

Vermeidung von Deformationen bei der Karpfenaufzucht im Kühlwasser



Untersuchungen zur Vermeidung von Deformationen bei der Intensivaufzucht juveniler Karpfen mit Kühlwasser aus Kohlekraftwerken

Dr. Andreas Müller-Belecke, IfB e.V. Potsdam-Sacrow;
Dr. Kerstin Böttcher, Fischgesundheitsdienst der Sächsischen Tierseuchenkasse;
Dietmar Mühle, Kreba-Fisch GmbH



**Kofinanziert von der
Europäischen Union**

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	9
Abstract	11
1 Einleitung	13
2 Aufgabenstellung und Ziel des Vorhabens.....	15
3 Stand von Wissenschaft und Technik.....	16
4 Methodische Vorgehensweise	18
4.1 AP 1: Wasserqualität des Kühlwassers	18
4.2 AP 2: Aufzucht mit unterschiedlichen Alleinfuttermitteln	18
4.3 AP 3: Aufzucht mit Kühlwasser im Vergleich zu Seewasser (aus dem Sacrower See)	19
4.4 AP 4: Aufzucht bei unterschiedlichen NH ₃ -Konzentrationen, bei unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten / Turbulenzen	21
4.5 AP 5: Koordination, Auswertung Berichtstellung.....	22
4.6 Fortlaufende Dokumentation im Rahmen von AP 2–4	22
4.7 Dokumentation von Zustand und Deformationen im Rahmen von AP 2–4.....	23
4.8 Statistische Datenauswertung.....	33
4.8.1 Strömungsgeschwindigkeiten	33
4.8.2 Deformationsraten	33
4.8.3 Einfluss von Deformationen auf die Wachstumsleistung	33
5 Ergebnisse und Diskussion	34
5.1 Wasserqualität des Kühlwassers.....	34
5.2 Aufzucht mit unterschiedlichen Alleinfuttermitteln	36
5.2.1 Haltungswasserparameter.....	37
5.2.2 Aufzuchtleistung.....	38
5.2.3 Deformationsraten	39
5.3 Aufzucht mit Kühlwasser im Vergleich zu Seewasser	42
5.3.1 Haltungswasserparameter.....	42
5.3.2 Aufzuchtleistung.....	44
5.3.3 Deformationsraten	45
5.4 Aufzucht bei unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten / Turbulenzen.....	46
5.4.1 Ableitung der Fokussierung auf den Einfluss von Strömung / Turbulenzen	46
5.4.2 Haltungswasserparameter.....	48
5.4.3 Strömungsgeschwindigkeiten	49
5.4.4 Aufzuchtleistung.....	52

5.4.5	Deformationsraten	53
5.4.6	Mögliche Zusammenhänge zwischen Wirbelsäulendeformationen und erhöhter Strömung / Turbulenz.....	57
5.5	Deformationen und Stückmasseentwicklung.....	58
5.6	Optionen zur Verringerung von Deformationen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern bei der Intensivaufzucht von Karpfen unter Warmwasserbedingungen	60
Schlussfolgerungen.....		63
Ausblick		65
Literaturverzeichnis.....		66

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	In Klimakammer am IfB eingestellte Kleinkreisläufe.....	20
Abbildung 2:	Setup der Röntgenausrüstung zur Erhebung von Deformationen bei Karpfen (dorso-ventrale Aufnahme)	24
Abbildung 3:	Positionierung der Fische auf dem Detektor für eine latero-laterale Aufnahme	25
Abbildung 4:	Positionierung der Fische für eine dorso-ventrale Aufnahme	25
Abbildung 5:	Fisch Mitte: Hochgradige Skoliose ab dem 10. Schwanzwirbel (latero-laterale Ansicht) ..	27
Abbildung 6:	Fisch Mitte: Hochgradige Skoliose ab dem 10. Schwanzwirbel (dorso-ventrale Ansicht) .	28
Abbildung 7:	Fisch Mitte: Knick der Schwanzwirbelsäule nach dorsal um 30° (mittelgradig) im Bereich 5. Schwanzwirbel	29
Abbildung 8:	Fisch Mitte: 15. und 16. Schwanzwirbel geringgradig deformiert; Fisch links: Knick der Wirbelsäule nach dorsal um ca. 25° (mittelgradig) im Bereich 6. Lendenwirbel / 1. Schwanzwirbel; geringgradige Skoliose der gesamten Schwanzwirbelsäule	30
Abbildung 9:	Fisch rechts: Hämalfortsatz des 13. Schwanzwirbels gespalten oder verdoppelt; Fisch Mitte: Mittelgradige Skoliose bis 23° am 12.–16. Schwanzwirbel mit geringgradiger Deformation der Wirbelkörper; Fisch links: Knick der Schwanzwirbelsäule um 40° nach dorsal (hochgradig)	31
Abbildung 10:	Fisch Mitte: Hämalfortsatz des 14. und 15. Schwanzwirbels mit Wulstbildung; Fisch links: Dornfortsatz 2. bis 9. Schwanzwirbel mit Wulstbildung; Hämalfortsatz 3. bis 6. Schwanzwirbel mit Wulstbildung; 3. Hämalfortsatz mit zwei Wulstbildungen; Hämalfortsatz des 8. Schwanzwirbels gespalten oder verdoppelt; 2. und 3. Schwanzwirbel ohne Zwischenwirbelraum (Stauchung oder Verwachsung); 15. und 16. Schwanzwirbel geringgradig deformiert.....	32
Abbildung 11:	Deformationen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern in allen Schweregraden nach Aufzucht unter unterschiedlichen Strömungs-/Turbulenz-Verhältnissen in Kleinkreisläufen am IfB sowie im Produktionsmaßstab am Standort Schwarze Pumpe in kleinen und großen Becken (vergl. Abschnitt 5.4.3, a; b: Signifikanter Unterschied (Chi-Quadrat Test, zweiseitig, $p \leq 0,05$) bei unterschiedlichen Buchstaben zwischen Gruppen)	55
Abbildung 12:	Mittel- und hochgradige Deformationen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern nach Aufzucht unter unterschiedlichen Strömungs-/Turbulenz-Verhältnissen in Kleinkreisläufen am IfB sowie im Produktionsmaßstab am Standort Schwarze Pumpe in kleinen und großen Becken (vergl. Abschnitt 5.4.3, a; b; c: Signifikanter Unterschied (Chi-Quadrat Test, zweiseitig, $p \leq 0,05$) bei unterschiedlichen Buchstaben zwischen Gruppen)	56

Abbildung 13: Deformationen an Dornfortsätzen und Hämalfortsätzen in allen Schweregraden nach Aufzucht unter unterschiedlichen Strömungs-/Turbulenz-Verhältnissen in Kleinkreisläufen am IfB sowie im Produktionsmaßstab am Standort Schwarze Pumpe in kleinen und großen Becken	57
Abbildung 14: Box-Whisker-Plots zur Stückmasse gegen Ende der Aufzuchtdurchgänge an den Standorten Schwarze Pumpe und IfB	58
Abbildung 15: Box-Whisker-Plots zur Stückmasse gegen Ende der Aufzuchtdurchgänge an den Standorten Schwarze Pumpe und IfB	58
Abbildung 16: Box-Whisker-Plots zur Stückmasse gegen Ende der Aufzuchtdurchgänge an den Standorten Schwarze Pumpe und IfB	59
Abbildung 17: Box-Whisker-Plots zur Stückmasse gegen Ende der Aufzuchtdurchgänge an den Standorten Schwarze Pumpe und IfB	59
Abbildung 18: Schwimmaktivität des Karpfenbestandes bei einer stündlich mehrfach erfolgenden, automatisierten Futterverabreichung in einem Produktionsbecken am Standort Schwarze Pumpe	62

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ermittelte Messwerte im Kühlwasserkreislauf nach Abschluss der regelmäßig mittwochs erfolgenden Biozid-Behandlung durch Zudosierung von Natriumhypochlorit und Ammoniumsulfat	34
Tabelle 2: Entwicklung der Konzentration freien Chlors in der Aufzuchteinheit in Schwarze Pumpe im Anschluss an eine am 9.04.25 durchgeführten Biozid-Behandlung des Kühlwasserkreislaufs	35
Tabelle 3: Während der Aufzuchtdurchgänge 2023/24 und 2024/25 am Standort Schwarze Pumpe im Beckenablauf erfasste Wasserqualitätsparameter	37
Tabelle 4: Am Standort Schwarze Pumpe während der Aufzucht 2023/24/25 in großen und kleinen Haltungseinheiten erzielte Aufzuchtleistungen	38
Tabelle 5: Ergebnisse von Röntgen-Untersuchungen in den Gruppen Standard- und Testfutter, aggregiert über alle Deformationen an Wirbelsäulen, Wirbelkörpern, Dornfortsätzen und Hämalfortsätzen in allen Schweregraden	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 6: Ermittelte Messwerte in mit Kühlwasser am IfB betriebenen Kleinkreisläufen (Mittelwerte und Spannweiten von 30 Einzelmessungen in jeweils drei Kleinkreisläufen (Kühlwasser)).....	43
Tabelle 7: Ermittelte Messwerte in mit Wasser des Sacrower Sees am IfB betriebenen Kleinkreisläufen	44
Tabelle 8: Darstellung der während der Aufzuchtsaison 2023/24 am IfB in mit Kühlwasser bzw. Seewasser betriebenen Kleinkreisläufen erzielte Aufzuchtleistungen ...	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 9: Aggregierte Deformationen an Wirbelsäulen, Wirbelkörpern, Dornfortsätzen und Hämalfortsätzen in allen Schweregraden in am IfB aufgezogenen Kühlwasser- und Seewassergruppen.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 10: Ermittelte Messwerte in mit erhöhter Strömung am IfB betriebenen Kleinkreisläufen	49
Tabelle 11: Ermittelte Messwerte in mit verringerter Strömung am IfB betriebenen Kleinkreisläufen..	49
Tabelle 12: Gemessene durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeiten während der Aufzucht in Kleinkreisläufen am IfB.....	50
Tabelle 13: Gemessene durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeiten während der Aufzucht in Becken am Standort Schwarze Pumpe.....	51
Tabelle 14: Darstellung der während des Aufzuchtdurchgangs 2024/25 am IfB in Kleinkreisläufen mit zwei unterschiedlichen Strömungs-/verwirbelungsregimen erzielten Aufzuchtleistungen	52
Tabelle 15: Aggregierte Deformationen an Wirbelsäulen, Wirbelkörpern, Dornfortsätzen und Hämalfortsätzen in allen Schweregraden nach Aufzucht unter unterschiedlichen Strömungs-/Turbulenz-Verhältnissen in Kleinkreisläufen am IfB sowie im Produktionsmaßstab am Standort Schwarze Pumpe.....	54

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
DOI	Digital Object Identifier
EMFF	Europäischer Meeres- und Fischereifonds
Fa.	Firma
FGD	Fischgesundheitsdienst der Sächsischen Tierseuchenkasse
IfB	Institut für Binnenfischerei e. V. Potsdam-Sacrow
K ₁	einsömmrige Karpfen
K ₂	zweisömmrige Karpfen
K2-1	Klimakammer 2, Kreislauf 1
K2-2	Klimakammer 2, Kreislauf 2
K2-3	Klimakammer 2, Kreislauf 3
K3-1	Klimakammer 3, Kreislauf 1
K3-3	Klimakammer 3, Kreislauf 3
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
MS	Microsoft
NH ₃	Ammoniak
NH ₄	Ammonium
NO ₂	Nitrit
NO ₃	Nitrat
P	Phosphor
PE	Polyethylen
SMUL	Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft
UV-C	Ultraviolett-C-Strahlung

Zusammenfassung

Eine Ursachenanalyse zu Faktoren, welche das Auftreten erhöhter Deformationsraten bei der Intensiv-
aufzucht von Satzkarpfen unter Einsatz von Kraftwerkskühlwasser bedingen könnten, umschloss Auf-
zuchtversuche in sechs Kleinkreislaufanlagen am Institut für Binnenfischerei, Potsdam (IfB) sowie am
Produktions- und Kraftwerksstandort Schwarze Pumpe. Untersuchungsergebnisse und Beobachtun-
gen verwiesen auf Faktoren, welche während der Untersuchungen mittels Röntgenuntersuchungen de-
tektierte Deformationen mitverantworten können.

Informationen zur Kühlwasserkonditionierung beim Kraftwerksbetreiber wurden eingeholt. Am IfB
wurden wasserchemische Charakteristika des für die Fischhaltung in Schwarze Pumpe eingesetzten
Kühlwassers bestimmt. In Schwarze Pumpe erfolgte während der Aufzuchtdurchgänge 2023/24 und
2024/25 die Untersuchung der Aufzuchtleistung unter Verwendung des bislang eingesetzten Alleinfut-
termittels im Vergleich zu zwei ausgewählten Industriefuttermitteln. Am IfB wurde während des Durch-
gangs 2023/24 ein Vergleich der Aufzuchtleistung unter Nutzung von Kühlwasser vom Kraftwerksstand-
ort Schwarze Pumpe und aus dem Sacrower See entnommenen Seewassers vorgenommen.

Aus den 2023/24 erzielten Ergebnissen konnten folgende Ableitungen zu für Deformationen verant-
wortliche Haltungsumweltparameter getroffen werden: Der Chemismus des zur Karpfenaufzucht in
Schwarze Pumpe eingesetzten Kühlwassers ist offenbar nicht in erster Linie für die bis zum Start des
Forschungsprojekts mehrfach am Standort beobachteten, erhöhten Deformationsraten verantwor-
tlich. Längerfristig erhöhte NH_3/NH_4 -Konzentrationen oder NO_3 -Konzentrationen
erscheinen ebenfalls unwahrscheinlich als primäre Ursachen für erhöhte Deformationsraten. Die ver-
glichenen Alleinfuttermittel führten zu keinen signifikanten Unterschieden in Deformationsraten.

Während des Aufzuchtdurchgangs 2024/25 wurde somit am IfB die Aufzucht bei zwei unterschiedlichen
Strömungs- / Verwirbelungsregimen, welche sich als wahrscheinlicher Faktor für erhöhte Deformati-
onsraten bei den intensiv aufgezogenen Karpfen herauskristallisierten, überprüft. Auch in Schwarze
Pumpe erfolgten Strömungsmessungen zur Darstellung von Unterschieden in kleinen (10 m^3) und gro-
ßen (160 m^3) Produktionsbecken sowie Röntgenuntersuchungen zur Detektion von Deformationen.

