär gefärbt angesprochen werden. Entsprechend ist eine Rückfärbung vom Blankaal zum intermediär gefärbten Aal wahrscheinlich, während eine solche zum Gelbaal nur sehr selten stattfindet.

4.6 ERKENNTNISSE JENSEITS DEN FRAGESTELLUNGEN DES DBU-PROJEKTS

4.6.1 Aktivität von Aalen übers Jahr

Im Gegensatz zu allen bisher in Deutschland durchgeführten telemetrischen Untersuchungen mit Aalen, wie auch für das Projekt „Living Lahn - Ein Fluss viele Ansprüche“, waren die Hydrophone für das vorliegende DBU-Projekt die gesamte Projektlaufzeit, rund um die Uhr im rheinland-pfälzischen Abschnitt der Lahn exponiert. Die Auswertungen der Bewegungsmuster von insgesamt 80 abwanderaktiven besenderten und in der Lahn aktiven Aalen, davon 8 aus dem hessischen Abschnitt (Tab. 4), offenbarte Erstaunliches: Während die einschlägige Fachliteratur behauptet, dass Aale nur im 4. Jahresquartal, d. h. von Oktober bis Dezember und im 1. Quartal von Januar bis März eine hohe Bewegungsaktivität erwarten lassen, zeigen die Aufzeichnungen im Rahmen des DBU-Projekt, dass eine vergleichbar hohe Aktivität auch im 2. Jahresquartal, d. h. von April bis Juni stattfindet (Abb. 48). Vergleichbare Hinweise wurden zwar bereits in einem Projekt an der Wupper unter Einsatz von HDX PIT-Tags erarbeitet (ADAM et al. 2019), da diese Methodik allerdings nur eine räumlich sehr eingeschränkte Überwachung von Fischbewegungen erlaubt, wurde der im 2. Quartal registrierten hohen Aktivität keine große Bedeutung zugemessen, sondern dieses Phänomen als „Grundrauschen“ abgetan.

Die Erkenntnis, dass Aale auch im zeitigen Frühjahr noch sehr aktiv sein können und auch abwandern, hat nicht zuletzt Auswirkungen auf die im vorliegenden Projekt relevante Fragestellung zur Optimierung des MIGROMAT®, da diese Frühwarnsysteme alljährlich erst im Juli in und bereits Ende Februar wieder außer Betrieb genommen werden.

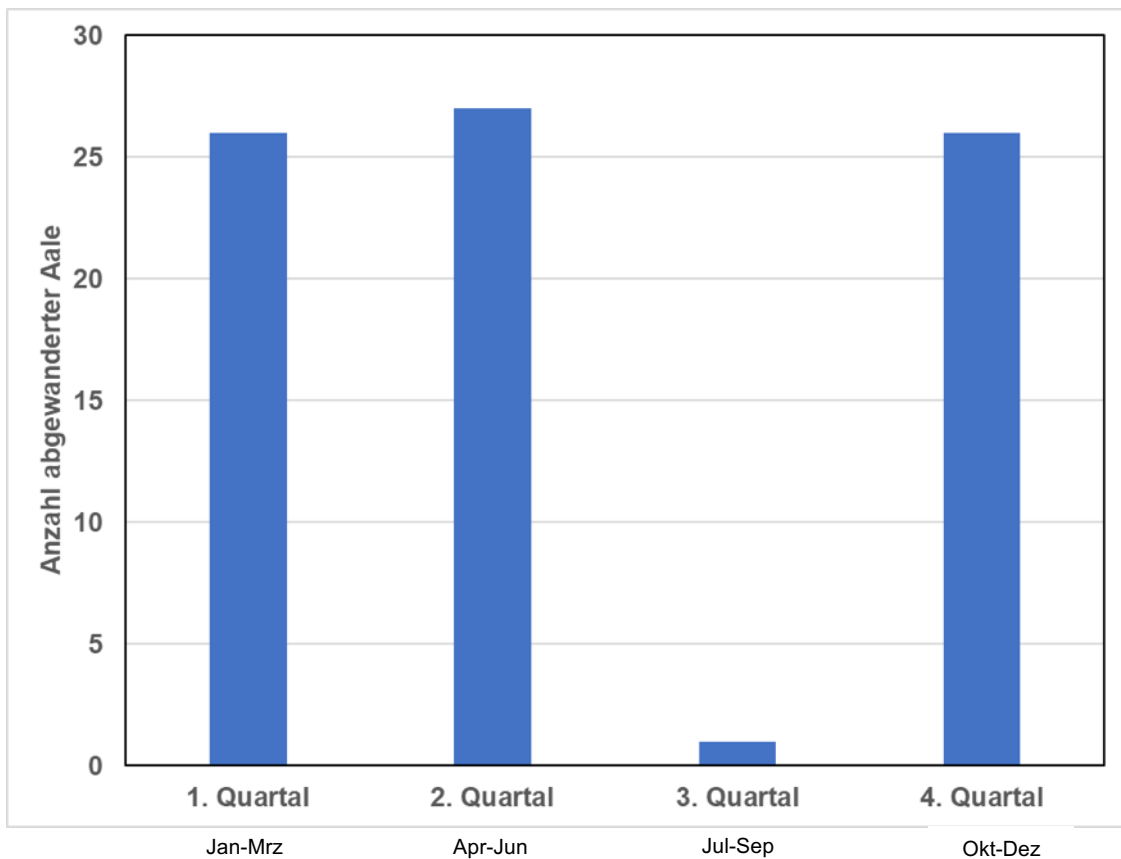


Abb. 48: Verteilung der Abwanderaktivität der besenderten Aale in der Lahn auf die Jahresquartale

4.6.2 Überlebenschancen abwandernder Aale in Lahn

Die chronologische und räumliche Auswertung der Detektionen der Hydrophone zeigt (Tab. 4), wie weit es die abgewanderten besenderten Aale in der Lahn geschafft haben stromabwärts zu ziehen. Das Ergebnis ist ernüchternd: Nur 2 von insgesamt 170 besenderten Aalen haben nachweislich 17 Wasserkraftwerke bis ins Unterwasser der Staustufe Lahnstein überwunden und lebend den Rhein erreicht. Dieser erstmalige Nachweis unterstreicht einmal mehr die Erfordernisse nach auffindbaren Abwanderkorridoren oder aalschützenden Maßnahmen, wie Feinstrechen und Frühwarnsysteme, um ein Eindringen abwandernder Aale in für sie lebensgefährliche Anlagenbereiche von Wasserkraftwerken zu verhindern.