Im Vergleich zu den $0,5 \text{ m}^3$ -Kleinstbecken am IfB (ca. $1\text{--}3 \text{ cm/s}$) lagen die durchschnittlichen, am Stand-
ort Schwarze Pumpe ermittelten Strömungsgeschwindigkeiten mit rund 4 cm/s bis knapp 17 cm/s auf
einem deutlich höheren Niveau. In erster Linie der Karpfenbestand und lediglich in untergeordneter
Form Beckenzulauf- und Ablaufhydraulik scheint, insbesondere in den 160 m^3 -Haltungseinheiten, die
in den Becken entstehenden Strömungsgeschwindigkeiten und Verwirbelungen zu verursachen. Hohe
Zuwächse und günstige Futterverwertungen verwiesen sowohl am IfB als auch am Standort Schwarze
Pumpe auf die für die Intensivhaltung von Karpfen generell geeignete Haltungsumwelt. Eine zuneh-
mende Wirkzeit von Strömung und Turbulenz manifestierte sich jedoch in einer zunehmenden Zahl von

Deformationen. Der negative Einfluss hoher Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzen zeigte sich bei differenzierter Betrachtung der Deformationsformen. Gegen Ende des Aufzuchtdurchgangs wies lediglich die Gruppe, welche am Standort Schwarze Pumpe im 160 m³-Becken gehalten wurde und hier hohen Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzen von rund 12 cm/s ausgesetzt war, mit 38 % eine signifikant erhöhte Rate von Deformationen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern auf. Kein erkennbarer Zusammenhang zur wirkenden Strömung/Turbulenz zeigte sich bei Betrachtung der Deformationsraten an Dornfortsätzen und Hämalfortsätzen. Diese stehen aber offenbar mit den hohen, mit Alleinfuttermitteln in der Warmwasserintensivaufzucht erzielten Wachstumsraten in Verbindung.

Die erzielten Ergebnisse zeigen, dass bei der Intensivaufzucht von Karpfen unter Warmwasserbedingungen Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzen bis zu einer Schwelle zwischen 9 cm/s und unter 12 cm/s für die gehaltenen Bestände zu tolerieren sind, Strömungsgeschwindigkeiten darüber hinaus jedoch vermehrt Deformationen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern nach sich ziehen können. Ein negativer Einfluss beobachteter Deformationen auf die Durchschnittsstückmassen der aufgezogenen Karpfen war nicht festzustellen. Die nachgewiesenen, zumeist geringgradigen Deformationen schienen somit zumeist nicht so gravierend zu sein, dass sie einen negativen Einfluss auf die Entwicklung der Tiere nahmen.

Maßnahmen zur Begrenzung von regelmäßig wirkenden Strömungen/Verwirbelungen auf Werte unterhalb des geschilderten Schwellenwertes sollten dabei unterstützen, Zustand und Qualität der erzeugten Fische durch weitestgehende Freiheit von erkennbaren Deformationen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern auf einem maximalen Niveau zu halten. Eine zur Verringerung von Strömung und Turbulenzen am Standort Schwarze Pumpe vergleichsweise einfach zu prüfende Maßnahme, stellt die Verlängerung der Zeitintervalle zwischen Fütterungen dar. Bei verlängerter Fütterungsfrequenz und Verabreichung größerer Anteile der täglichen Futterration pro Fütterung könnten längere Pausen ohne fütterungsbedingte Schwimmaktivität die täglich in Summe auf die Fische wirkenden Strömungen und Turbulenzen reduzieren.

Die im Vorhaben gewonnenen Erkenntnisse sollten bei der Planung und Umsetzung neuer Intensivaufzuchtssysteme für Karpfen unter Warmwasserbedingungen Berücksichtigung finden.

Abstract

A causal analysis of factors that could lead to increased deformation rates in intensive rearing juvenile carp using power plant cooling water included rearing experiments in six small-scale recirculation systems at the Institute of Inland Fisheries, Potsdam (IfB) and at the Schwarze Pumpe production and power plant site. Results and observations pointed to factors that may be responsible for deformations detected during X-ray investigations.

Information on cooling water conditioning was obtained from the power plant operator. The IfB determined the water chemical characteristics of the cooling water used for carp farming at Schwarze Pumpe. At Schwarze Pumpe, rearing performance was investigated during the 2023/24 and 2024/25 rearing cycles using the previously used standard feed compared to two other selected industrial feeds. During the 2023/24 cycle, the IfB compared rearing performance using cooling water from the Schwarze Pumpe site and water taken from Lake Sacrow.

From the results obtained in 2023/24, the following conclusions could be drawn regarding environmental parameters responsible for deformations: The chemistry of the cooling water used for carp rearing at Schwarze Pumpe is apparently not primarily responsible for the increased deformation rates observed several times at the site up until the start of the research project. Long-term increases in NH_3/NH_4 concentrations or NO_3 concentrations also appear unlikely to be the primary causes of increased deformation rates. The compared complete feeds did not result in any significant differences in deformation rates.

During the 2024/25 rearing period, the IfB tested rearing conditions under two different flow/turbulence regimes, which emerged as a likely factor for increased deformation rates in intensively reared carp. Flow measurements were also conducted at Schwarze Pumpe to demonstrate differences between small (10 m^3) and large (160 m^3) production tanks. X-ray examinations were performed to detect deformations at both sites.

Compared to the 0.5 m^3 micro-tanks at the IfB (approximately 1–3 cm/s), the average flow velocities measured at Schwarze Pumpe were significantly higher, ranging from around 4 cm/s to almost 17 cm/s. The carp stock, and only to a lesser extent the tank inlet and outlet hydraulics, appears to be primarily responsible for the flow velocities and turbulence occurring in the tanks, particularly in the 160 m^3 rearing units. High growth rates and favorable feed conversion rates indicated generally suitable conditions at both the IfB and the Schwarze Pumpe site for intensive carp farming. However, an increasing exposure time to flow and turbulence manifested itself in an increasing number of deformations. The negative influence of high flow velocities and turbulence became apparent when the types of deformation were examined in more detail. Towards the end of the rearing period, only the group kept in the

160 m³ tank at the Schwarze Pumpe site, where it was exposed to high flow velocities and turbulence of around 12 cm/s, showed a significantly increased rate of deformations of the spine and vertebrae (38 %). No discernible relationship to the flow/turbulence was found when examining the deformation rates of spinous and hemal processes. These are apparently related to the high growth rates achieved with complete feeds in intensive warm-water rearing.

The results obtained show that, in intensive carp rearing under warm water conditions, flow velocities and turbulences up to a threshold between 9 cm/s and below 12 cm/s can be tolerated by the stocks maintained. However, flow velocities above this threshold can lead to increased deformation rates of the spinal column and vertebrae. No negative influence of observed deformations on the average body weight of the reared carp was observed. The detected, mostly minor deformations therefore generally did not appear to be so severe that they had a negative impact on the development of the animals.

Measures to limit regularly occurring currents/turbulences to values below the described threshold should help to maintain the condition and quality of the produced fish at a maximum level by ensuring that they are as free as possible from detectable deformations of the spinal column and vertebrae. A relatively easy-to-test measure for reducing currents and turbulence at the Schwarze Pumpe site is extending the time intervals between feedings. With decreased feeding frequency and larger portions of the daily feed ration administered per feeding, longer breaks without feeding-related swimming activity could reduce the total daily currents and turbulence affecting the fish.

The findings from this project should be considered in the planning and implementation of new intensive rearing systems for carp under warm water conditions.

1 Einleitung

Die Karpfenteichwirtschaft stellt eine umwelt- und artgerechte Form der Erzeugung hochwertiger aquatischer Lebensmittel dar und trägt zu einer Reihe von Leistungen für das Gemeinwohl bei. Schwierige Rahmenbedingungen gefährden zunehmend die Existenz der verbliebenen teichwirtschaftlichen Betriebe. So führt steigender Prädatorendruck, gerade in den ersten beiden Aufzuchtjahren, zu Verlusten, welche deutlich über den sogenannten Normalverlusten liegen. Hohe Prädatorenverluste während der Aufzucht einsömmriger und zweisömmriger Karpfen führen in der Fläche jedoch zu einer unzureichenden Satzfishversorgung für die Speisekarpfenerzeugung über das dritte Jahr der Aufzucht, während dessen die Greifbarkeit für Fischprädatoren aufgrund der hohen Stückmassen bereits eingeschränkt ist.

Die klassische, eher extensive K_1 - und K_2 -Aufzucht erfordert große Teichflächen, deren Absicherung gegenüber Prädatoren durch Überspannung und ottersichere Umzäunung ökonomisch nicht tragbare Investitionen für die Teichwirte nach sich ziehen würde. Die Entwicklung und Etablierung prädatorengeschützter Aufzuchtformen bis zum Erreichen von Stückmassen im Bereich von 0,7 kg kann durch Absicherung der Satzfishversorgung einen Beitrag zur Existenzsicherung der Karpfenteichwirtschaft im Freistaat Sachsen liefern und ist damit von kollektivem Interesse.

Die Aufzucht von einsömmrigen Karpfen bis zum Erreichen der K_2 -Größe unter Nutzung von Warmwasser in Form von Kühlwasser aus Kohlekraftwerken wird vor diesem Hintergrund in Sachsen praktiziert und stellt hier eine wichtige Säule der Satzfishversorgung für die Karpfenteichwirtschaft im Freistaat dar. Dieses Intensivaufzuchtverfahren erlaubt derzeit eine kontrollierte, prädatorengeschützte Bereitstellung von jährlich etwa 100 t Satzkarpfen unter Ausnutzung des Winterhalbjahrs und ermöglicht damit die Satzfishverfügbarkeit für eine Speisekarpfenerzeugung von etwa 350–400 t pro Jahr bei gleichzeitiger Verkürzung der praxisüblichen Aufzuchtperiode um ein Produktionsjahr. Die kühlwasserbasierte K_2 -Erzeugung bildet somit die Grundlage für etwa 25 % der sächsischen Speisekarpfenerzeugung. Diverse sächsische Karpfenteichwirtschaften nutzen im Kühlwasser aufgezogene K_2 als Satzfish für ihre Speisekarpfenproduktion. Der Einsatz dieses Verfahrens ist langfristig, bis zum Ende des Braunkohleausstiegs im Jahr 2038, eingeplant.

Aufgrund der begrenzten Warmwasserkapazität und hoher Kosten an benötigten Produktionsmedien ist es erforderlich diese Form der Intensivaufzucht mit maximaler Effizienz aber dennoch in nachhaltiger und tiergerechter Form zu gestalten.

Während der vergangenen Aufzuchtperioden wurden unter den auf K_2 -Größe intensiv aufgezogenen Karpfen in Relation zur traditionellen K_2 -Erzeugung im Teich häufiger erhöhte Raten an deformierten

Individuen vorgefunden. Bislang ist nicht geklärt, welche Umweltfaktoren während der Warmwasseraufzucht mit Kühlwasser zu Deformationen unter den gehaltenen Karpfen führen können. Eine weitere Verfahrensoptimierung hinsichtlich Effektivität und Tiergerechtigkeit erfordert die systematische Suche nach sich entsprechend auswirkenden Faktoren und ihre Umgehung unter Praxisbedingungen.

2 Aufgabenstellung und Ziel des Vorhabens

Das Ziel des Vorhabens liegt in einer Ursachenanalyse von Faktoren, welche sich für das Auftreten erhöhter Deformationsraten bei der Warmwasseraufzucht von Satzkarpfen mit Kühlwasser aus dem Kohlekraftwerk verantwortlich zeichnen.

Sind diese Faktoren schließlich determiniert, können Strategien zur Umgehung ihrer Auswirkungen entwickelt werden. Die Verfeinerung des Verfahrens in Bezug auf Tiergerechtheit und Ressourceneffizienz würde hierdurch ermöglicht.

Die Verfahrensoptimierung der Satzkarpfenerzeugung mit Kühlwasser stellt für die sächsische Teichwirtschaft eine bedeutende Strategie zur Verringerung des Risikos von Prädatorenverlusten dar und hat im Endeffekt die Erhaltung und Stabilisierung des teichwirtschaftlichen Sektors im Freistaat Sachsen als zentrales Ziel von kollektivem Interesse.

3 Stand von Wissenschaft und Technik

Das Skelett von Fischen besteht zu etwa 65 % der Knochentrockenmasse aus Calcium-Phosphor- und Hydroxylapatit-Salzen (anorganischer Teil), eingebettet in eine Matrix aus Kollagenfasern (organischer Teil) (MAHAMID et al. 2008). Kollagen stellt über 90 % der organischen Knochenmatrix dar und ist mitverantwortlich für Struktur und biomechanische Eigenschaften des Knochengewebes (MORO et al. 2000).

Skelettdeformationen stellen häufig eine komplexe Mischung verschiedener Formen von Wirbelsäulenverkrümmungen (Kyphose, Lordose, Skoliose), Abflachungen (Platyspondylie) und Fusionen von Wirbelkörpern dar. Zudem werden bei Fischen häufig Deformationen im Kopfbereich (verkürzte Schnauzen, gebogene Kiefer, nach vorne oder unten gerichtete Ausstülpungen des Kiefers, verkürzte Opercula) und an Flossen (Reduktionen, Asymmetrien) beobachtet (BERILLIS 2015). Stets unerwünscht, können sich Skelettdeformationen stark negativ auf die Ökonomie der Fischproduktion auswirken. Deformierte Fische weisen zumeist eine reduzierte Wachstumsleistung auf (AL-HARBI 2001) und sind als Satzfisch unverkäuflich.

Die Gründe für Deformationen bei Fischen sind oft unklar und werden in Zusammenhang mit Ernährungs-, Umwelt- und genetischen Faktoren gesehen (FERNÁNDEZ et al. 2008).

Eine unzureichende und / oder nicht hinreichend ausbalancierte Versorgung mit Makro- und Mikronährstoffen kann ernährungsbedingte Deformationen auslösen. So führten unterschiedliche Quellen für Phospholipide in den Fütterungsuntersuchungen von GEURDEN et al. (1998) an Karpfen trotz guter Wachstumsleistung zu teils deutlichen Abweichungen in Deformationsraten. Imbalancen in der Vitaminversorgung (insbesondere C, A, K) und unzureichende Gaben von Mineralien (insbesondere Ca, P) über die verabreichten Alleinfuttermittel werden von BERILLIS (2015) als weitere häufige Ursachen für ernährungsbedingte Auslöser von Deformationen bei wichtigen Wirtschaftsfischarten aufgeführt. Eine aktuelle tschechische Studie der Universität Südböhmen verwies auf Nährstoffimbalancen in Alleinfuttermitteln für die Karpfenerzeugung in Kreislaufanlagen, welche zu Wirbelsäulendeformationen führen können (REGENDA & JIROUŠEK 2023).

Die aquatische Haltungsumwelt und insbesondere Besonderheiten im Chemismus des Wasserkörpers, in dem die Fische aufgezogen werden, können weitere Ursachen für Deformationen darstellen. Beim Karpfen verweisen diverse Untersuchungen auf Deformationen aufgrund erhöhter Konzentrationen der Metalle Cadmium (YOSHITOMI et al. 1998), Kupfer (STOUTHART et al. 1996; KONDERA 2016), Zink(oxyd) (HAO et al. 2013), Aluminium (OYEN 1993) und Magnesium (ÇALTA & URAL 2001, VAN DER VELDEN et al. 1991). Auswirkungen von in ihren Bestandteilen nicht im Detail definierten Industrieabwässern auf Deformationsraten bei Karpfen wurden von SANJUAN-REYES et al. (2020) dokumentiert. Erhöhte Salinitäten können beim Karpfen ebenfalls zu Deformationen führen (IFFAT et al. 2020).

Aber auch Wasserqualitätskriterien, welche während der Intensivaufzucht durch den Fischbestand selbst beeinflusst werden, stellen eine Gefahr für erhöhte Deformationsraten beim Karpfen dar. Insbesondere bei Präsenz von Metallen kann sich etwa der pH-Wert negativ auswirken (OYEN 1993; JEZIERSKA & BARTNICKA 1995; STOUTHART et al. 1996). Auch Erhöhte Nitrit-Konzentrationen (KROUPOVA et al. 2010) können zu Deformationen führen. Die dauerhafte Auswirkung erhöhter NH_3 -Konzentrationen auf Deformationsraten beim Karpfen wurde nach den Recherchen der Autoren bislang jedoch noch nicht untersucht.

Neben chemischen Wasserqualitätskriterien können auch physikalische Haltungsparemeter Einfluss auf Deformationsraten nehmen. So verwiesen die Untersuchungen von BACKIEL et al. (1984) am Karpfen auf gestiegene Deformationsraten nach deren Haltung bei erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzen.

Die Möglichkeit eines genetischen Hintergrundes von Deformationen beim Karpfen, wurde von KOMEN et al. (1992) nachgewiesen. Bei extremen Inzuchtkoeffizienten nach künstlich induzierter gynogenetischer Reproduktion wurden von den Autoren gegenüber der ausgezüchteten Kontrollgruppe stark erhöhte Deformationsraten festgestellt.

Ansätze zur Einschränkung von Deformationen beim Karpfen erfordern aufgrund der vielfältigen, potenziellen Ursachen zunächst eine fallbezogene, systematische Ursachenforschung.

4 Methodische Vorgehensweise

Die Bearbeitung des Vorhabens erfolgte im Rahmen von fünf Arbeitspaketen (AP). Praxisorientierte Forschungsarbeiten wurden im Rahmen von AP 1–4 erbracht. Über AP 5 erfolgte die Koordination des Vorhabens.

4.1 AP 1: Wasserqualität des Kühlwassers

Anhand von Befragungen zur Kühlwasserkonditionierung beim Kraftwerksbetreiber sowie über detaillierte Wasseranalysen erfolgte am IfB die Bestimmung der wasserchemischen Charakteristika (potenziell relevante Problemsubstanzen, Schwankungsbreiten) des für die Fischhaltung im Kohlekraftwerk eingesetzten Kühlwassers.

Neben den bei der täglichen Routine während der Aufzucht im Kühl- und Seewasser am IfB ermittelten Wasserparametern (Temperatur, Sauerstoffgehalt, pH-Wert) wurde im institutseigenen Wasserlabor mindestens einmal wöchentlich eine Wasseruntersuchung der Versuchskreisläufe vorgenommen. Die Untersuchung umfasste die photometrische Bestimmung (Fa. Hach, DR5000; DR3900) der Konzentrationen an Ammonium (LCK 304 und 305), Nitrit (LCK 341) Nitrat (LCK 339 und 340) und Säurekapazität (LCK 362). Zusätzlich wurde die Trübung (FNU, Fa. Hach Lange 2100 Q is), der pH-Wert (Fa. WTW pH 720), die Leitfähigkeit ($\mu\text{S cm}^{-1}$, Fa. WTW LF 197) und die Salinität (‰, Fa. WTW LF 197) der Haltungswässer ermittelt.

Die Erfassung freien Chlors/Chlordioxids, dem in der Kühlwasserkonditionierung im Kraftwerk eingesetzten bioziden Wirkstoff, erfolgte mit Hilfe des Hach Küventtentests LCK 410 im Messbereich von 0,05 – 2,0 mg Cl_2 pro l.

4.2 AP 2: Aufzucht mit unterschiedlichen Alleinfuttermitteln

Am Kraftwerksstandort erfolgte während des Aufzuchtdurchgangs 2023/24 sowie während des Durchgangs 2024/25 die Untersuchung der Aufzuchtleistung unter Verwendung des bislang eingesetzten Alleinfuttermittels (Aller Loop, Emsland-Aller Aqua GmbH, Golßen) im Vergleich zu zwei ausgewählten Industriefuttermitteln (eines pro Aufzuchtdurchgang) in zwei identisch mit Kühlwasser versorgten 10 m³-Haltungsbecken. Die Auswirkungen der unterschiedlichen Alleinfuttermittel auf Wachstumsleistung, Kondition, Zustand und Deformationsraten der von Oktober bis Mai aufgezogenen Karpfen wurden verglichen. Der Wachstumsleistungsvergleich erfolgte anhand der Parameter Zuwachs (kg), Futterverwertung (kg Alleinfuttermittelleinsatz pro kg Zuwachs) und Verlustrate (%).

4.3 AP 3: Aufzucht mit Kühlwasser im Vergleich zu Seewasser (aus dem Sacrower See)

In sechs Kleinkreislaufanlagen erfolgte in der Saison 2023/24 am IfB ein Vergleich der Aufzuchtleistung unter Nutzung von Kühlwasser vom Kraftwerksstandort und aus dem Sacrower See entnommenen Seewassers. Die eingesetzten, von der Fa. Kunststoff-Spranger GmbH konstruierten Kleinkreisläufe (Abbildung 1) sind identisch aufgebaut und verfügen als Haltungseinheit über ein 0,5 m³ fassendes Rundbecken. Die mechanische Wasseraufbereitung erfolgt über ein als Trichterbecken (0,2 m³) ausgelegtes fluidisierendes Lamellenpaket (MÜLLER-BELECKE et al. 2021). **PEFehler! Textmarke nicht definiert.**-Pallkörper (Fa. Raschig, 50 mm Durchmesser) in einer Schichtdicke von rund 20 cm bilden das fluidisierte Lamellenpaket. Einmal täglich wurde der im Trichter sedimentierte Schlamm mit ca. 5 l Schlammwasser abgelassen und das Pallkörperbett mobilisiert. Zur biologischen Wasseraufbereitung kommt ein 0,3 m³-Bewegbetteaktor mit 135 l Füllkörpern (RK-BioElements), welche eine Oberfläche von 750 m² pro m³ aufweisen, zum Einsatz. Mittels UV-C**Fehler! Textmarke nicht definiert.** Brenner (AquaMedic Helix Max. 2.0; 36 W) erfolgt die Keimreduzierung im Haltungswasserstrom. Das Haltungswasser wurde mit 0,9 m³/h mithilfe einer auf 30 W abgeregelten Tauchpumpe (AquaForte DM Vario 10000S; 85 W) zirkuliert. Ein Linearkolbenverdichter (Medo Nitto LA 120A; 130 W) versorgt Bewegbetteaktor und Haltungseinheit mit Druckluft.

Jeweils drei Kleinkreisläufe befinden sich in einer Klimakammer (3,5 x 6,5 m) die über eine Temperaturregelmöglichkeit von 10 °C bis 30 °C verfügt und somit die Beibehaltung einheitlicher Haltungswassertemperaturen erlaubt. Zwei mit insgesamt sechs Kleinkreisläufen ausgestattete Klimakammern kamen für die Untersuchungen am IfB zum Einsatz. Die Zuordnung der eingesetzten Kleinkreisläufe zu Behandlungs- und Kontrollgruppen erfolgte nach dem Zufallsprinzip.



Abbildung 1: In Klimakammer am IfB eingestellte Kleinkreisläufe

Die eingesetzten Kleinkreisläufe erlauben die Bereitstellung identischer Haltungsbedingungen bei geringem Frischwasserbedarf. Täglich erfolgte die Entnahme von 5 l Schlammwasser aus dem fluidisierten Lamellenpaket und weiterer 10 l zur Entnahme sich aufkonzentrierenden Nitrates. Zur Ergänzung dieser Wasserverluste und der täglichen Verdunstung in Höhe von rund 5 l erfolgte die tägliche Zuführung von 20 l Frischwasser pro Kleinkreislauf.

Aufgrund des geringen Frischwasserbedarfs bestand die Möglichkeit drei Kleinkreisläufe mit Kühlwasser, welches vom Kraftwerksstandort an das IfB überführt wurde, initial zu befüllen und kontinuierlich zu ergänzen. Drei Kleinkreisläufe dienten als Kontrollgruppen und wurden mit mittels UV-C Strahlung keimreduziertem Wasser aus dem Sacrower See initial befüllt. Auch hier erfolgte der Ausgleich täglicher Wasserverluste über dieselbe Frischwasserquelle. Die Kleinkreisläufe wurden zu Beginn der Aufzuchtssaison mit K_1 besetzt, welche auch am Kraftwerkstandort zum Einsatz kamen. Durch regelmäßige Fischentnahmen erfolgte über die Aufzuchtssaison die Einhaltung kontrollierbarer, einheitlicher Maximalbesatzdichten von etwa 30 kg/m^3 . Die Fütterung der Fische in allen sechs Kleinkreisläufen erfolgte, wie am Kraftwerkstandort Schwarze Pumpe, mit dem Alleinfuttermittel Aller Loop mit täglich bis zu 150 g pro Kleinkreislauf. Der pH-Wert wurde in Kontroll- und Behandlungsgruppen durch Natron-Gaben in

Höhe von etwa 20 Gewichtsprozent der verabreichten Futtermenge auf einem Zielwert von 7,0 gehalten.

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Haltungswasserquellen auf Wachstumsleistung, Kondition, Zustand und Deformationsraten der von Oktober bis Mai aufgezogenen Karpfen wurden verglichen. Die hinreichende Versorgung der Kleinkreisläufe für Behandlungsgruppen mit Kühlwasser vom Kraftwerksstandort wurde durch regelmäßige Kühlwassertransporte an das IfB gewährleistet.

4.4 AP 4: Aufzucht bei unterschiedlichen NH_3 -Konzentrationen, bei unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten / Turbulenzen

Neben des vom Kraftwerksbetreiber maßgeblich beeinflussten und voraussichtlich schwierig zu ändernden Wasserchemismus des Kühlwassers können auch weitere chemisch-physikalische Wasserparameter, welche durch Haltungs- und Bestandsmanagement beeinflussbar sind, für Deformationen unter den aufgezogenen Karpfen führen. Somit war während des Aufzuchtdurchgangs 2024/25 in den sechs bereits unter Abschnitt 4.3 beschriebenen Kleinkreisläufen am IfB die kontrollierte Aufzucht bei unterschiedlichen NH_3 -N-Konzentrationen oder alternativ, Strömungsgeschwindigkeiten / Turbulenzen vorgesehen. Welcher dieser beiden Parameter während des Durchgangs 2023/24 adressiert wird, leitete sich aus den während der vorangegangenen Aufzuchtssaison gemachten Beobachtungen ab.

Erhöhte NH_3 -N-Konzentrationen bis etwa 0,06 mg/l, wie sie in bisherigen Aufzuchtdurchgängen am Kraftwerksstandort beobachtet wurden, waren im Falle der Auswahl dieses Parameters aus dem vorangegangenen Untersuchungsverlauf in drei Kleinkreisläufen durch eine Reduzierung der Biofilmoberfläche im Biofilter, bei Bedarf in Kombination mit kontrollierten Harnstoff-Gaben geplant. In den drei als Kontrollgruppen fungierenden Kleinkreisläufen sollte die NH_3 -N-Konzentration auf dem Niveau belassen werden, welches sich allein durch die Verstoffwechselung des verabreichten Alleinfuttermittels (Aller Loop) einstellt. Der pH-Wert sollte in Kontroll- und Behandlungsgruppen durch Natron-Gaben auf ein einheitliches Zielspektrum eingestellt werden, wie es auch am Kraftwerksstandort vorgefunden wird.

Differierende Strömungsgeschwindigkeiten / Turbulenzen wurden durch unterschiedliche Wasserführung und Belüftungsintensität in jeweils drei der sechs eingesetzten Kleinkreisläufe realisiert.

Während des Aufzuchtdurchgangs 2024/25 erfolgte in allen Haltungseinheiten Ende November, Anfang Januar und Ende Februar die Erfassung der Strömungsgeschwindigkeit. Die Strömungsmessung erfolgte unter Einsatz des magnetisch-induktiven Strömungsmessgerätes Ott HydroMet MF Pro. Pro Messung wurde die Strömungsgeschwindigkeit vom Gerät (in m/s) über einen Zeitraum von 20 Sekunden

gemittelt erfasst. Pro Messpunkt wurden drei entsprechende Messwiederholungen durchgeführt. Strömungsmessungen erfolgten am IfB pro Messkampagne in jeder Haltungseinheit in einem Abstand von ca. 15 cm vom Beckenrand 90°, 180° und 270° hinter dem Wasserzulauf, 10 cm unterhalb der Wasseroberfläche, 10 cm über Grund und im Mittelwasser in einer Tiefe von 40 cm, somit an neun Messpunkten pro Rundbecken.

Analog erfolgten während des Aufzuchtdurchgangs 2024/25 Anfang Dezember und Anfang April Strömungsmessungen in den Rundbecken am Standort Schwarze Pumpe. Hier erfolgten neben den Messungen nahe des Beckenrandes zusätzlich Messungen in einem Abstand von ca. 2 m vom Beckenrand im Mittelwasser in einer Tiefe von 40 cm. Entsprechend ergaben sich hier bei jeder Messkampagne 12 Messpunkte pro Becken. Strömungsmessungen erfolgten am Standort Schwarze Pumpe sowohl in den für die Fütterungsvergleiche herangezogenen kleinen Rundbecken mit einem Durchmesser von 4 m und ca. 10 m³ produktivem Volumen, als auch in den Produktionsbecken mit einem Durchmesser von 15 m und einem produktiven Volumen von rund 160 m³.

Die Auswirkungen der Differenzen in Strömungsgeschwindigkeiten / Turbulenzen auf Wachstumsleistung, Kondition, Zustand und Deformationsraten der von Oktober bis Mai aufgezogenen Karpfen wurden verglichen.

4.5 AP 5: Koordination, Auswertung Berichtstellung

Das Arbeitspaket umschloss die Koordination der Arbeiten, die Abfassung von Zwischenberichten und des Abschlussberichtes sowie die Ergebnisdarstellung für die sächsischen Teichwirte und andere am teichwirtschaftlichen Sektor interessierte Personen. Im Rahmen des Wissenstransfers und der Kommunikation der im Vorhaben gewonnenen Erkenntnisse erfolgte die Erstveröffentlichung der erzielten Ergebnisse in der vorliegenden LfULG-Schriftenreihe.