4.6.3 Besatzflucht

Eine artefiziell erhöhte Bewegungsaktivität bei Aalen ist etwa einen Monat nach ihrer Handhabung im Rahmen von Fang, Besenderung, Transport zum Besatzort und Wiederfreilassung zu beobachten (Abb. 48). Hierbei treten Fluchtbewegungen sowohl nach stromauf-, als auch nach stromabwärts auf. Dieses als Besatzflucht zu benennende

20 % auf, Blankaale hingegen haben einen gelb-Anteil von weniger als 16 % bei einem vollständig fehlenden schwarz-Anteil. Alle Aale mit dazwischen liegenden Farbanteilen sind als intermediär gefärbt anzusprechen. Allerdings sind auch objektiv-physikalische Farbmessungen mit einem Spektrometer für die Differenzierung der Entwicklungsstadien Gelb- und Blankaal nicht unbedingt verlässlich, sondern mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.

- 19,5 % der Blankaale, die mit den beschriebenen farblichen Merkmalen als Indikатораale in den MIGROMATEN® zur Hälterung kamen, haben innerhalb von 7 Monaten wieder eine intermediäre Färbung angenommen. Hingegen haben sich nur 3 von 730 blanken Indikатораale wieder gelb zurückgefärbt. Damit ist die Färbung eines „echten“ Blankaals als relativ stabil zu betrachten.
- Da bei der Feldarbeit kaum jedes Mal ein empfindliches Spektrometer mitgeführt werden kann und wird, hat sich der Farbfächer (Abb. 9) als probates Hilfsmittel erwiesen, um die optisch-subjektive Farbeinschätzung mehrere Bearbeiter miteinander abgleichen zu können und damit zu vergleichsweise verlässlichen Einschätzungen der Färbung von Aalen zu gelangen.
- Unter den besenderten Aalen, die in der Lahn abgewandert waren, befanden sich mit etwa 85 % vor allem Blankaale mit deutlich erkennbaren Neuromasten und einem gelb-Anteil von weniger als 16 % und einem vollständig fehlenden schwarz-Anteil.
- Allerdings hat die telemetrische Besenderung auch gezeigt, dass zwar viele dieser phänotypisch als Blankaal angesprochenen Exemplare, aber keineswegs alle, während der dreijährigen Projektlaufzeit tatsächlich stromabwärts gewandert sind.
- Eine weitere Erkenntnis ist, dass die Abwanderung von Aalen keineswegs, wie traditionell angenommen, nur im 4. Quartal eines Jahres stattfindet. Vielmehr wandern Aale auch im 2. Quartal von April bis Juni ab.
- Die Überlebensrate abwandernder Aale in der Lahn über 17 Wehrstandorte mit Wasserkraftnutzung bis zur Mündung beträgt bestenfalls 1 %. Damit hat der telemetrische Untersuchungsansatz im Rahmen des DBU-Projekts die kaum vorhandene Durchgängigkeit der Lahn für Aale nach stromab nachgewiesen.

6 KONSEQUENZEN FÜR DEN BETRIEB DES FRÜHWARNSYSTEM MIGROMAT®

Die Erkenntnisse aus den vorliegenden Untersuchungen führen in Konsequenz auch dazu, den Umgang mit dem Frühwarnsystem MIGROMAT® zu optimieren. Das betrifft einerseits die Auswahl der zum Einsatz kommenden Indikatoraale sowie andererseits die Dauer einer Betriebssaison.

Wurde bisher darauf geachtet, dass die Indikatoraale eine Mindestlänge von 50 cm maßen, so wird künftig darüber hinaus berücksichtigt:

- Eine eindeutig weiß-silbrige Färbung auf der Bauchseite, die entweder spektrometrisch einen gelb-Anteil unter 16 % bei fehlendem schwarz-Anteil aufweist oder gemäß dem Farbfächer den Farbcodes SO14.05 oder SO14.06 entspricht. Zudem müssen die Neuromasten entlang der Seitenlinie als deutliche schwarze Punkte zu erkennen sein (Abb. 50). Mit Aalen eines solchen phänotypischen Erscheinungsbildes sollen die Chancen erhöht werden, dass diese Fische eine vergleichsweise hohe Abwanderwilligkeit erwarten lassen, wenngleich es gemäß den vorliegenden Befunden keine Gewähr dafür gibt, dass solche Individuen auch tatsächlich abwandern.

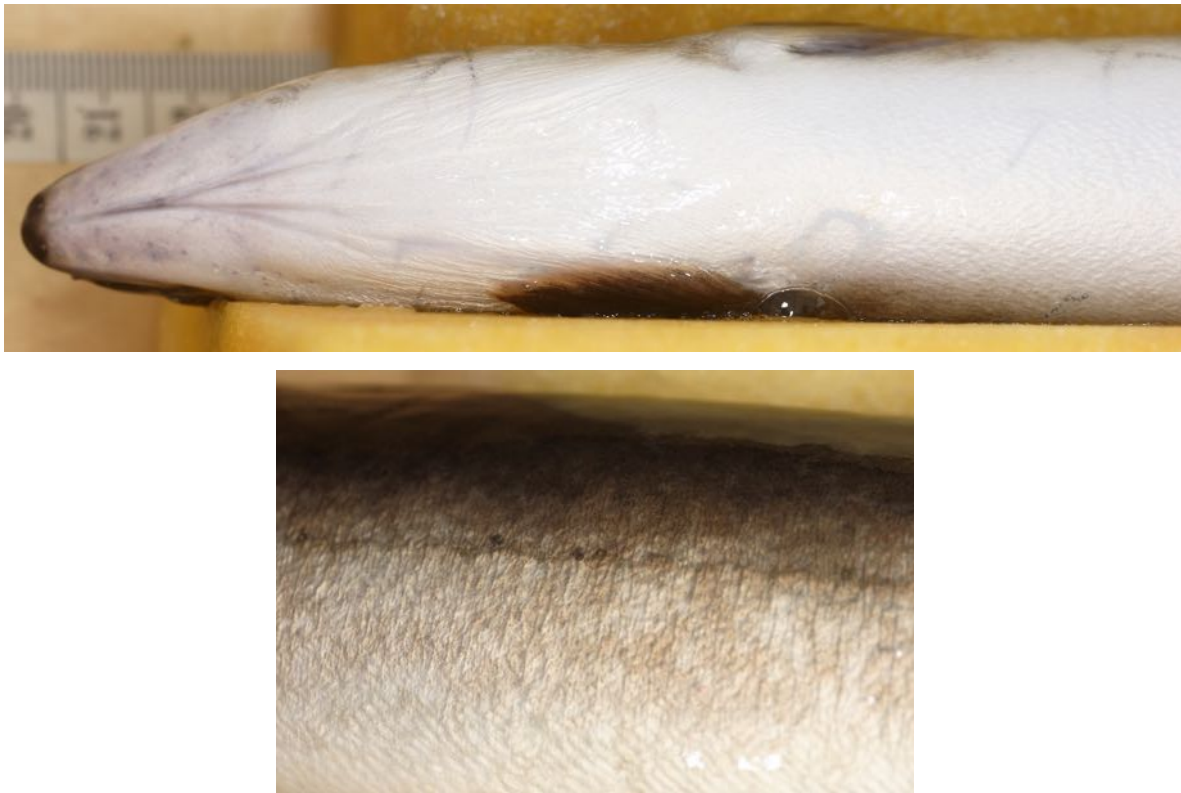


Abb. 50: Phänotypische Merkmale eines Blankaals; Färbung der Bauchseite (oben), Neuromasten entlang der Seitenlinie (unten)