4.6 Fortlaufende Dokumentation im Rahmen von AP 2–4

Im Rahmen von AP 2–4 erfolgte fortlaufend die tägliche Dokumentation von Temperatur, Sauerstoffgehalt und pH-Wert. Verhalten und Zustand der Karpfenbestände wurden beobachtet, ggf. auftretende Fischverluste und Auffälligkeiten dokumentiert. Alleinfuttermittel wurden in Abhängigkeit von Temperatur, Stückmasse und Bestandsbiomasse berechnet, abgewogen und verabreicht. In wöchentlichen Abständen wurden an den eingesetzten Kleinkreisläufen am IfB, Alkalinität, NH₃/NH₄, NO₂**Fehler! Textmarke nicht definiert.**, NO₃**Fehler! Textmarke nicht definiert.**, Trübung und Leitfähigkeit erfasst. Die Erfassung der Wasserparameter ist unter Abschnitt 4.1 näher beschrieben.

Probewiegungen in etwa monatlichen Abständen erfolgten zur Verfolgung der Wachstumsleistung. Falls in den Kleinkreisläufen am IfB aus Gründen der Wasseraufbereitungskapazität erforderlich, erfolgte eine einheitliche Anpassung der Bestandsbiomasse.

Abschließend erfolgte die Gesamtwägung der Bestände und die Berechnung von Zuwachs, spezifischer Wachstumsrate (nach BUSACKER et al. 1990), und Futterverwertung. Der Gesundheitszustand einer Stichprobe von Individuen wurde untersucht. In Anlehnung an ein vom IfB im Rahmen eines BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) geförderten Vorhabens entwickelten Analysewerkzeugs zur Bewertung des Tierwohls bei der Aufzucht von Zandern und Regenbogenforellen (BECKE et al. 2019) erfolgte die Beurteilung des Tierwohls der aufgezogenen Karpfenbestände.

4.7 Dokumentation von Zustand und Deformationen im Rahmen von AP 2–4

Das Auftreten von Deformationen im Rahmen von AP 2–4 vor, während und nach der Haltung wurde durch Frau Dr. Böttcher, Fischgesundheitsdienst der Sächsischen Tierseuchenkasse an einer Stichprobe von in den unterschiedlichen Behandlungs- und Kontrollgruppen gehaltenen Tieren mit Hilfe digitaler Röntgentechnik, quantifiziert. Pro Untersuchungszeitpunkt und Gruppe wurden 60 bis 100 Fische am Kraftwerks- und Teichstandort im Rahmen diagnostischer Bestandsuntersuchungen narkotisiert und jeweils latero-lateral und dorso-ventral geröntgt. Am Standort IfB erfolgte das Röntgen nach tierschutzkonformer Betäubung und Tötung im Rahmen der Schlachtung und Weiterverarbeitung. Die notwendige digitale Röntgentechnik wurde von der Fa. EXAMION GmbH, Fellbach leihweise zur Verfügung gestellt. Zum Einsatz kam die mobile Röntgenröhre Modell „meX+20BT“ sowie der Röntgendetektor „X-DR-L WiFi“. Dieser wurde in einer wasserdichten Schutzhülle „Protectionbox für X-DR-L WiFi“ platziert (Abbildung 2). Ein Abstand von Röhre und Detektor zwischen 86 cm und 126 cm wurde eingestellt. In Abhängigkeit von der Fischgröße erfolgten die Belichtungseinstellungen der Röntgenröhre mit 40–53 kV und 2,0–5,0 mAs, mit den jeweils höheren Werten bei Untersuchung größerer Fische.



Abbildung 2: Setup der Röntgenausrüstung zur Erhebung von Deformationen bei Karpfen (dorso-ventrale Aufnahme)

Pro Aufnahme konnten in Abhängigkeit von der Stückmasse der untersuchten Fische zwischen drei und fünf Tieren gleichzeitig geröntgt werden. Für latero-laterale Aufnahmen wurden die Tiere auf der Seite liegend auf einem feuchten Baumwolltuch auf dem Röntgendetektor platziert (Abbildung 3). Zur Erzielung der dorso-ventralen Position wurde eine befeuchtete, stark genoppte Schaumstoffunterlage genutzt, auf welcher die geröntgten Individuen aufrecht positioniert werden konnten (Abbildung 4).



Abbildung 3: Positionierung der Fische auf dem Detektor für eine latero-laterale Aufnahme

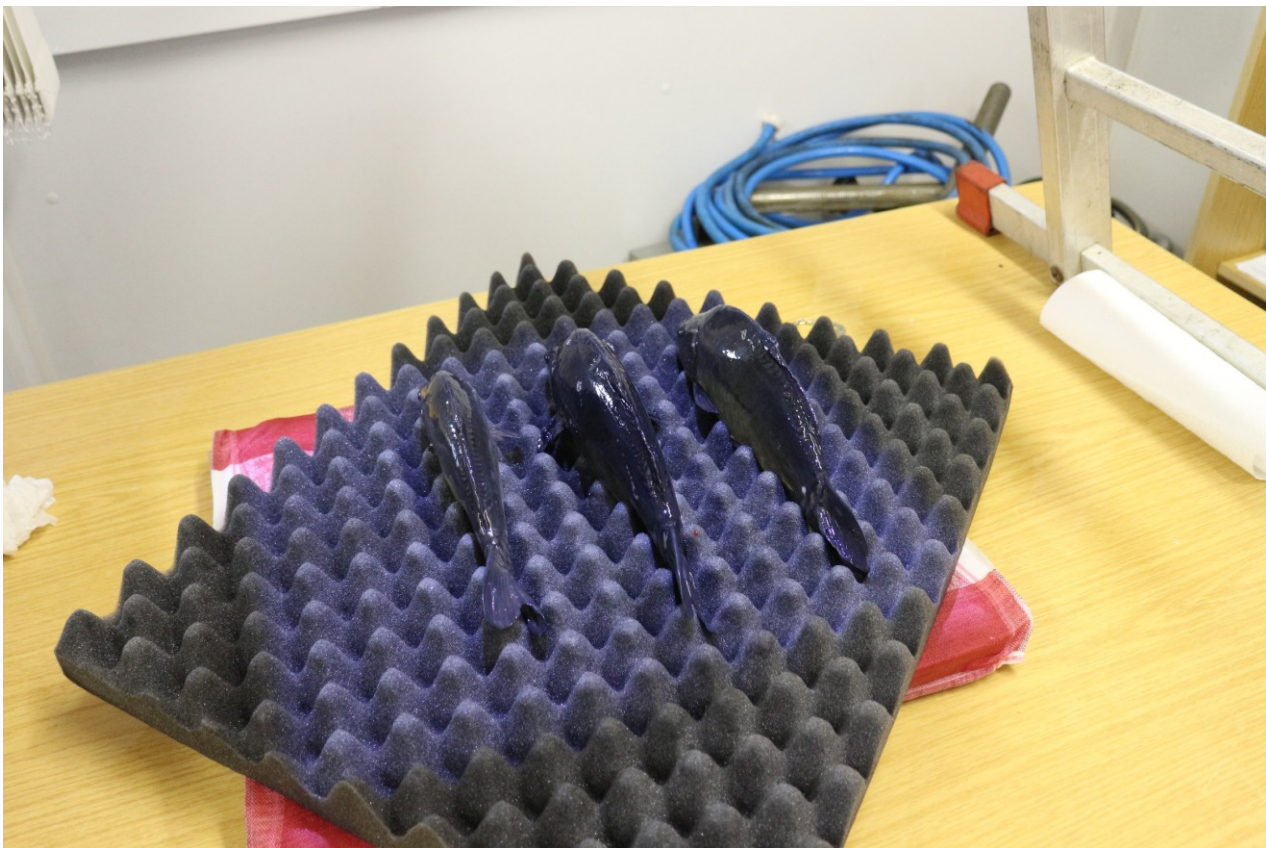


Abbildung 4: Positionierung der Fische für eine dorso-ventrale Aufnahme

Die Bildauswertung erfolgte unter Nutzung der Software AQS VET auf einem Lenovo Notebook S. Bei der Analyse der aufgenommenen digitalen Röntgenbilder wurden nahezu ausschließlich Deformationen an der Wirbelsäule festgestellt. Es wurden zwei Gruppen von Deformationen unterschieden:

1. Verkrümmung der Wirbelsäule bzw. Deformationen einzelner Wirbelkörper und
2. Deformationen an Wirbelfortsätzen (Dornfortsätze, Hämalfortsätze, Rippen).

Die Deformationen an der Wirbelsäule fanden sich entweder an einzelnen Wirbelkörpern in Form von Verlagerung, Stauchung oder anderweitiger Verformung oder in Abweichungen der Form der gesamten Wirbelsäule. Dabei wurden häufig Verkrümmungen der Wirbelsäule nach dorsal (Lordose), die von einer eng lokalisierten Stelle meist im Bereich der Schwanzwirbelsäule ausgingen beobachtet („Knick“). Selten war die Wirbelsäule auch in seitlicher Richtung verkrümmt (Skoliose). Diese Verkrümmungen der Wirbelsäulenlinie ließen sich anhand des Winkels der beobachteten Abweichung in geringgradig (Abweichung bis 20°), mittelgradig (Abweichung zwischen 21–39°) und hochgradig (Abweichung ab 40°) kategorisieren.

Deformationen an den Wirbelfortsätzen äußerten sich in der Regel in punktuellen oder walzenförmigen Wulstbildungen an einzelnen oder mehreren Hämal- oder Dornfortsätzen. Vielfach wurden auch die Spaltung bzw. Verdoppelung von Wirbelfortsätzen vorgefunden. Entgegen der Deformationen an den Wirbelsäulen, wo die Winkelstellung vermessen werden konnte, war eine objektive Unterscheidung in gering-, mittel- und hochgradige Deformationen von Wirbelfortsätzen schwierig. Hier wurde bei der statistischen Auswertung lediglich eingeordnet, ob Deformationen an den Wirbelfortsätzen vorgefunden werden konnten oder nicht.

Insgesamt wurden jeweils zwei Röntgenaufnahmen (latero-lateral und dorso-ventral) von 2.100 Karpfen begutachtet. Kategorisierung und Auswertung der Röntgenaufnahmen erfolgte unter Hinzuziehung der Veröffentlichungen von ŠVOB et al. (1974), STEFFENS (1975), LEHMANN (1991), BÖTTCHER & BÖTTCHER (2000), SANKAR et al. (2024) und FJELLDAL et al. (2025).

Anhand der Abbildungen 5 bis 10 werden typische Beispiele zu den vorgefundenen Deformationen an Wirbelsäulen, Wirbelkörpern und Wirbelfortsätzen vorgestellt.

K2 Teichaufzucht Fisch 88-90
325 0

Dr. Kerstin Böttcher
EXAMION GmbH X-DR L Wifi Gen 3

Fish: overview LL

21-November-2024 12:00:55



Abbildung 5: Fisch Mitte: Hochgradige Skoliose ab dem 10. Schwanzwirbel (latero-laterale Ansicht)



Abbildung 6: Fisch Mitte: Hochgradige Skoliose ab dem 10. Schwanzwirbel (dorso-ventrale Ansicht)

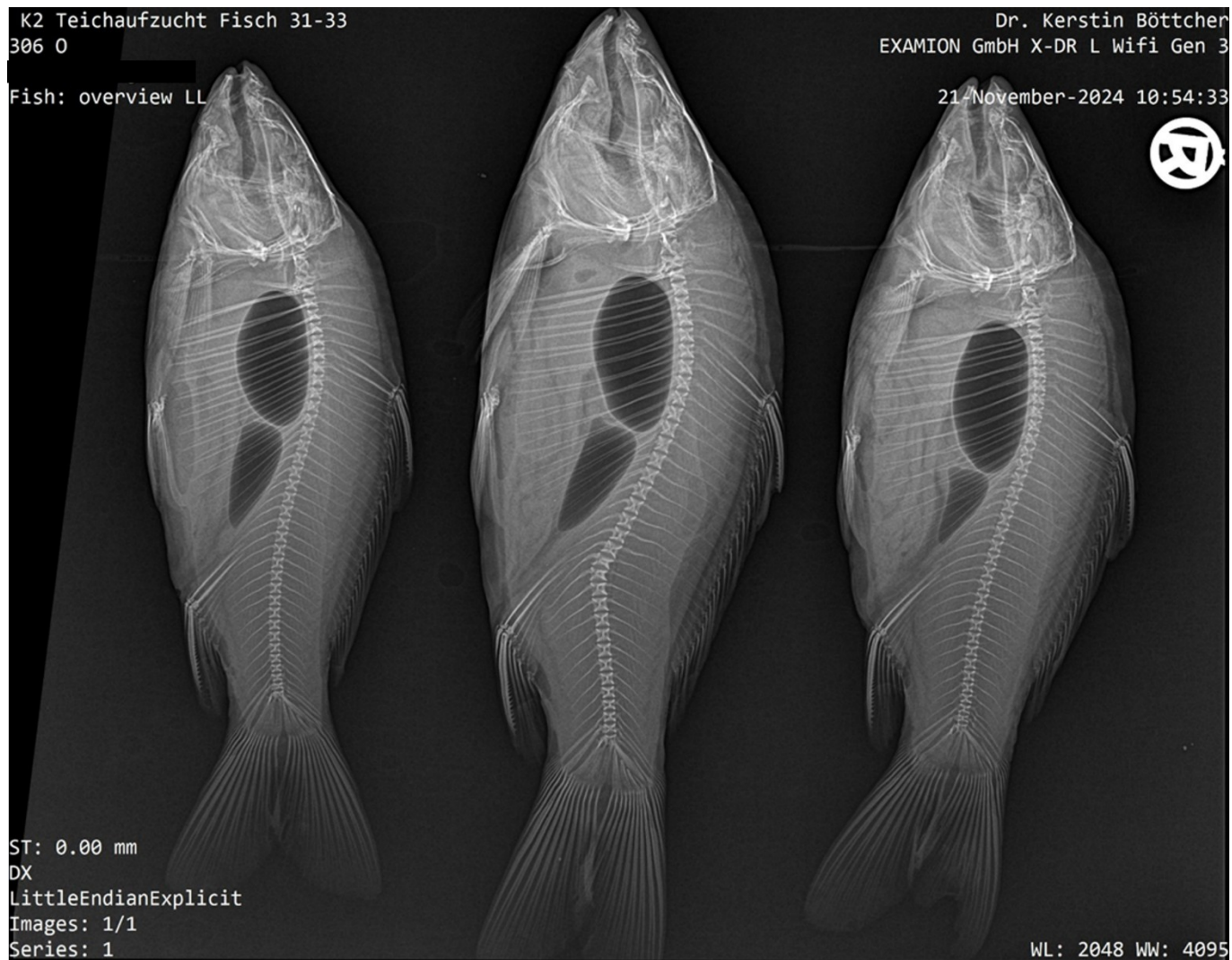


Abbildung 7: Fisch Mitte: Knick der Schwanzwirbelsäule nach dorsal um 30° (mittelgradig) im Bereich 5. Schwanzwirbel

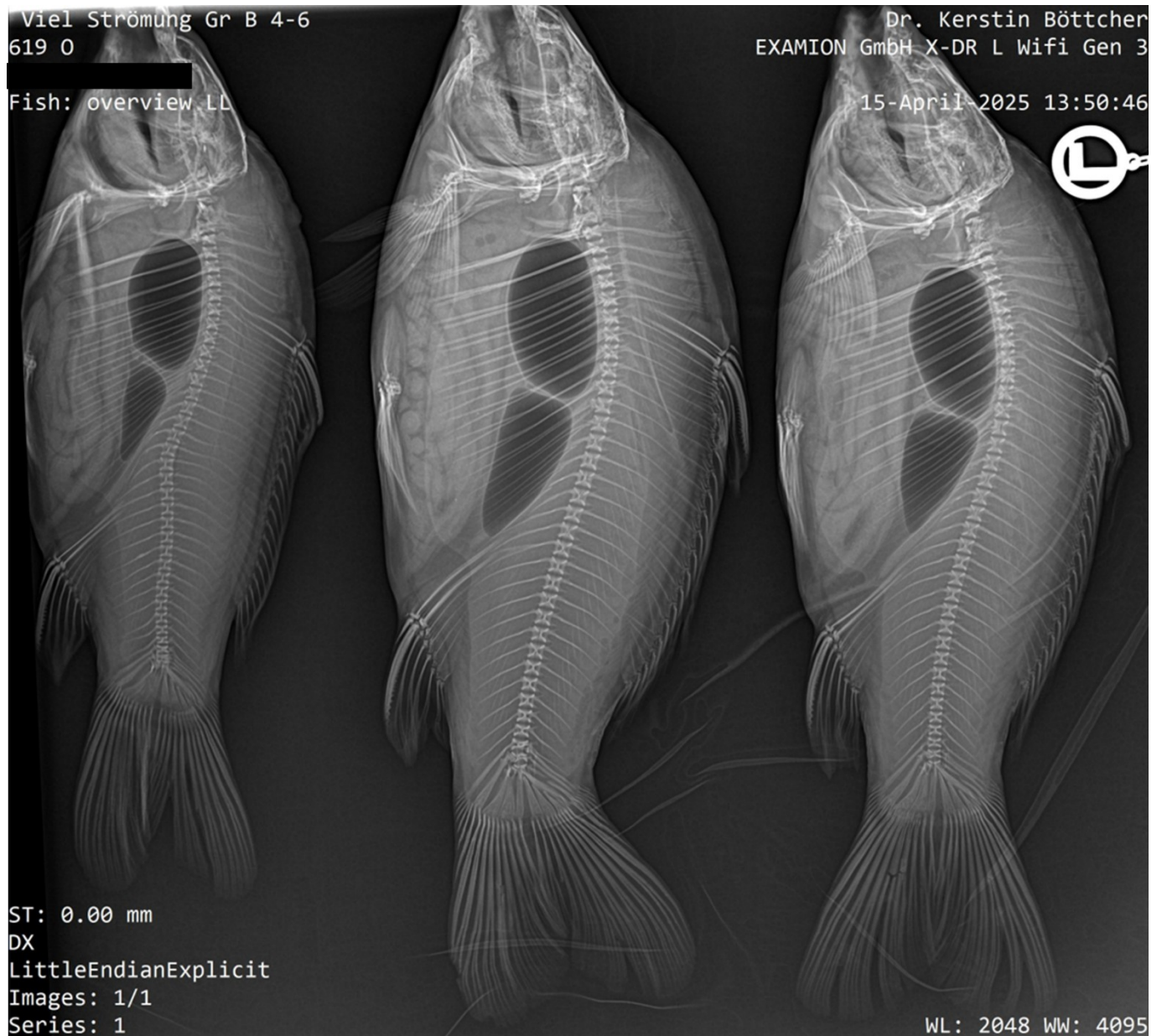


Abbildung 8: Fisch Mitte: 15. und 16. Schwanzwirbel geringgradig deformiert; Fisch links: Knick der Wirbelsäule nach dorsal um ca. 25° (mittelgradig) im Bereich 6. Lendenwirbel / 1. Schwanzwirbel; geringgradige Skoliose der gesamten Schwanzwirbelsäule

Viel Strömung Gr B 46-48
633 0

Dr. Kerstin Böttcher
EXAMION GmbH X-DR L Wifi Gen 3

Fish: overview LL

15-April-2025 14:24:34

ST: 0.00 mm
DX
LittleEndianExplicit
Images: 1/1
Series: 1

WL: 2048 WW: 4095

Abbildung 9: Fisch rechts: Hämalfortsatz des 13. Schwanzwirbels gespalten oder verdoppelt; Fisch Mitte: Mittelgradige Skoliose bis 23° am 12.–16. Schwanzwirbel mit geringgradiger Deformation der Wirbelkörper; Fisch links: Knick der Schwanzwirbelsäule um 40° nach dorsal (hochgradig)

Testfutter13-15 Kl B
556 O

Dr. Kerstin Böttcher
EXAMION GmbH X-DR L Wifi Gen 3

Fish: overview LL

15-April-2025 10:20:38

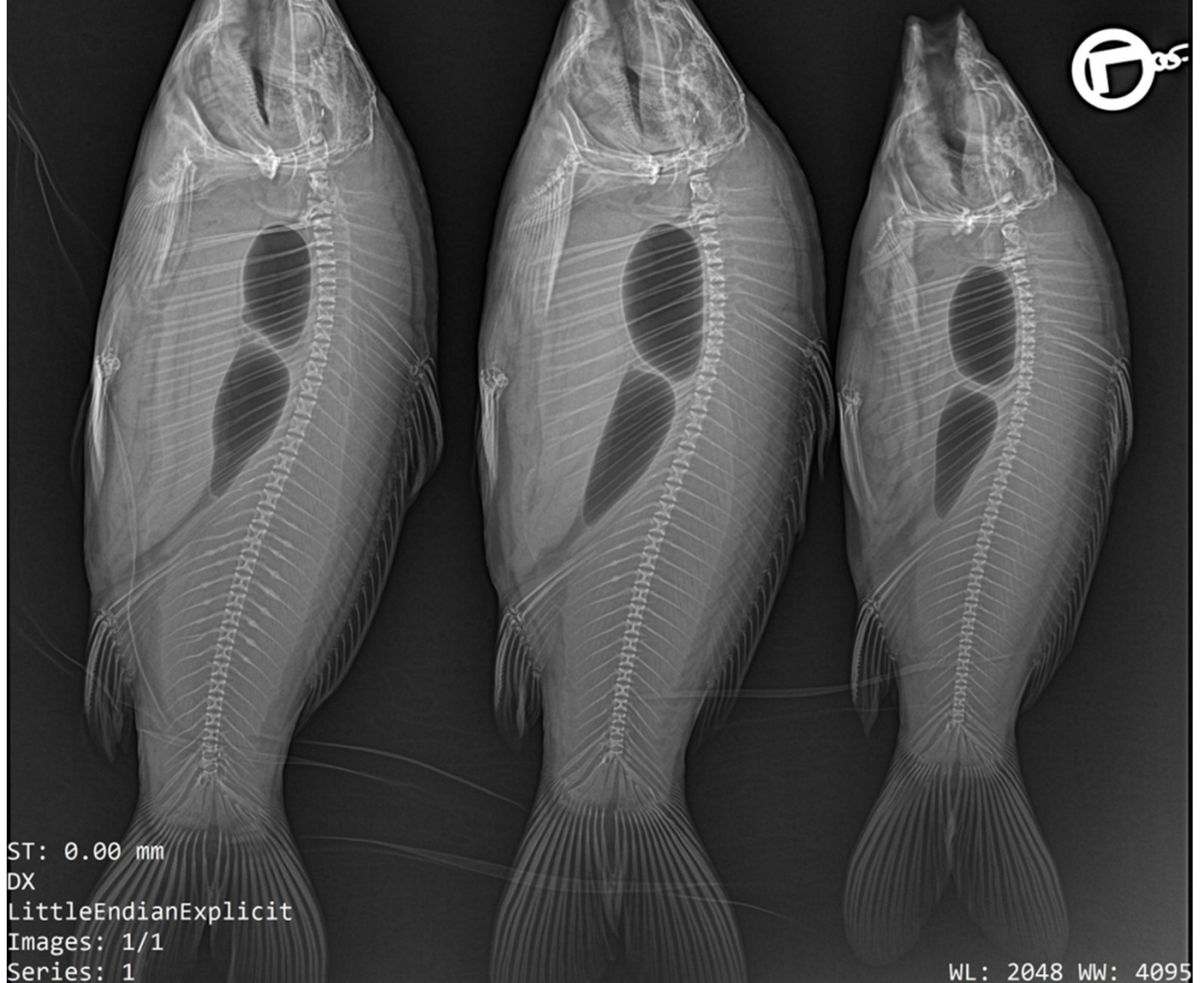


Abbildung 10: Fisch Mitte: Hämalfortsatz des 14. und 15. Schwanzwirbels mit Wulstbildung; Fisch links: Dornfortsatz 2. bis 9. Schwanzwirbel mit Wulstbildung; Hämalfortsatz 3. bis 6. Schwanzwirbel mit Wulstbildung; 3. Hämalfortsatz mit zwei Wulstbildungen; Hämalfortsatz des 8. Schwanzwirbels gespalten oder verdoppelt; 2. und 3. Schwanzwirbel ohne Zwischenwirbelraum (Stauchung oder Verwachsung); 15. und 16. Schwanzwirbel geringgradig deformiert

4.8 Statistische Datenauswertung

4.8.1 Strömungsgeschwindigkeiten

Die statistische Absicherung von Unterschieden in Strömungsgeschwindigkeiten zwischen Gruppen und Messkampagnen erfolgte durch Gegenüberstellung der in allen Messpunkten erfassten Strömungsgeschwindigkeiten im zweiseitigen Student's t-Test in MS**Fehler! Textmarke nicht definiert.**-Excel bei einem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$. Vorab erfolgte die Prüfung auf Varianzhomogenität anhand des F-Tests über dasselbe Programm.

4.8.2 Deformationsraten

Der Vergleich beobachteter Anzahlen deformierter Individuen der jeweils einbezogenen Formen an Deformationen erfolgte durch Berechnung des Chi-Quadratwertes mithilfe der MS-Excel Tabellenkalkulation. Lag der kalkulierte Chi-Quadrat-Wert oberhalb von 3,84 indizierte dies signifikante Unterschiede zwischen den zu vergleichenden Anzahlen an deformierten Individuen für das Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$.

4.8.3 Einfluss von Deformationen auf die Wachstumsleistung

Die statistische Überprüfung von Unterschieden in Stückmassen gewogener Individuen mit Deformationen mit nicht deformierten Individuen der entsprechenden Gruppe erfolgte wiederum im zweiseitigen Student's t-Test in MS-Excel bei einem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$. Vorab erfolgte auch hier die Prüfung auf Varianzhomogenität anhand des F-Tests.

5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Wasserqualität des Kühlwassers

Erkundigungen zu den während der Aufbereitung und Konditionierung des am Kraftwerksstandort genutzten Kühlwassers eingesetzten Substanzen und Dosierprotokollen wurden eingeholt. Jeweils mittwochs erfolgt am Standort Kraftwerk Schwarze Pumpe die Biozid-Behandlung des Kühlwasserkreislaufs mit dem Wirkstoff Chlor durch Zudosierung von Natriumhypochlorit, welches mit Ammoniumsulfat (zum Zweck einer Voroxidation) verabreicht wird. Während der Behandlung wird die Fischhaltung in Schwarze Pumpe von der Wasserversorgung getrennt.

Tabelle 1: Ermittelte Messwerte im Kühlwasserkreislauf nach Abschluss der regelmäßig mittwochs erfolgenden Biozid-Behandlung durch Zudosierung von Natriumhypochlorit und Ammoniumsulfat

Parameter	Messwert
pH-Wert	7,96
Trübung (FNU)	0,55
Ammonium (mg/l)	0,006
Ammoniak (mg/l)	0,0002
Salinität (0/00)	1,1
Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2.100
Nitrit (mg/l)	< 0,001
Nitrat (mg/l)	7,0
Alkalinität (mmol/l)	2,41
Chlor, frei (mg/l)	< 0,05

Während der Fischhaltung unter Einsatz des aus Schwarze Pumpe transportierten Kühlwassers am IfB konnten keine Auffälligkeiten an den Fischen beobachtet werden (vergl. 5.3). Der Wasserchemismus des Kühlwassers führte jedoch in den damit betriebenen Kleinkreisläufen zu Verzögerungen beim Einfahren ihrer Biofilter sowie zur Beeinträchtigung der Biofilterleistung bei einer Wasseraustauschrate von 20 % des Anlagenvolumens. Die analytisch erschwert nachweisbare Biozid-Behandlung war somit in Form ihrer Auswirkung auf nitrifizierende Biofilme während des Untersuchungszeitraums belegbar.

Nach Überführung des am IfB eingesetzten Spektralphotometers D3900 und der benötigten Analyseausstattung nach Schwarze Pumpe erfolgten zur Detektion von freiem Chlor ohne Notwendigkeit der ansonsten notwendigen Probenüberführung nach der Biozid-Behandlung am Mittwoch, den 9.04.25 spektralphotometrische Messungen direkt vor Ort in der Aufzuchtanlage in Schwarze Pumpe (Tabelle 2).

Die für den Messtag zwischen 9:30 Uhr und 12:30 Uhr avisierte Biozidbehandlung führte kurz nach Wiederaufnahme der Wasserversorgung der Fischhaltung gegen 11:40 Uhr bis um 12:15 Uhr zu einem kurzzeitigen Anstieg der Konzentration an freiem Chlor auf 0,4 mg/l. Bereits 15 Minuten später schien der Peak, der mit einer sichtbaren Eintrübung des Kühlwassers an der Entnahmestelle einherging, bereits wieder abzuklingen.

Tabelle 2: Entwicklung der Konzentration freien Chlors in der Aufzuchteinheit in Schwarze Pumpe im Anschluss an eine am 9.04.25 durchgeführten Biozid-Behandlung des Kühlwasserkreislaufs

Uhrzeit	Chlor, frei (Hach LCK410) (mg/l)
11:45	0,151
11:55	0,112
12:05	0,122
12:15	0,434
12:20	0,342
12:30	0,219

Eine Kurzzeitkonfrontation des Fischbestandes nach erfolgten Biozidbehandlungen mit erhöhten Konzentrationen an freiem Chlor für wenige Minuten scheint somit in Schwarze Pumpe nicht ausgeschlossen.