- Die Erkenntnisse zur Verteilung der Aktivität der telemetrisch besenderten Aale im Fluss hat gezeigt, dass Betriebssaison eines MIGROMAT® angepasst werden sollte: Wurden die Indikatoraale bisher erst im Juli in die Hälterbecken eingebracht, sollte dies bereits Anfang des 2. Jahresquartals im April erfolgen. Auch sollte die Beendigung einer Betriebssaison von Ende Februar bis Ende März verlängert werden, da noch im 2. Jahresquartal mit Abwanderereignissen im Fluss zu rechnen ist.

7 LITERATUR

- ACOU, A., P. BOURY, P. LAFFAILLE, A. J. CRIVELLI & E. FEUNTEUN (2005): Towards a standardized characterization of the potentially migrating silver European eel (*Anguilla anguilla*, L.). - Arch. Hydrobiol. 164/2, 237 - 255.
- ADAM, B., O. ENGLER & U. SCHWEVERS (2019). HDX-Wupper. - Projektendbericht, Kirtorf-Wahlen (Institut für angewandte Ökologie), im Auftrag der Bezirksregierung Düsseldorf, 108 S., <http://www.brd.nrw.de/umweltschutz/wasserrahmenrichtlinie/PDF/HDX-Monitoring-Wupper-2019-Endbericht.pdf>
- ADAM, B., A. THOMPSON, S. MÖGELTÖNDER-LÖWENBERG & F. DERSCH (2021): Ergebnisse der telemetrischen Untersuchungskampagne 2021/22; im Rahmen des Konzepts für ein Wasserkraftanlagen-Management zum Schutz abwandernder Blankaale in der Lahn. - 1. Projektbericht „Living Lahn“, 63 S.
- ADAM, B., F. DERSCH & S. MÖGELTÖNDER-LÖWENBERG & (2023): Ergebnisse der telemetrischen Untersuchungskampagne 2020/21; im Rahmen des Konzepts für ein Wasserkraftanlagen-Management zum Schutz abwandernder Blankaale in der Lahn. - 3. Projektbericht „Living Lahn“, 31 S.
- ADAM, B. & U. Schwevers (2024): Telemetrische Untersuchungen zum Abwanderverhalten von Blankaalen im Main. - Wasserwirtschaft 114/4 (in Druck).
- DURIF, C., S. DUFOUR & P. ELIE (2005): The silvering process of *Anguilla anguilla*: a new classification from the yellow resident to the silver migrating sager. - J. Fish Biol. 66, 1025 - 1043.
- DURIF, C., A. GUIBERT & P. ELIE (2009): Morphological discrimination of the silvering stages of the European eel. - In: Casselman, J. M., Cairns, D. K. (Hrsg.): Eels at the edge: science, status, and conservation concerns. Bethesda, Maryland (American Fisheries Society, Symposium 58), 103 - 111.
- MARCHELIDON, J., N. LE BELLE, N., A. HARDY, B. VIDAL, M. SBAIHI, E. BURZAWA-GERARD, M. SCHMITZ & S. DUFOUR (1999): Étude des variations de paramètres anatomiques et endocriniens chez l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) femelle, sédentaire et d'avalaison: Application à la caractérisation du stade argenté. - Bull. Fr. Pêche Piscic., 355, 349 - 368.
- NASH, R. D. M., A. H. VALENCIA & A. J. Geffen (2006): The Origine of Fulton's Condition Factor: Setting the Record Straight. - Fisheries, Vol 31, No 5, 236 - 238.

- PANKHURST, N. W. & J. N. LYTHGOE (1983): Changes in vision and olfaction during sexual maturation in the European eel *Anguilla anguilla* (L.). - J. Fish Biol. 23, 229 - 240.
- SCHWEVERS, U. & B. ADAM (2024): Fisch & Chips: RFID in der Fischökologie. - Springer Verlag (in Vorbereitung).
- SCHWEVERS, U. & B. ADAM (2019): Biometrie einheimischer Fischarten als Grundlage für die Bemessung von Fischwegen und Fischschutzanlagen. - Wasser und Abfall 21/1+2, 46 - 52.
- TESCH, F. W. (1983): Der Aal: Biologie und Fischerei. - Hamburg (Verlag Paul Parey) 2. Auflage, 340 S.
- VOIGT, R., A. G. CARTON & J. C. MONTGOMERY (2000): Response of anterior lateral line afferent neurones to water flow. - J. Exp. Biol. 203, 2495 - 2502.
- ZACCHEI, A. M. & P. TAVOLARO (1988): Lateral line system during the life cycle of *Anguilla anguilla* L. - Bull. Zool. 3, 145 - 153.
- www.fischlexikon.eu / letzter Abruf 15. April 2022