Die Toxizität von Chlor und chlorhaltigen Verbindungen auf Fische wurde in einer Reihe von Untersuchungen dokumentiert. Zwar gehören Karpfen zu den gegenüber Chlorverbindungen eher weniger sensiblen Arten (SEEGERT et al. 1979), dennoch können über einige Stunden wirkende Konzentrationen von 0,2 mg/l freiem Chlor auch bei widerstandsfähigen Arten zu Schädigungen und Verlusten führen. Bei niedrigen Temperaturen (4–5 °C) vermochten 0,1–0,2 mg/l freies Chlor über mehrere Tage einwirkend Karpfen zu töten. (SCHÄPERCLAUS 1990). Die chronische Toxizitätsschwelle von Chlor und chlorhaltigen Verbindungen ist bei Fischen ebenfalls stark artabhängig. Erste Verhaltensänderungen zeigten sich bei Coho-Lachsen (*Oncorhynchus kisutch*) bereits bei 0,05 mg/l freiem Chlor, wohingegen Katzenwelse (*Ictalurus punctatus*) erst ab 0,4 mg/l freiem Chlor mit Ausweichverhalten reagierten (CHERRY et al. 1979). Die Hauptschädigung von Fischen durch akute Chlorintoxikationen erfolgt über die Beeinflussung und Zerstörung des Kiemengewebes und damit die Behinderung der Respiration (SCHÄPERCLAUS 1990, MEINELT et al. 1998). Chlor oxidiert Hämoglobin zu Methämoglobin (ZEITOUN 1977) und kann zu Rupturen in den Membranen der Erythrozyten mit nachfolgender Hämolyse führen. Chlorverbindungen in subletalen Konzentrationen können bei Fischen zu einem Anstieg des Kohlensäurepartialdrucks, zu einer Absenkung des Sauerstoffpartialdrucks und zu einer Azidose im Blut führen (POWELL & PERRY 1996). Möglicherweise bedingt eine entsprechend ausgelöste Azidose Imbalancen im Mineralstoffhaushalt, welche erhöhte Raten an Skeletdeformationen nach sich ziehen könnten. Physiologische Untersuchungen,

welche die Analyse von Mineralienspiegeln in den gehaltenen Karpfen mit einbeziehen, könnten hier zukünftig Aufschluss geben.

Ob die wöchentliche Exposition gegenüber freiem Chlor für wenige Minuten während der Fischhaltung in Schwarze Pumpe kausal mit einer erhöhten Deformationsrate bei den entsprechend gehaltenen Karpfen in Verbindung zu bringen ist, bleibt unklar. Auf Grund der unter Abschnitt 5.3 dargestellten Ergebnisse der kontrollierten Aufzucht im Kühlwasser im Vergleich zur Seewasserkontrolle ist ein Zusammenhang jedoch unwahrscheinlich.

5.2 Aufzucht mit unterschiedlichen Alleinfuttermitteln

Während der Aufzuchtsaison 2023/24 erfolgte am Standort Schwarze Pumpe ein Vergleich des üblicherweise eingesetzten Alleinfuttermittels „Aller Loop“ der Fa. Emsland-Aller Aqua GmbH, Golßen und dem eingesetzten Testfutter „Skretting B40“ der Fa. Skretting, Trouw Nutrition Deutschland GmbH, Burgheim. Aller Loop verfügt über einen Proteinanteil von 40 %, einen Fettanteil von 23 % und einen Phosphoranteil von 1,1 %. Das Testfuttermittel Skretting B40 verfügt über einen vergleichbaren Proteinanteil von 41 %, einen geringeren Fettanteil von 12 % und einen höheren Phosphoranteil von 1,4 %.

Mitte Oktober 2023 erfolgte für den Futtermittelvergleich der Besatz von identischen, mit Kühlwasser versorgten 10 m³-Haltungsbecken mit jeweils 2000 K₁ im Stückmassebereich um 40 g.

Mitte Oktober 2024 begannen die Fütterungsuntersuchungen während der Aufzuchtsaison 2024/25 am Standort Schwarze Pumpe mit einem weiteren Testfutter. Neben dem Standardfutter Aller Loop wurde nun als Testfutter das Produkt „Aller Ivory EX“ der Fa. Emsland-Aller Aqua GmbH, Golßen eingesetzt. Es verfügt über 56 % Rohprotein, 18 % Rohfett und 1,5 % Phosphor. Zwei 10 m³-Becken wurden für den Futtermittelvergleich 2024/25 mit jeweils rund 2000 K₁ im Stückmassebereich um 85 g besetzt.

Zur Feststellung des Ausgangszustandes der in die Untersuchungen einbezogenen Karpfenbestände wurden Mitte Oktober 2023 sowie Mitte Oktober 2024 jeweils 100 Individuen per Röntgenuntersuchung auf das Auftreten von Deformationen untersucht (Tabelle 5).

Die Futtermittelvergleiche erfolgten während der praxisüblichen Aufzucht und erstreckten sich bis zur Abfischung der Becken am Standort Schwarze Pumpe im Mai 2024 bzw. im Mai 2025. Über regelmäßige Probeabfischungen wurde die Stückmasseentwicklung der gehaltenen Karpfenbestände verfolgt und die über Futterautomaten verteilte Futtermenge der Bestandsbiomasse angepasst. Neben dem Futtermittelvergleich in den 10 m³-Kleinbecken wurden auch die in zwei mit ca. 40.000 K₁ besetzten, rund 160 m³ Haltungsvolumen anbietenden Produktionsbecken des Standortes Schwarze Pumpe bei Verabreichung des Standardfutters Aller Loop erzielten Aufzuchtleistungen mitverfolgt.

5.2.1 Haltungswasserparameter

Tabelle 3 stellt die während der verfolgten Aufzuchtdurchgänge am Kraftwerkstandort im zentralen Ablauf der mit Kühlwasser gespeisten Haltungsbecken ermittelten Haltungswasserparameter dar.

Tabelle 3: Während der Aufzuchtdurchgänge 2023/24 und 2024/25 am Standort Schwarze Pumpe im Beckenablauf erfasste Wasserqualitätsparameter

(Mittelwerte und Spannweiten von 10 Einzelmessungen pro Aufzuchtdurchgang)

Parameter	Minimum	Maximum	Mittelwert
Aufzuchtdurchgang 2023/24			
pH-Wert	7,10	7,73	7,38
Ammonium (mg/l)	0,617	3,084	1,795
Ammoniak (mg/l)	0,0035	0,0282	0,0161
Leitfähigkeit (µS/cm)	2.190	2.540	2.389
Nitrit (mg/l)	0,099	4,144	0,833
Nitrat (mg/l)	7,08	10,18	8,47
Aufzuchtdurchgang 2024/25			
pH-Wert	7,30	8,32	7,58
Ammonium (mg/l)	< 0,050	1,414	0,879
Ammoniak (mg/l)	< 0,0053	0,0164	0,0103
Leitfähigkeit (µS/cm)	2.520	3.060	2.769
Nitrit (mg/l)	0,099	0,954	0,520
Nitrat (mg/l)	8,27	25,09	14,15

Die Aufzucht am Standort Schwarze Pumpe erfolgt bei Haltungswassertemperaturen zwischen minimal 19 °C und maximal 27 °C. Bis auf eine kurzfristige Überschreitung der Optimalwerte bei NH₃/NH₄-Konzentrationen gegen Abschluss des Aufzuchtdurchgangs 2023/24 fanden die gehaltenen Fische in Schwarze Pumpe optimale Haltungswasserparameter vor (SCHRECKENBACH 2010). Kurzfristig lagen die NH₃/NH₄-Konzentrationen im eingeschränkten oberen Bereich. Parameter im kritischen Bereich traten nicht auf.

Anhand der erzielten Wachstumsleistungen, Futterverwertungen, Verlustraten und der gegen Mitte und Ende der Aufzucht zur Erfassung von Deformationen durchgeführten Röntgenuntersuchungen erfolgte die Ergebnisauswertung der Futtervergleiche.

5.2.2 Aufzuchtleistung

Tabelle 4 zeigt die am Standort Schwarze Pumpe während des Aufzuchtdurchgangs 2023/24 und des Durchgangs 2024/25 in 10 m³- und 160 m³-Haltungseinheiten unter Praxisbedingungen erzielten Aufzuchtergebnisse.

Tabelle 4: Am Standort Schwarze Pumpe während der Aufzucht 2023/24/25 in großen und kleinen Haltungseinheiten erzielte Aufzuchtleistungen

(Standardfutter Aller Loop; Testfutter 2023/24: Skretting B40; Testfutter 2024/25: Aller Ivory EX)

Becken / Gruppe	Endstückmasse	FQ	Verluste
Aufzuchtdurchgang 2023/24			
B1 (groß) Standardfutter	664 g	1,30	10,4 %
B3 (groß) Standardfutter	742 g	1,12	2,9 %
B5 (klein) Testfutter (B40)	520 g	1,62	8,6 %
B6 (klein) Standardfutter	725 g	1,10	6,6 %
B7 (klein) Standardfutter	750 g	1,10	9,3 %
B8 (klein): Standardfutter	915 g	1,09	25,4 %
Aufzuchtdurchgang 2024/25			
B1 (groß) Standardfutter	640 g	1,42	< 2 %
B2 (groß) Standardfutter	669 g	1,37	2,6 %
B6 (klein) Testfutter (Ivory)	700 g	1,15	< 2 %
B7 (klein) Standardfutter	850 g	0,94	< 2 %
B8 (klein): Standardfutter	740 g	0,97	< 2 %

Die in beiden Aufzuchtdurchgängen erzielten hohen Stückmassezuwächse, in aller Regel günstige Futterverwertungen und geringe Verlustraten, verwiesen auf ein leistungsstarkes Aufzuchtssystem am Standort Schwarze Pumpe, welches offenbar gute Haltungsbedingungen für die intensive Karpfenaufzucht bietet.

Unter Einsatz des Standardfuttermittels wurden in beiden Aufzuchtdurchgängen in den großen Haltungseinheiten zumeist geringere in Stückmassezuwächse und eine etwas ungünstigere Futterverwertung erzielt als in den kleinen Haltungseinheiten. Große und kleine Becken wurden mit dem gleichen Kühlwasser betrieben. Bezogen auf die Fischbiomasse erfolgten Wasser- und Sauerstoffversorgung in den großen und kleinen Haltungseinheiten auf einem vergleichbaren Niveau. Auch die Besatzdichte pro m³ Haltungsvolumen sowie die Futterversorgung der Bestände lag in einem sehr ähnlichen Spektrum.

Der offensichtlichste Unterschied, der sich für die in großen und kleinen Haltungseinheiten am Standort Schwarze Pumpe für die gehaltenen Karpfen ergab, lag im großen Unterschied der in den Becken aktiven Fischbiomasse. Diese lag gegen Ende der Aufzuchtphase in den 160 m³-Einheiten bei etwa 25 t, in den 10 m³-Einheiten im Bereich von rund 1,5 t. Die sehr viel größere Fischbiomasse führte durch ihre Schwimmaktivität in den großen Wasservolumina der 160 m³-Haltungseinheiten kontinuierlich zu deutlich mehr Turbulenzen und damit einhergehenden höheren Strömungsgeschwindigkeiten als die geringe Fischbiomasse in den kleinen Wasserkörpern der 10 m³-Becken (vergl. Abschnitt 5.4). Entsprechend wurde den in den großen Becken gehaltenen Fischen mehr Schwimmaktivität abgefordert, welche sich offenbar negativ auf die Futterverwertung auswirkte.

Ziel des Arbeitspaketes 2 lag in erster Linie in der Prüfung des Einflusses von Alleinfuttermitteln, welche im Vergleich zum seit Jahren am Standort Schwarze Pumpe eingesetzten Standardfuttermittel Aller Loop anders formuliert waren, auf die Deformationsraten der damit aufgezogenen Karpfen. Für den Aufzuchtdurchgang 2023/24 wurde ein Testfuttermittel von einem anderen Futtermittelproduzenten ausgewählt, welches sich zusätzlich durch einen erhöhten Phosphor-Anteil auszeichnete. Somit konnten unterschiedliche Quellen und Dosierungen für die implementierten Nährstoffe, Mineralstoffe und Spurenelemente erwartet werden, welche laut GEURDEN et al. (1998) und BERILLIS (2015) als mögliche Ursachen für Auslöser von Deformationen bei wichtigen Wirtschaftsfischarten aufgeführt werden. Für den Aufzuchtdurchgang 2024/25 fiel die Auswahl auf ein Testfuttermittel, welches wie das Standardfutter ebenfalls von der Fa. Aller Aqua bezogen wurde, jedoch aus höherwertigen Komponenten formuliert war und auch über einen erhöhten P**Fehler! Textmarke nicht definiert.**-Anteil in der Mineralienfraktion verfügte.

Bezüglich der Stückmasseentwicklung und Futterverwertung während der Aufzuchtperiode 2023/24 war das zum Vergleich herangezogene Testfutter Skretting B40, dem seit Jahren am Standort Schwarze Pumpe eingesetzten Standardfutter Aller Loop, klar unterlegen (Tabelle 4). Erwartungsgemäß wirkte sich der gegenüber dem Standardfutter um 11 Prozentpunkte geringere Fettanteil im Testfutter Skretting B40 deutlich auf Wachstumsleistung und Futterverwertung aus. Auch das in Durchgang 2024/25 eingesetzte Testfutter Aller Ivory EX, welches einen gegenüber Aller Loop um 5 Prozentpunkte geringeren Fettanteil, einen jedoch um 16 Prozentpunkte höheren Proteinanteil aufwies, verfehlte in Wachstumsleistung und Futterverwertung das Standardfutter, jedoch nur knapp (Tabelle 4).

5.2.3 Deformationsraten

Über Deformationen an Wirbelsäulen, Wirbelkörpern, Dornfortsätzen und Hämalfortsätzen zusammengefasst, über Röntgen-Untersuchungen beobachtete Deformationen in mit Standard- und Testfutttermittel in Durchgang 2023/24 und Durchgang 2024/25 aufgezogenen Fischen sind Tabelle 5 zu entnehmen.

Die in den untersuchten Gruppen vorgefundenen Deformationen fielen zumeist geringgradig und eher in seltenen Fällen mittel- oder hochgradig aus. Äußerlich sichtbare Deformationen (zumeist mittel- und hochgradige Deformationen an Wirbelsäulen / Wirbelkörpern) wurden kaum festgestellt. Deformationen an Dorn- und Hämalfortsätzen wurden am Standort Schwarze Pumpe mit durchschnittlich 29,4 % häufiger vorgefunden als Deformationen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern (14,1 %). Hingegen wiesen die Ausgangsgruppen vor Untersuchungsbeginn am Standort Sproitz vornehmlich Deformationen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern auf (11,5 %). Nur 1,0 % der Tiere der Ausgangsgruppen zeigte Deformationen an Dorn- und Hämalfortsätzen.

Tabelle 5: Ergebnisse von Röntgen-Untersuchungen in den Gruppen Standard- und Testfuttter, aggregiert über alle Deformationen an Wirbelsäulen, Wirbelkörpern, Dornfortsätzen und Hämalfortsätzen in allen Schweregraden

Standort	Zeitpunkt	Gruppe	Untersucht (n)	Deformierte insges. (n)	Deformierte insges. (%)
Aufzuchtdurchgang 2023/24					
Sproitz	16.10.23	Ausgangsgruppe vor Untersuchungsbeginn	100	9	9,0 ^a
Schwarze Pumpe	30.01.24	Standardfuttter	96	33	34,3 ^b
Schwarze Pumpe	30.01.24	Testfuttter (B40)	100	37	37,0 ^b
Schwarze Pumpe	23.04.24	Standardfuttter	100	48	48,0 ^c
Schwarze Pumpe	23.04.24	Testfuttter (B40)	100	51	51,0 ^c
Aufzuchtdurchgang 2024/25					
Sproitz	11.10.24	Ausgangsgruppe vor Untersuchungsbeginn	100	14	14,0 ^a
Schwarze Pumpe	15.01.25	Standardfuttter	101	25	24,8 ^b
Schwarze Pumpe	15.01.25	Testfuttter (Ivory)	100	21	21,0 ^a

Schwarze Pumpe	15.04.25	Standardfutter	100	41	41,0 ^c
Schwarze Pumpe	15.04.25	Testfutter (Ivory)	99	47	47,5 ^c

^a, ^b, ^c: Signifikanter Unterschied innerhalb der Aufzuchtssaison (Chi-Quadrat Test, zweiseitig, $p \leq 0,05$) bei unterschiedlichen Buchstaben zwischen Untersuchungszeitpunkten

In beiden Aufzuchtdurchgängen konnte beobachtet werden, dass die Anteile an untersuchten Individuen, welche Deformationen, insbesondere an Dorn- und Hämalfortsätzen aufwiesen, mit der Zeit deutlich zunahmen. In den am Standort Sproitz kurz vor Besatz in die Haltungseinheiten in Schwarze Pumpe untersuchten Ausgangsgruppen wurden mittels Röntgenuntersuchung bei 9 % der K₁ vor dem Durchgang 2023/24 sowie bei 14 % der K₁ vor dem Durchgang 2024/25 Deformationen ermittelt. Gegen Mitte der Aufzuchtdurchgänge wurden bei zwischen 21 und 37 % der untersuchten Karpfen Deformationen detektiert. Bis zum Ende der Aufzuchtdurchgänge erhöhten sich die aggregierten Deformationsraten weiter auf ein Niveau zwischen 41 und 51 %.

Mit zunehmender Verweildauer und physiologischer Weiterentwicklung unter den Intensivhaltungsbedingungen am Standort Schwarze Pumpe prägen die Karpfen somit offenbar zunehmend Deformationen, vornehmlich an Dorn- und Hämalfortsätzen aus. Weder aggregiert über alle Deformationsformen noch separat betrachtet für Deformationen an Wirbelsäulen / Wirbelkörpern bzw. Dorn- / Hämalfortsätzen konnten gerichtete, eindeutige Auswirkungen der verglichenen Alleinfuttermittel auf die Höhe der Deformationsraten festgestellt werden.

Eine Stichprobe von 100 K₁ aus der für die Untersuchungen im Durchgang 2023/24 in Schwarze Pumpe eingesetzten Gruppe, welche von 2023 auf 2024 am Standort Sproitz gewintert wurden, wies bei 9 % der Tiere Deformationen, ausschließlich an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern, auf. In der winterlichen Teichumwelt entwickelten die Tiere somit offenbar keine weiteren Deformationen.

In einer weiteren Stichprobe von 100 Tieren, welche nach dieser Winterung die klassische Aufzucht zum K₂ im Teich durchliefen und hier eine Durchschnittsstückmasse von 548 g erreichten, wiesen 10 % der geröntgten Individuen Deformationen auf. Sie verteilten sich etwa hälftig auf Deformationen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern bzw. Deformationen an Dorn- und Hämalfortsätzen. Bei klassischer Teichaufzucht scheinen die Karpfen somit mit zunehmendem Alter ebenfalls keine deutlich ansteigenden Deformationsraten zu entwickeln.

Bei Betrachtung der Röntgenuntersuchungen von Testfuttergruppen im Vergleich zu den Standardfuttergruppen konnten in beiden Aufzuchtdurchgängen weder gegen Mitte noch gegen Ende der Aufzuchtdurchgänge signifikante Unterschiede in den Deformationsraten festgestellt werden (Tabelle 5). Die Chance, die Deformationsraten bei der Warmwasserintensivaufzucht von K₁ am Standort Schwarze

Pumpe durch die Wahl alternativer Alleinfuttermittel zu reduzieren, muss somit als eher gering eingeschätzt werden. Beide untersuchten Testfuttermittel waren dem etablierten Standardfuttermittel sowohl in der Wachstumsleistung als auch in der Höhe der gegen Ende der Aufzuchtdurchgänge detektierten Deformationsraten unterlegen und führten zu gegenüber dem Standard höheren Futterkosten.

5.3 Aufzucht mit Kühlwasser im Vergleich zu Seewasser

Die während des Aufzuchtdurchgangs 2023/24 am IfB durchgeführten Aufzuchtuntersuchungen mit Kühlwasser des Kraftwerksstandortes Schwarze Pumpe im Vergleich zu Seewasser wurden Mitte Oktober 2023 nach Besatz mit K₁ im Stückmassebereich um 40 g aufgenommen.

Eine Infektion mit *Ichthyophthirius multifiliis* führte in den drei mit Wasser aus dem Sacrower See gehaltenen Kontrollgruppen Anfang November zu Verlusten, welche jedoch durch Peressigsäure-Hygienisierungen des Haltungswassers aufgehalten werden konnten. Aufgrund der im Zuge der *Ichthyophthirius*-Infektion in den mit Seewasser betriebenen Kleinkreisläufen erlittenen Fischverluste musste hier jedoch bereits wenige Wochen nach Untersuchungsbeginn eine der drei ursprünglich vorgesehenen Beckenwiederholungen aufgegeben werden. Die verbliebenen Fische wurden während des weiteren Untersuchungsverlaufs auf zwei Beckenwiederholungen verteilt. Nach Abklingen der behandelten *Ichthyophthirius*-Infektion wurden im weiteren Verlauf auch in den Seewassergruppen kein weiteres Verlustgeschehen beobachtet.

5.3.1 Haltungswasserparameter

Während der Aufzuchtuntersuchungen 2023/24 am IfB erfolgte wöchentlich die Erfassung von Wasserparametern bei im Kraftwerkskühlwasser in Kleinkreisläufen gehaltenen Karpfen (Tabelle 6; Ermittelte Messwerte in mit Kühlwasser am IfB betriebenen Kleinkreisläufen (Mittelwerte und Spannweiten von 30 Einzelmessungen in jeweils drei Kleinkreisläufen (Kühlwasser))

) und der Vergleich mit entsprechend aufgenommenen Wasserparametern von mit Wasser des Sacrower Sees betriebenen Systemen (Tabelle 7: Ermittelte Messwerte in mit Kühlwasser am IfB betriebenen Kleinkreisläufen (Mittelwerte und Spannweiten von 30 Einzelmessungen in jeweils drei Kleinkreisläufen (Kühlwasser))

.

Tabelle 6; Ermittelte Messwerte in mit Kühlwasser am IfB betriebenen Kleinkreisläufen (Mittelwerte und Spannweiten von 30 Einzelmessungen in jeweils drei Kleinkreisläufen (Kühlwasser))

Parameter	Minimum	Maximum	Mittelwert
Wassertemperatur (°C)	22,9	24,6	23,52
pH-Wert	5,4	8,1	6,95
Sauerstoffgehalt (mg/l)	5,4	8,7	6,75
Trübung (FNU)	0,7	8,5	2,53
Ammonium (mg/l)	0,02	0,47	0,21
Ammoniak (mg/l)	< 0,001	0,002	
Salinität (‰)	0,3	2,0	0,95
Leitfähigkeit (µS/cm)	946	3.470	1.926
Nitrit (mg/l)	0,005	0,32	0,12
Nitrat (mg/l)	81	683	353
Alkalinität (mmol/l)	0,3	2,6	0,92

Tabelle 7: Ermittelte Messwerte in mit Kühlwasser am IfB betriebenen Kleinkreisläufen (Mittelwerte und Spannweiten von 30 Einzelmessungen in jeweils drei Kleinkreisläufen (Kühlwasser))

(Mittelwerte und Spannweiten von 30 Einzelmessungen in jeweils zwei Kleinkreisläufen (Seewasser))

Parameter	Minimum	Maximum	Mittelwert
Wassertemperatur (°C)	22,1	24,8	23,45
pH-Wert	5,8	8,4	6,95
Sauerstoffgehalt (mg/l)	4,6	8,2	6,25
Trübung (FNU)	0,7	11,2	3,69
Ammonium (mg/l)	0,02	4,15 ¹⁾	0,25
Ammoniak (mg/l)	< 0,001	0,050	
Salinität (‰)	0,4	2,4	1,97
Leitfähigkeit (µS/cm)	1.064	4.230	3.501
Nitrit (mg/l)	0,02	0,40	0,13
Nitrat (mg/l)	81	780	537
Alkalinität (mmol/l)	0,6	1,8	1,05

¹⁾ einmalige Erhöhung nach 200 l Wasserwechsel in Kleinkreislauf K3-3. Fische kurzzeitig umgesetzt

Die erhobenen Wasserparameter deuteten auf keine längerfristige Beeinflussung des Wasserchemismus in den eingesetzten Kleinkreisläufen durch den Einsatz des Kühlwassers hin. Die gehaltenen Fische fanden überwiegend optimale und höchstens kurzfristig eingeschränkte Haltungsumweltparameter vor (SCHRECKENBACH 2010). Parameter im kritischen Bereich traten nicht auf.

Anhand der erzielten Wachstumsleistung und der im Rahmen der am 14.12.23 gegen Mitte der Aufzucht und am 24.05.24 gegen Aufzuchtende durchgeführten Röntgen-Untersuchungen zur Ermittlung von Deformationsraten erfolgte die Ergebnisauswertung.

5.3.2 Aufzuchtleistung

Die am Standort IfB während des Durchgangs 2023/24 in mit Kühlwasser aus dem Kraftwerk Schwarze Pumpe, bzw. mit Seewasser aus dem Sacrower See betriebenen Kleinkreisläufen erzielten Aufzuchtleistungen sind Tabelle 8 zu entnehmen.

Tabelle 8: Darstellung der während der Aufzuchtssaison 2023/24 am IfB in mit Kühlwasser bzw. Seewasser betriebenen Kleinkreisläufen erzielte Aufzuchtleistungen

Kleinkreislauf / Gruppe	Stückmasse	FQ	Verluste
K2-1 Fehler! Textmarke nicht definiert. Seewasser	427 g	0,91	58,0 %
K3-1 Fehler! Textmarke nicht definiert. Seewasser	540 g	0,88	58,0 %
K2-2 Fehler! Textmarke nicht definiert. Kühlwasser	567 g	0,94	0,0 %
K2-3 Fehler! Textmarke nicht definiert. Kühlwasser	602 g	0,90	0,0 %
K3-3 Fehler! Textmarke nicht definiert. Kühlwasser	521 g	1,05	0,0 %

Die Futterquotienten lagen in den Kühlwasser- und Seewassergruppen auf einem einheitlichen Niveau. Wahrscheinlich primär bedingt durch die Wachstumseinbußen während der vorangegangenen *Ichthyophthirius*-Infektion, blieb die durchschnittliche Wachstumsleistung der Seewassergruppen hinter dem Durchschnitt der Kühlwassergruppen zurück. Die am IfB in Kleinkreisläufen erzielten Wachstumsraten und Futterquotienten lagen in der Größenordnung der Werte, welche auch am Standort Schwarze Pumpe beobachtet wurden und damit auf praxisüblichem Niveau.

5.3.3 Deformationsraten

Während der Röntgen-Untersuchungen beobachtete, aggregierte Deformationen unter den mit Kühlwasser bzw. Seewasser in Kleinkreisläufen am IfB aufgezogenen Karpfen sind in Tabelle 9 dargestellt. Sowohl in den mit Kühlwasser als auch mit Seewasser aufgezogenen Gruppen stieg die Rate aggregierter Deformationen während des Untersuchungsverlaufs an, erreichte aber nicht die Höhe, die nach Untersuchungsende am Standort Schwarze Pumpe beobachtet wurde (vergl. Abschnitt 5.2 und Abschnitt 5.4). Auch unter den Karpfen aus den Intensivaufzuchtuntersuchungen in Kleinkreisläufen am IfB war die Mehrzahl der detektierten Deformationen geringgradig und betraf häufiger Dornfortsätze sowie Hämalfortsätze (durchschnittlich 18,5 %) und weniger die Wirbelsäulen/-körper (10,2 %). Signifikante Unterschiede in den Raten aggregierter Deformationen zwischen Kühlwasser- und Seewassergruppen traten zum Untersuchungsende nicht auf. Auch bei separater Betrachtung von Deformationen an Wirbelsäulen / Wirbelkörpern bzw. Dorn- und Hämalfortsätzen konnten keine signifikanten Differenzen zwischen Kühlwasser- und Seewassergruppen festgestellt werden.

Die während der Aufzuchtperiode am 14.12.23 durchgeführten Röntgen-Untersuchungen bezogen die während der *Ichthyophthirius*-Infektion in den Seewassergruppen verendeten und bis zur Röntgen-Untersuchung tiefgefroren gelagerten Fische mit ein. Ein Vergleich mit den lebend geröntgten Fischen aus den Kühlwassergruppen scheint nicht valide. Ihre frühere Entnahme aus der Untersuchung und ggf.

Verwesungsvorgänge im Becken bis zur Entnahme und/oder die Tiefgefrierlagerung schien Einfluss auf die Deformationsrate bzw. ihre Detektierbarkeit mithilfe der Röntgen-Untersuchung genommen zu haben. Somit bleibt für einen Vergleich zum Röntgen-Zeitpunkt 14.12.23 in der Seewassergruppe nur eine geringe Stichprobengröße von 15 untersuchten lebenden Individuen, deren aggregierte Deformationsrate auf einem ähnlichen Niveau lag, wie die der zeitgleich an den lebenden Tieren aus den Kühlwassergruppen erfasste Deformationsrate.