ANHANG I - PROTOKOLLE DER PHÄNOTYPISCHEN MERKMALE VON 162 BESENDERTEN AALEN

Sender Code	Totallänge [mm]	Gewicht [g]	Länge Brustflosse [mm]	Auge 1 ø 1. Messung horizontal [mm]	Auge 1 ø 2. Messung [mm]; vertikal	Körperumfang [mm]	Farbcode Farbfächer ventral	Farbfächer Darstellung RGB ventral	L	b	C	M	Y	K	R	G	B	Neuromasten; 0 = nein; 1 = ja	Phänotyp; G = Gelbaal; B = Blankaal; I = Intermediär	Kontrast; KD = deutlich; KM = mittel; KS = schwach	Korpulenzfaktor (10 ⁵ *M*LT ³)	Brustflossenindex (100*LFP*LT ¹)	Okularindex (((AR+BR)/4)*((AL+BL)/4)*Pi/LT)*100	letzte Detektion Quartal/Jahr
1E7D	795	972	33,5	6,5	6,4	141	004.01		75,70	73,50	0	32	86	2	251	170	11	0	G	KM	0,19	4,21	4,14	1/22
F0D7	710	537	25,0	7,5	7,7	110	004.01		75,70	73,50	0	32	86	2	251	170	11	1	G	KS	0,15	3,52	6,39	2/22
3D37	730	541	27,5	6,3	6,4	114	004.01		75,70	73,50	0	32	86	2	251	170	11	0	G	KM	0,14	3,77	4,34	
988C	650	460	24,2	5,9	5,9	107	004.02		81,10	63,50	0	22	67	3	248	193	76	0	G	KS	0,17	3,72	4,21	
0E2A	680	582	28,7	6,5	6,5	122	004.02		81,10	63,50	0	22	67	3	248	193	76	0	I	KS	0,19	4,22	4,88	1/22
0116	810	1014	33,0	6,7	6,4	145	004.02		81,10	63,50	0	22	67	3	248	193	76	0	G	KD	0,19	4,07	4,16	
EE4F	645	398	21,7	5,6	5,7	100	002.01		75,00	68,60	0	20	72	10	229	177	45	1	G	KM	0,15	3,36	3,89	
DD92	750	660	26,4	8,0	7,9	120	002.01		75,00	68,60	0	20	72	10	229	177	45	1	G	KS	0,16	3,52	6,62	2/22
6DF8	820	1068	33,0	6,5	6,6	160	002.01		75,00	68,60	0	20	72	10	229	177	45	0	I	KM	0,19	4,02	4,11	4/21
F745	580	344	25,0	6,7	6,8	98	076.03		59,60	15,60	0	8	17	37	160	141	116	0	I	KS	0,18	4,31	6,17	1/22
4D8B	655	441	22,5	5,5	5,5	103	004.03		84,50	59,40	0	17	61	2	249	206	94	1	G	KM	0,16	3,44	3,64	2/22
EB6C	765	758	34,5	6,8	6,7	124	004.03		84,50	59,40	0	17	61	2	249	206	94	1	I	KM	0,17	4,51	4,69	4/21

5B05	730	561	35,0	6,0	6,0	115	004.03	84,50	59,40	0	17	61	2	249	206	94	0	G	KM	0,14	4,79	3,86	1/22
C0A5	585	346	26,0	4,9	5,0	97	004.03	84,50	59,40	0	17	61	2	249	206	94	0	G	KM	0,17	4,44	3,29	2/22
433F	660	426	24,3	5,8	5,7	100	004.03	84,50	59,40	0	17	61	2	249	206	94	0	G	KM	0,15	3,68	3,93	
6910	660	580	23,7	5,6	5,4	125	004.03	84,50	59,40	0	17	61	2	249	206	94	0	I	KS	0,20	3,59	3,60	1/22
F1B6	665	478	24,7	6,4	6,6	105	004.03	84,50	59,40	0	17	61	2	249	206	94	0	I	KS	0,16	3,71	4,99	
118C	680	662	23,0	6,4	6,4	138	004.03	84,50	59,40	0	17	61	2	249	206	94	0	I	KS	0,21	3,38	4,73	
A0D2	705	586	28,5	6,4	6,2	125	004.03	84,50	59,40	0	17	61	2	249	206	94	0	I	KM	0,17	4,04	4,42	
FA91	710	590	22,0	7,1	7,1	118	004.03	84,50	59,40	0	17	61	2	249	206	94	1	G	KS	0,16	3,10	5,58	4/21
2FB2	730	820	28,7	6,4	6,6	142	004.03	84,50	59,40	0	17	61	2	249	206	94	0	I	KM	0,21	3,93	4,55	
95FF	830	950	29,7	6,8	6,8	140	004.03	84,50	59,40	0	17	61	2	249	206	94	0	G	KS	0,17	3,58	4,38	1/22
BD53	750	709	32,0	7,8	7,6	128	082.05	94,70	11,00	0	7	15	0	255	237	217	1	B	KD	0,17	4,27	6,24	
866A	605	348	23,2	5,6	5,8	93	082.05	94,70	11,00	0	7	15	0	255	237	217	1	B	KS	0,16	3,83	4,22	
C0CE	705	578	25,6	6,5	6,5	119	082.05	94,70	11,00	0	7	15	0	255	237	217	1	B	KD	0,16	3,63	4,71	
D3C4	625	410	25,7	6,0	6,0	103	040.03	60,00	38,10	0	11	37	33	170	141	76	1	G	KM	0,17	4,11	4,51	2/22
907D	555	378	25,0	5,5	5,5	86	040.04	67,10	38,10	0	12	38	26	190	159	93	1	G	KS	0,22	4,50	4,30	1/22
1947	630	384	23,5	5,5	5,5	97	076.04	89,80	21,40	0	9	24	4	246	223	184	0	I	KD	0,15	3,73	3,79	2/22
80D1	770	800	33,8	8,0	7,8	128	076.04	89,80	21,40	0	9	24	4	246	223	184	1	I	KM	0,18	4,39	6,38	2/22
3E00	800	805	35,0	7,0	6,9	130	076.04	89,80	21,40	0	9	24	4	246	223	184	0	G	KS	0,16	4,38	4,74	
C8A2	815	980	34,0	7,2	7,1	139	076.04	89,80	21,40	0	9	24	4	246	223	184	0	I	KD	0,18	4,17	4,92	
E4A5	650	476	22,8	6,4	6,4	112	076.04	89,80	21,40	0	9	24	4	246	223	184	0	I	KS	0,17	3,51	4,95	
E086	720	702	35,0	7,5	7,4	132	076.05	96,10	21,40	0	6	21	0	255	241	201	1	B	KD	0,19	4,86	6,02	4/21
F8D2	655	456	24,0	5,8	5,7	105	076.05	96,10	21,40	0	6	21	0	255	241	201	1	B	KM	0,16	3,66	3,96	
F620	690	508	26,0	7,0	6,9	104	039.03	56,50	26,80	0	8	26	40	154	133	88	1	G	KS	0,15	3,77	5,50	
A174	865	1058	36,6	8,6	8,4	145	039.03	56,50	26,80	0	8	26	40	154	133	88	0	G	KM	0,16	4,23	6,53	
A740	690	519	25,0	5,6	5,8	110	039.03	56,50	26,80	0	8	26	40	154	133	88	1	I	KS	0,16	3,62	3,70	
8C0D	720	675	36,0	10,3	10,0	130	078.02	37,30	11,80	0	4	11	62	97	86	68	1		KS	0,18	5,00	####	4/21
2E5F	675	414	28,0	7,0	6,9	98	078.03	65,90	15,60	0	6	17	32	174	158	131	0	I	KS	0,13	4,15	5,62	
F96E	875	1293	37,0	10,0	10,0	165	078.05	96,10	15,60	0	5	17	0	255	242	212	1	B	KS	0,19	4,23	8,98	
D86F	875	1339	35,0	8,8	8,5	162	078.05	96,10	15,60	0	5	17	0	255	242	212	0	B	KS	0,20	4,00	6,72	4/21
5C07	580	345	25,0	5,5	5,5	94	038.03	71,30	32,60	0	10	33	23	197	172	114	1	I	KM	0,18	4,31	4,11	
5733	690	603	29,5	6,2	6,2	119	038.03	71,30	32,60	0	10	33	23	197	172	114	1	G	KM	0,18	4,28	4,35	1/22
B84F	585	380	22,2	5,6	5,9	100	038.02	62,40	32,50	0	9	31	33	171	149	92	0	G	KS	0,19	3,79	4,44	2/22
61BD	635	413	24,6	5,7	5,8	100	073.03	65,10	25,90	0	0	0	0	176	156	112	1	G	KS	0,16	3,87	4,09	
E1CE	720	726	26,2	7,7	7,7	125	073.03	65,10	25,90	0	0	0	0	176	156	112	1	I	KS	0,19	3,64	6,47	

82F6	635	476	27,0	7,8	7,6	113	073.05	96,50	25,90	0	5	24	0	255	243	193	1	B	KD	0,19	4,25	7,36	
9340	760	724	29,0	5,5	5,5	125	073.05	96,50	25,90	0	5	24	0	255	243	193	0	I	KM	0,16	3,82	3,14	2/22
B596	655	521	29,0	7,9	7,7	119	073.05	96,50	25,90	0	5	24	0	255	243	193	1	B	KM	0,19	4,43	7,32	1/22
5340	870	1174	33,5	9,0	8,7	150	073.05	96,50	25,90	0	5	24	0	255	243	193	1	B	KD	0,18	3,85	7,10	4/21
6215	690	651	25,2	7,3	7,2	130	073.05	96,50	25,90	0	5	24	0	255	243	193	1	B	KD	0,20	3,65	5,98	4/21
E420	775	725	27,4	6,5	6,4	130	073.05	96,50	25,90	0	5	24	0	255	243	193	0	I	KS	0,16	3,54	4,22	
B715	700	612	29,5	6,6	6,3	124	075.04	76,10	8,30	0	3	9	24	194	187	171	0	B	KD	0,18	4,21	4,67	
4D98	600	361	26,5	5,0	5,1	95	002.02	81,00	49,30	0	12	48	10	229	199	106	0	I	KD	0,17	4,42	3,32	1/22
5668	620	437	28,3	6,2	6,2	101	002.02	81,00	49,30	0	12	48	10	229	199	106	0	I	KD	0,18	4,56	4,84	
89B7	660	498	27,8	6,2	6,2	110	002.02	81,00	49,30	0	12	48	10	229	199	106	0	I	KD	0,17	4,21	4,55	
7099	855	992	34,5	7,0	6,9	142	002.02	81,00	49,30	0	12	48	10	229	199	106	0	I	KD	0,16	4,04	4,44	2/22
D825	750	783	34,0	7,5	7,4	130	002.02	81,00	49,30	0	12	48	10	229	199	106	1	I	KD	0,19	4,53	5,78	
4227	770	819	34,0	6,5	6,4	130	002.02	81,00	49,30	0	12	48	10	229	199	106	0	I	KD	0,18	4,42	4,27	
4488	655	395	26,9	6,0	6,0	103	039.04	94,10	23,70	0	7	25	0	255	237	191	1	G	KM	0,14	4,11	4,30	
A3B4	780	913	26,2	9,3	9,0	142	074.05	94,50	22,10	0	7	24	0	255	238	195	1	B	KM	0,19	3,36	8,44	2/22
7847	800	954	33,5	9,0	8,7	145	074.05	94,50	22,10	0	7	24	0	255	238	195	1	B	KM	0,19	4,19	7,72	1/22
3FA3	810	976	37,0	8,0	7,8	143	074.05	94,50	22,10	0	7	24	0	255	238	195	1	B	KD	0,18	4,57	6,06	3/22
7323	660	495	27,7	6,2	6,2	113	074.05	94,50	22,10	0	7	24	0	255	238	195	1	I	KM	0,17	4,20	4,57	01/22
B19C	755	767	26,7	6,9	7,2	127	074.05	94,50	22,10	0	7	24	0	255	238	195	1	I	KS	0,18	3,54	5,17	
5085	615	355	24,0	6,1	6,0	90	074.02	49,00	16,50	0	4	15	51	126	116	88	1	G	KM	0,15	3,90	4,67	
7563	550	301	21,2	4,8	5,0	97	001.01	57,70	43,60	0	9	40	37	160	137	59	1	G	KS	0,18	3,85	3,43	
7601	750	713	28,4	6,9	6,6	125	001.01	57,70	43,60	0	9	40	37	160	137	59	1	I	KM	0,17	3,79	4,77	
A0B1	615	434	26,0	7,2	7,1	110	074.04	65,90	16,50	0	5	16	33	171	159	130	1	I	KM	0,19	4,23	6,51	3/21
C47E	625	452	27,3	5,3	5,6	110	038.01	34,10	39,10	0	6	34	63	95	79	9	0	I	KM	0,19	4,37	3,73	
4938	585	260	25,3	6,1	6,1	89	002.03	82,30	41,50	0	10	41	10	229	203	125	0	I	KM	0,13	4,32	4,98	
4288	610	410	23,5	5,5	5,5	100	002.03	82,30	41,50	0	10	41	10	229	203	125	0	I	KD	0,18	3,85	3,91	
D8E8	615	354	28,0	5,0	5,1	98	002.03	82,30	41,50	0	10	41	10	229	203	125	0	I	KM	0,15	4,55	3,24	
945D	635	448	28,0	6,1	6,1	106	002.03	82,30	41,50	0	10	41	10	229	203	125	0	I	KD	0,17	4,41	4,58	
4797	730	722	31,7	7,5	7,4	129	002.03	82,30	41,50	0	10	41	10	229	203	125	1	I	KM	0,19	4,34	5,94	4/22
4398	770	844	37,5	6,5	6,4	135	002.03	82,30	41,50	0	10	41	10	229	203	125	1	I	KD	0,18	4,87	4,27	4/22
BF4F	805	877	36,5	7,3	7,2	133	002.03	82,30	41,50	0	10	41	10	229	203	125	0	I	KD	0,17	4,53	5,11	2/22
1A79	685	413	32,0	6,0	6,0	95	002.03	82,30	41,50	0	10	41	10	229	203	125	0	G	KM	0,13	4,67	4,12	1/22
DEC3	725	501	31,5	7,8	7,6	100	002.03	82,30	41,50	0	10	41	10	229	203	125	1	I	KD	0,13	4,34	6,45	
0EF9	755	683	32,5	7,0	6,9	120	002.03	82,30	41,50	0	10	41	10	229	203	125	1	I	KM	0,16	4,30	5,02	1/22

8AB6	605	396	21,8	5,4	5,5	105	002.03		82,30	41,50	0	10	41	10	229	203	125	0	I	KD	0,18	3,60	3,86	1/22
8D40	665	481	27,0	5,5	5,5	106	040.04		89,30	39,70	0	10	40	3	248	223	147	0	G	KM	0,16	4,06	3,59	2/22
D482	775	585	35,0	8,0	7,8	140	004.04		89,30	39,70	0	10	40	3	248	223	147	0	I	KM	0,13	4,52	6,34	
FDB8	610	375	25,0	5,6	5,5	100	004.04		89,30	39,70	0	10	40	3	248	223	147	1	I	KD	0,17	4,10	3,97	2/22
11D9	655	484	27,8	5,9	6,0	118	004.04		89,30	39,70	0	10	40	3	248	223	147	0	I	KD	0,17	4,24	4,25	2/22
2980	595	392	21,6	5,7	5,9	95	004.04		89,30	39,70	0	10	40	3	248	223	147	1	G	KS	0,19	3,63	4,44	
51E0	665	463	25,8	7,5	7,1	107	004.04		89,30	39,70	0	10	40	3	248	223	147	1	G	KS	0,16	3,88	6,29	1/23
19CF	625	396	23,0	6,5	6,5	100	004.04		89,30	39,70	0	10	40	3	248	223	147	0	I	KS	0,16	3,68	5,31	
7181	625	428	23,6	6,1	6,0	100	004.04		89,30	39,70	0	10	40	3	248	223	147	1	I	KM	0,18	3,78	4,60	1/22
9E68	680	533	28,5	7,3	7,1	110	004.04		89,30	39,70	0	10	40	3	248	223	147	0	G	KS	0,17	4,19	5,99	2/22
C1E4	685	597	24,1	8,3	8,3	126	004.04		89,30	39,70	0	10	40	3	248	223	147	1	I	KD	0,19	3,52	7,90	4/21
8403	705	654	24,5	6,3	6,2	130	004.04		89,30	39,70	0	10	40	3	248	223	147	1	G	KS	0,19	3,48	4,35	2/22
FD02	710	744	27,1	7,4	7,3	137	004.04		89,30	39,70	0	10	40	3	248	223	147	1	I	KD	0,21	3,82	5,98	2/22
332A	695	593	28,2	6,7	6,6	114	004.04		89,30	39,70	0	10	40	3	248	223	147	1	G	KM	0,18	4,06	5,00	
2093	765	864	30,5	6,2	6,3	140	004.04		89,30	39,70	0	10	40	3	248	223	147	0	I	KM	0,19	3,99	4,01	
7066	805	1009	37,0	8,0	7,8	149	039.05		95,60	19,60	0	5	20	0	255	242	203	1	B	KM	0,19	4,60	6,10	
D2D9	625	342	24,0	5,2	5,3	96	039.05		95,60	19,60	0	5	20	0	255	242	203	0	G	KM	0,14	3,84	3,46	4/21
9156	755	620	28,8	8,3	8,2	120	039.05		95,60	19,60	0	5	20	0	255	242	203	1	B	KD	0,14	3,81	7,08	4/21
B3A7	775	912	30,0	8,7	8,5	150	039.05		95,60	19,60	0	5	20	0	255	242	203	1	B	KD	0,20	3,87	7,50	2/22
A77B	720	606	31,0	8,0	7,8	113	037.03		54,10	30,60	0	6	27	44	144	129	78	1	G	KS	0,16	4,31	6,82	2/22
D453	650	477	26,0	5,0	5,1	107	037.04		62,80	30,60	0	7	28	34	168	151	96	1	G	KS	0,17	4,00	3,06	
3370	840	1104	35,0	8,5	8,3	145	037.04		62,80	30,60	0	7	28	34	168	151	96	1	G	KS	0,19	4,17	6,58	
D77A	655	456	30,0	7,3	7,2	108	073.04		65,50	25,90	0	6	24	32	173	158	112	0	I	KD	0,16	4,58	6,28	2/22
A1E5	805	1077	35,0	7,0	6,9	150	073.04		65,50	25,90	0	6	24	32	173	158	112	0	I	KM	0,21	4,35	4,71	
5E8E	710	581	26,4	6,4	6,4	115	073.04		65,50	25,90	0	6	24	32	173	158	112	1	I	KM	0,16	3,72	4,53	
9C93	740	654	27,7	6,6	6,5	130	073.05		77,30	30,60	0	7	29	18	208	190	133	0	I	KS	0,16	3,74	4,55	1/22
5D18	595	344	24,0	6,0	6,0	94	002.04		84,20	32,60	0	8	32	10	229	209	147	0	I	KD	0,16	4,03	4,74	
FAE0	745	823	36,0	7,5	7,4	129	002.04		84,20	32,60	0	8	32	10	229	209	147	1	I	KD	0,20	4,83	5,82	
B80B	775	894	31,5	6,5	6,4	140	002.04		84,20	32,60	0	8	32	10	229	209	147	1	I	KD	0,19	4,06	4,24	
42DE	630	371	26,0	6,3	6,3	96	002.04		84,20	32,60	0	8	32	10	229	209	147	0	I	KM	0,15	4,13	4,95	
27D2	665	437	22,7	6,7	6,7	100	002.04		84,20	32,60	0	8	32	10	229	209	147	0	G	KD	0,15	3,41	5,30	4/21
A14D	740	585	24,5	5,8	5,9	120	002.04		84,20	32,60	0	8	32	10	229	209	147	0	I	KS	0,14	3,31	3,63	1/22
5174	715	590	25,8	5,9	5,9	114	038.05		86,70	27,80	0	7	28	8	234	216	163	0	G	KS	0,16	3,61	3,82	2/22
3116	760	946	28,4	7,9	7,9	150	039.05		86,70	27,80	0	7	28	8	234	216	163	1	B	KD	0,22	3,74	6,45	

7AB9	825	1085	32,0	9,4	9,4	157	038.05	86,70	27,80	0	7	28	8	234	216	163	1	I	KM	0,19	3,88	8,41	
7C39	650	513	29,0	5,5	5,5	113	038.04	74,20	28,00	0	6	27	22	198	182	130	0	I	KD	0,19	4,46	3,67	3/22
D0BF	775	934	31,0	6,5	6,4	140	038.04	74,20	28,00	0	6	27	22	198	182	130	1	I	KD	0,20	4,00	4,24	2/22
F772	745	821	35,0	6,0	6,0	138	038.04	74,20	28,00	0	6	27	22	198	182	130	1	I	KM	0,20	4,70	3,78	
C300	820	1153	35,0	8,1	7,9	155	038.04	74,20	28,00	0	6	27	22	198	182	130	0	I	KM	0,21	4,27	6,14	
B464	665	482	21,3	6,0	5,9	110	038.04	74,20	28,00	0	6	27	22	198	182	130	0	I	KS	0,16	3,20	4,18	3/22
256C	725	825	29,3	8,8	8,6	147	075.05	82,80	13,70	0	3	13	16	213	206	179	1	B	KD	0,22	4,04	8,20	4/21
7A3E	585	341	21,0	6,1	6,1	95	040.05	92,90	34,90	0	8	35	0	255	234	166	1	G	KS	0,17	3,59	5,00	
CCAD	775	783	28,8	7,2	7,3	130	040.05	92,90	34,90	0	8	35	0	255	234	166	1	G	KS	0,17	3,72	5,33	
6BCC	685	525	31,5	7,4	7,3	113	108.03	47,80	12,70	0	2	11	54	118	114	91	1	I	KS	0,16	4,60	6,17	
A10C	775	870	34,0	6,9	6,8	134	108.04	61,90	16,70	0	3	15	38	157	150	119	0	I	KS	0,19	4,39	4,76	3/22
4315	720	822	35,0	7,5	7,4	140	002.05	86,00	23,00	0	5	22	11	227	215	170	1	B	KD	0,22	4,86	6,02	1/22
8033	700	555	26,5	6,5	6,4	116	002.05	86,00	23,00	0	5	22	11	227	215	170	0	B	KD	0,16	3,79	4,70	
E4FB	810	1051	33,5	8,3	8,1	148	002.05	86,00	23,00	0	5	22	11	227	215	170	1	B	KD	0,20	4,14	6,51	4/21
7FFC	765	836	36,0	7,5	7,4	138	S014.05	96,10	8,00	1	0	7	4	244	245	226	1	B	KD	0,19	4,71	5,67	4/21
131E	650	443	26,0	6,4	6,5	100	S014.05	96,10	8,00	1	0	7	4	244	245	226	0	I	KS	0,16	4,00	5,03	
D320	695	547	31,0	7,8	8,0	120	S014.05	96,10	8,00	1	0	7	4	244	245	226	1	B	KD	0,16	4,46	7,05	4/21
0337	690	600	30,0	8,7	8,9	123	S014.05	96,10	8,00	1	0	7	4	244	245	226	1	B	KD	0,18	4,35	8,81	
9D97	720	708	29,8	7,8	7,9	130	S014.05	96,10	8,00	1	0	7	4	244	245	226	1	B	KD	0,19	4,14	6,72	4/21
CC72	770	765	28,8	7,2	7,2	132	S014.05	96,10	8,00	1	0	7	4	244	245	226	1	B	KD	0,17	3,74	5,29	4/21
AE40	745	803	27,5	7,8	7,7	144	S014.05	96,10	8,00	1	0	7	4	244	245	226	1	B	KM	0,19	3,69	6,33	
1C19	755	717	29,0	7,3	7,2	130	S014.05	96,10	8,00	1	0	7	4	244	245	226	1	B	KD	0,17	3,84	5,47	
ACFC	810	972	27,8	8,3	8,1	145	S014.05	96,10	8,00	1	0	7	4	244	245	226	1	B	KD	0,18	3,43	6,52	4/21
F0F9	860	1126	32,0	9,7	9,6	155	S014.05	96,10	8,00	1	0	7	4	244	245	226	1	B	KD	0,18	3,72	8,50	1/22
8405	845	1162	34,5	8,8	8,8	160	S014.05	96,10	8,00	1	0	7	4	244	245	226	1	B	KD	0,19	4,08	7,20	3/22
9520	655	605	27,8	6,7	6,5	120	S014.06	99,20	8,00	0	0	7	0	253	254	235	0	B	KS	0,22	4,24	5,22	
FD59	660	594	29,9	8,0	8,0	123	S014.06	99,20	8,00	0	0	7	0	253	254	235	1	B	KD	0,21	4,53	7,62	4/21
34E4	700	523	24,3	6,5	6,3	115	S014.06	99,20	8,00	0	0	7	0	253	254	235	0	B	KS	0,15	3,47	4,60	2/22
6152	775	935	31,5	8,9	8,8	150	S014.06	99,20	8,00	0	0	7	0	253	254	235	1	B	KD	0,20	4,06	7,94	4/22
A446	905	1247	30,7	8,1	8,2	160	S014.06	99,20	8,00	0	0	7	0	253	254	235	1	B	KD	0,17	3,39	5,76	4/21
CC65	715	516	28,0	6,5	6,4	110	037.02	43,50	30,70	0	3	25	56	113	103	50	0	I	KM	0,14	3,92	4,60	
F0F3	555	292	20,0	4,8	4,9	90	073.02	33,70	23,10	0	2	17	67	85	80	41	0	I	KS	0,17	3,60	3,33	2/22
E147	595	328	27,0	5,8	5,8	93	001.03	82,40	45,50	0	8	42	12	225	205	117	1	I	KD	0,16	4,54	4,44	
C67F	610	367	27,0	5,0	5,1	96	001.03	82,40	45,50	0	8	42	12	225	205	117	1	G	KM	0,16	4,43	3,26	

4F46	695	610	30,5	5,8	5,8	118	001.03		82,40	45,50	0	8	42	12	225	205	117	0	I	KD	0,18	4,39	3,80	
02D5	755	828	34,5	6,2	6,2	137	001.03		82,40	45,50	0	8	42	12	225	205	117	1	G	KM	0,19	4,57	3,98	
8306	715	745	34,0	6,0	6,0	129	001.04		83,80	41,80	0	6	38	12	225	210	128	0	I	KM	0,20	4,76	3,94	
29E4	835	1091	34,0	7,3	7,2	144	001.04		83,80	41,80	0	6	38	12	225	210	128	1	I	KD	0,19	4,07	4,93	1/22
03CD	645	488	28,9	7,4	7,3	110	004.05		88,90	23,40	0	9	28	3	248	226	177	0	I	KD	0,18	4,48	6,55	2/22
D80D	650	473	27,0	5,2	5,3	107	004.05		88,90	23,40	0	9	28	3	248	226	177	1	I	KD	0,17	4,15	3,30	2/22
74B0	710	603	29,0	5,8	5,8	117	004.05		88,90	23,40	0	9	28	3	248	226	177	0	I	KM	0,17	4,08	3,72	
24E4	800	913	36,8	8,0	7,8	138	004.05		88,90	23,40	0	9	28	3	248	226	177	0	I	KM	0,18	4,60	6,14	
C3AE	700	457	23,7	5,5	5,4	108	004.05		88,90	23,40	0	9	28	3	248	226	177	0	I	KD	0,13	3,39	3,33	
8436	810	934	28,2	6,5	6,4	141	004.05		88,90	23,40	0	9	28	3	248	226	177	0	I	KD	0,18	3,48	4,03	
22A7	840	959	33,0	7,6	7,6	140	004.05		88,90	23,40	0	9	28	3	248	226	177	0	I	KS	0,16	3,93	5,40	
18A3	590	300	21,0	4,7	4,7	85	001.05		87,50	27,20	0	1	26	12	225	222	166	1	I	Km	0,15	3,56	2,94	

ANHANG II - LISTE ALLER FÜR DAS DBU-PROJEKT BESENDERTEN AALE SOWIE DIE VON DEN DBU-HYDROPHONENDETEKTIERTEN AALE

(hellblau unterlegt = besenderte Aale aus dem hessischen Abschnitt der Lahn; Staustufen (HOLL = Hollerich, NASS = Nassau, DAUS = Dausenau, FACH = Fachbach, NIEV = Nievern, AHL = Ahl und LAHN = Lahnstein, OW = Oberwasser, UW = Unterwasser)

Sender Code	HOLL_OW	HOLL_UW (Besatzort)	NASS_OW	NASS_UW	DAUS_OW	DAUS_UW	FACH_OW	FACH_UW	NIEV_OW	NIEV_UW	AHL_OW	AHL_UW	LAHN_OW	LAHN_UW
6DF8	27.12.21													
FD59	29.12.21													
1A79	06.01.22													
7181	25.01.22													
27D2	10.10.21													
DD92	03.05.22	29.04.22												
D77A	14.05.22	10.04.22												
B3A7	08.10.21	12.03.22	17.05.22											
1E7D			23.03.22											
F0D7		24.03.22	15.06.22											
0E2A		03.01.22												
F745		31.01.22												
4D8B		30.03.22	29.05.22											
EB6C				21.12.21										
5B05		15.03.22												
C0A5		25.03.22		05.05.22										
6910		30.01.22												
FA91		28.12.21												
95FF		08.10.21	19.03.22											

D3C4		08.03.22	22.05.22										
907D		21.01.22											
1947		28.04.22	19.05.22										
80D1		20.04.22	17.04.22										
E086		25.10.21	04.11.21										
8C0D		08.10.21	29.12.21		29.12.21		29.12.21	29.12.21					
D86F		12.10.21											
5733		04.01.21											
B84F		13.03.22											
9340			19.04.22										
B596		03.01.22											
5340		29.12.21											
6215					27.11.21						02.12.2024	02.12.2024	02.12.2024
4D98		30.01.22											
7099			20.05.22	21.05.22									
A3B4			21.05.22	21.05.22	22.05.22		28.05.22						
7847		08.10.21	01.01.22		01.01.22								
3FA3		08.10.21	02.08.22	30.12.21									
7323		30.01.22											
A0B1		08.10.21	09.10.21										
4797		30.12.21	28.08.22	11.09.22	11.09.22	11.09.22	26.09.22		28.09.22	30.09.22	23.10.22		
4398						22.11.22							
BF4F		06.04.22	30.04.22	30.04.22									
0EF9		25.01.22											
8AB6		12.03.22											
8D40		19.05.22											
FDB8		28.03.22	15.05.22										
11D9			30.05.22										
51E0		21.05.22	06.05.22								01.02.23		
9E68			03.04.22	05.05.22	04.05.22								
C1E4		08.10.21		30.12.21									
8403		15.04.22	10.05.22	11.05.22	12.05.22	13.05.22							
FD02		30.03.22	17.04.22										

D2D9		27.01.21											
9156		24.10.21	02.12.21	02.12.21	04.12.21	04.12.21							
A77B		18.05.22	24.05.22	24.05.22									
9C93		30.03.22											
A14D		01.03.22											
5174		17.04.22	20.06.22										
7C39		05.07.22	28.04.22										
D0BF			10.06.22										
B464		02.03.22				29.07.22							
256C		30.12.21	31.12.21	31.12.21	31.12.21	31.12.21	31.12.21						
A10C		08.10.21											
4315		08.10.21											01.01.22
E4FB		29.12.21											
7FFC		08.10.21	03.11.21	03.11.21									
D320		08.10.21	08.10.21		01.12.21	01.12.21	01.12.21					02.12.21	
9D97		08.10.21	08.10.21	10.10.21	02.12.21		02.12.21	02.12.21		02.12.21	02.12.21	02.12.21	02.12.21
CC72		08.10.21	04.11.21	04.11.21	30.11.21								
ACFC		08.10.21	02.12.21	02.12.21			02.12.21						
F0F9		08.10.21					04.01.22	04.01.22	04.01.22				04.01.22
8405		27.07.22											
34E4			04.06.22										
6152		09.10.21	07.11.21										
A446		08.10.21	01.12.21	02.12.21	02.12.21	02.12.21	02.12.21	02.12.21					
F0F3			07.05.22										
29E4		07.03.22											
03CD		05.03.22	22.05.22	16.06.22									
D80D		09.05.22	24.05.22	25.05.22	28.05.22								
18A3													
433F													
F1B6													
118C													
A0D2													
2FB2													

BD53														
866A														
C0CE														
F8D2														
F620														
A174														
A740														
5C07														
3E00														
C8A2														
E4A5														
2E5F														
F96E														
61BD														
E1CE														
82F6														
E420														
B715														
5668														
89B7														
D825														
4227														
4488														
B19C														
5085														
7563														
7601														
C47E														
4938														
4288														
D8E8														
945D														
DEC3														

D482														
2980														
19CF														
332A														
2093														
7066														
D453														
3370														
A1E5														
5E8E														
3116														
7AB9														
5D18														
FAE0														
B80B														
42DE														
F772														
C300														
7A3E														
CCAD														
6BCC														
131E														
8033														
0337														
9520														
AE40														
1C19														
74B0														
24E4														
C3AE														
8436														
22A7														
0116														

EE4F														
3D37														
988C														
E147														
C67F														
4F46														
02D5														
8306														
CC65														