Tabelle 9: Aggregierte Deformationen an Wirbelsäulen, Wirbelkörpern, Dornfortsätzen und Hälmfortsätzen in allen Schweregraden in am IfB aufgezogenen Kühlwasser- und Seewassergruppen

Standort	Zeitpunkt	Gruppe	Untersucht (n)	Deformierte insges. (n)	Deformierte insges. (%)
Sproitz	16.10.23	Ausgangsgruppe vor Untersuchungsbeginn	100	9	9,0 ^a
IfB	14.12.23	Kühlwasser	106	30	28,3 ^b
IfB	14.12.23	Seewasser (alle)	115	8	7,0
IfB	14.12.23	Seewasser (lebend)	15	4	26,7 ^b
IfB	14.12.23	Seewasser (verendet)	100	5	5,0
IfB	24.5.24	Kühlwasser	89	30	33,7 ^b
IfB	24.5.24	Seewasser	42	15	35,7 ^b

^a, ^b: Signifikanter Unterschied (Chi-Quadrat Test, zweiseitig, $p \leq 0,05$) bei unterschiedlichen Buchstaben zwischen Untersuchungszeitpunkten

Eine Einflussnahme des Wasserchemismus des Kühlwasserkreislaufs des Kraftwerks Schwarze Pumpe auf die Deformationsrate unter den darin aufgezogenen Karpfen kann anhand der vorliegenden Untersuchungsergebnisse nicht bestätigt werden.

5.4 Aufzucht bei unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten / Turbulenzen

5.4.1 Ableitung der Fokussierung auf den Einfluss von Strömung / Turbulenzen

Aus den in den Arbeitspaketen 2 und 3 während des Aufzuchtdurchgangs 2023/24 erzielten Ergebnissen konnten folgende Ableitungen über ggf. für Deformationen verantwortliche Haltungsumweltparameter getroffen werden:

Der Chemismus des Kühlwassers, welches am Standort Schwarze Pumpe eingesetzt wird, ist offenbar nicht in erster Linie für die bis zum Start des Forschungsprojekts hier mehrfach nach der Intensivaufzucht in Schwarze Pumpe beobachteten erhöhten Deformationsraten verantwortlich (vergl. Absatz 5.3).

Die Wahrscheinlichkeit einer Auswirkung längerfristig erhöhter NH_3/NH_4 -Konzentrationen, wie sie in der finalen Phase der Aufzucht am Standort Schwarze Pumpe nicht ausgeschlossen werden können, auf die Deformationsrate unter den gehaltenen Fischen, erscheint gering: Während der Warmwasseraufzucht am IfB traten während der Haltung keine länger erhöhten NH_3/NH_4 -Konzentrationen auf (vergl. Tabellen 6 und 7). Trotzdem wurde am IfB sowohl in den Kühlwassergruppen als auch in den Seewassergruppen eine erhöhte aggregierte Deformationsrate festgestellt (vergl. Tabelle 9). Die in einem der mit Kühlwasser betriebenen Kleinkreisläufe (K3-3) nach einem 20-prozentigen Wasserwechsel kurzzeitig erhöhte NH_3/NH_4 -Konzentration ist als primärer Grund für erhöhte Deformationsraten ebenfalls unwahrscheinlich. In diesem Fall wären die am Standort Schwarze Pumpe in der ersten Aufzuchtphase (mit mangels Fischbiomasse noch sehr geringen NH_3/NH_4 -Konzentrationen) ebenfalls beobachteten erhöhten Deformationsraten (vergl. Tabelle 5, Röntgen-Zeitpunkt 30.01.24) nicht plausibel.

Ein wenig wahrscheinlicher, auslösender Faktor für erhöhte Deformationstendenzen von unter Warmwasserbedingungen aufgezogenen Karpfen ist auch eine erhöhte Nitrat-Konzentration. Diese wurde mit NO_3 -Konzentrationen bis oberhalb 500 mg/l in den Kleinkreisläufen am IfB vorgefunden (vergl. Tabelle 6 und 7 sowie Tabelle 10 und 11), führte hier aber nicht zu Deformationsraten in Höhe der Werte, die am Standort Schwarze Pumpe - bei marginalen NO_3 -Konzentrationen um 15 mg/l (vergl. Tabelle 3) - vorgefunden wurden.

Erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten und Verwirbelungen innerhalb der Haltungseinrichtungen werden, nachdem die oben aufgeführten, ebenfalls oft mit Intensivhaltungsverfahren einhergehenden Faktoren hier ausgeschlossen werden können, als noch verbleibende Gründe für erhöhte Deformationsraten bei intensiv unter Warmwasserbedingungen aufgezogenen Karpfen in Erwägung gezogen. Bereits Untersuchungen von BACKIEL et al. (1984) verwiesen beim Karpfen auf gestiegene Deformationsraten nach deren Haltung bei erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzen. Mehrfach wurde inzwischen von Kreislauanlagen-Betreibern von erhöhten Deformationsraten bei von ihnen gehaltenen Karpfen berichtet. In Kreislauanlagen kommt es zum Zwecke einer hinreichenden Sauerstoffversorgung über hohe Rezirkulationsraten, Belüftungs- und/oder Begasungseinrichtungen ggf. zu häufig nicht beachteten erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzen in den Haltungsbecken. Bei hoher Haltungsdichte am Standort Schwarze Pumpe wurden in den vorliegenden Untersuchungen

während des Aufzuchtdurchgangs 2023/24 höhere aggregierte Deformationsraten als in geringerer Hal-
tungsdichte während der Aufzucht in Kleinkreisläufen am IfB vorgefunden. Mit zunehmender Aufzucht-
zeit in durchströmten / verwirbelten Haltungseinrichtungen erhöhten sich die Deformationsraten.

Somit wurde im Verlauf der Untersuchungen im Rahmen des Arbeitspaketes 4 während des Aufzucht-
durchgangs 2024/25 in den sechs Kleinkreisläufen am IfB die kontrollierte Aufzucht bei zwei unter-
schiedlichen Strömungs- / Verwirbelungsregimen überprüft. Durch unterschiedlich ausgerichtete Zu-
laufkonfigurationen und Luftausströmung in unterschiedlicher Intensität wurden in drei Kleinkreisläu-
fen minimale, in drei Kleinkreisläufen mäßige Strömungs-/Durchwirbelungsintensitäten eingestellt.
Über Strömungsmessungen erfolgte die Abbildung und Justierung der zwei angestrebten Strömungs-
/Durchwirbelungsregime.

Am Standort Schwarze Pumpe erfolgte während des Aufzuchtdurchgangs 2024/25 in einem der zur Ver-
fügung stehenden 10 m³-Kleinbecken die Halbierung der Besatzdichte und die korrespondierende Re-
duzierung der Zulaufwassermenge. Auch hier erfolgten Strömungsmessungen zur Darstellung der Un-
terschiede in den avisierten Strömungs-/Durchwirbelungsregimen, in kleinen und großen, ca. 160 m³
fassenden Haltungsbecken.

Die Untersuchungen zum Einfluss von Strömung und Turbulenzen auf Deformationsraten von Karpfen
unter Intensivhaltungsbedingungen wurden Mitte Oktober 2024 aufgenommen. Eine Stichprobe der
verwendeten einsömmrigen Karpfen, die in der Aufzuchtsaison 2024/25 mit einer Durchschnittsstück-
masse von 89 g besetzt wurden, wurde initial geröntgt. Gegen Mitte und zum Ende des Aufzuchtdurch-
gangs erfolgten an Stichproben der unter den unterschiedlichen Strömungs-/Turbulenzbedingungen
aufgezogenen Individuen wiederum die Bestimmung von Deformationsraten über Röntgenuntersu-
chungen.

5.4.2 Haltungswasserparameter

Während der Aufzuchtuntersuchungen 2024/25 am IfB in Kleinkreisläufen bei zwei Strömungs-/Verwir-
belungsregimen regelmäßig erfassten Haltungswasserparameter sind in Tabelle 10 und Tabelle 11 dar-
gestellt.

Kurzzeitig in einzelnen Kleinkreisläufen nach vorangegangenen, gesteigerten Wasserwechselraten er-
höhte Trübungswerte führten zu den gegenüber im Vorjahr in denselben Kleinkreisläufen mit Kühl- und
Seewasser durchgeführten Aufzuchtuntersuchungen in beiden getesteten Strömungs-/Verwirbelungs-
regimen zu leicht angehobenen durchschnittlichen Trübungswerten. Die erfassten Wasserparameter
verwiesen aber am IfB wiederum auf für die gehaltenen Fische günstige Haltungsbedingungen. Para-
meter im kritischen Bereich traten nicht auf (SCHRECKENBACH 2010).

Auch während der Aufzuchtdurchgangs 2024/25 am Standort Schwarze Pumpe unter unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzverhältnissen wurden die in Tabelle 3 dargestellten, für die gehaltenen Fische zumeist uneingeschränkt geeigneten Wasserqualitätsparameter vorgefunden.

Tabelle 10: Ermittelte Messwerte in mit erhöhter Strömung am IfB betriebenen Kleinkreisläufen

(Mittelwerte und Spannweiten von 48 bis 55 Einzelmessungen in jeweils drei Kleinkreisläufen)

Parameter	Minimum	Maximum	Mittelwert
Wassertemperatur (°C)	22,5	23,6	23,1
pH-Wert	6,35	7,35	6,85
Sauerstoffgehalt (mg/l)	5,61	7,84	6,95
Trübung (FNU)	0,55	17,10	2,20
Ammonium (mg/l)	0,035	0,616	0,219
Ammoniak (mg/l)	0,0002	0,0024	0,0010
Salinität (‰)	0,7	2,4	1,2
Leitfähigkeit (µS/cm)	1.496	4.200	2.280
Nitrit (mg/l)	0,084	0,709	0,271
Nitrat (mg/l)	396	840	563
Alkalinität (mmol/l)	0,322	1,300	0,664

Tabelle 11: Ermittelte Messwerte in mit verringerter Strömung am IfB betriebenen Kleinkreisläufen

(Mittelwerte und Spannweiten von 48 bis 52 Einzelmessungen in jeweils drei Kleinkreisläufen)

Parameter	Minimum	Maximum	Mittelwert
Wassertemperatur (°C)	22,5	23,5	22,9
pH-Wert	6,42	7,44	6,97
Sauerstoffgehalt (mg/l)	4,65	7,52	6,09
Trübung (FNU)	0,57	34,50	5,31
Ammonium (mg/l)	0,078	0,686	0,244
Ammoniak (mg/l)	0,0003	0,0033	0,0011
Salinität (‰)	0,7	2,4	1,2
Leitfähigkeit (µS/cm)	1.507	4.100	2.263
Nitrit (mg/l)	0,111	1,020	0,355
Nitrat (mg/l)	364	796	541
Alkalinität (mmol/l)	0,350	1,580	0,795

5.4.3 Strömungsgeschwindigkeiten

Während der Haltung am IfB und am Standort Schwarze Pumpe bei unterschiedlichen Strömungs- und Turbulenzregimen über Strömungsmessungen ermittelte durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeiten sind in den Tabellen 12 (IfB) und 13 (Schwarze Pumpe) zusammengestellt.

Die in den Kleinkreisläufen am IfB durch Zulaufhydraulik und Drucklufteintrag minimal mögliche Einstellung an Strömung und Turbulenzen, ohne die Sauerstoffversorgung der gehaltenen Karpfen einzuschränken, führte zu durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeiten in einer Größenordnung von 1 bis 1,5 cm pro Sekunde. Durch veränderte Zulaufhydraulik und einen deutlich erhöhten Drucklufteintrag konnten die gemessenen mittleren Strömungsgeschwindigkeiten in drei Kleinkreisläufen knapp verdoppelt werden, ohne bei den besetzten Karpfen eine übermäßige Schwimmaktivität zur Kompensation von Strömung und Turbulenzen auszulösen. Mit während der Aufzuchtdauer zunehmender Stückmasse und Bestandsdichte erfolgte eine regelmäßige Anpassung von Zulaufhydraulik sowie Drucklufteintrag, um die Sauerstoffversorgung zu sichern und Unterschiede in Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzen in den Vergleichsgruppen aufrechtzuerhalten. Während der drei Messkampagnen wurden stets signifikante Unterschiede in den gemessenen durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeiten zwischen den Vergleichsgruppen festgestellt. In den kleinen, lediglich 0,5 m³ anbietenden Becken und Besatzdichten in einer Größenordnung von etwa 30 kg/m³ konnte während der Aufzuchtphase in den Kleinkreisläufen am IfB eine bei Weitem geringere eigene Einflussnahme der Fischbestände auf Strömung und Turbulenzen in ihren Becken beobachtet werden, als in den erheblich größeren Haltungseinheiten am Standort Schwarze Pumpe (s. u.).

Tabelle 12: Gemessene durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeiten während der Aufzucht in Kleinkreisläufen am IfB

(drei Beckenwiederholungen pro Strömungs-/Verwirbelungsregime)

Datum d. Messkampagne	Gruppe	Mittelwert aus n Messungen	Durchschn. Strömungsgeschwindigkeit (NH ₃ /NH ₄)
20.11.24	Minimale Strömung (3 Becken)	81	1,45 ^a
	Mäßige Strömung (3 Becken)	81	2,93 ^b
3.01.25	Minimale Strömung (3 Becken)	81	0,96 ^a
	Mäßige Strömung (3 Becken)	81	2,23 ^b
26.02.25	Minimale Strömung (3 Becken)	81	1,36 ^a
	Mäßige Strömung (3 Becken)	81	2,57 ^b

^{a,b}: Signifikanter Unterschied zur korrespondierenden Vergleichsgruppe innerhalb der Messkampagne (Student's t-Test, zweiseitig, $p \leq 0,05$)

Im Vergleich zu den 0,5 m³-Becken der Kleinkreisläufe am IfB lagen die durchschnittlichen, am Standort Schwarze Pumpe ermittelten Strömungsgeschwindigkeiten mit rund 4 cm/s bis knapp 17 cm/s auf einem deutlich höheren Niveau. Trotz, bezogen auf die gehaltene Fischbiomasse, ähnlicher hydraulischer Beaufschlagung von Becken 8 (klein) und den Becken 1 und 2 (groß) und ähnlichen Besatzdichten pro m³ angebotenen Haltungsvolumen, lagen die in den großen Becken gemessenen durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeiten stets signifikant über der im kleinen Becken 8 gemessenen durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeit. Mit steigender Stückmasse (ca. 160 g am 4.12.24, ca. 650 g am 9.04.25) und Bestandsbiomasse (ca. 40 kg/m³ am 4.12.24, ca. 150 kg/m³ am 9.04.25) wurde in den großen, ca. 160 m³ Haltungsvolumen anbietenden Becken eine weitere Steigerung der Strömungsgeschwindigkeit gemessen. Bei Beobachtung der 160 m³-Becken fiel stets auf, dass die gehaltene Fischbiomasse einen erheblichen Einfluss auf die hydraulischen Zustände im Becken nimmt. Die Schwimmaktivität des bis zu knapp 25 t Biomasse umfassenden Fischbestandes führt in den großen Haltungseinheiten zu massiven Turbulenzen und hohen Strömungsgeschwindigkeiten, welche den Fischen wiederum zusätzliche Schwimmleistungen abfordern. In erster Linie der Karpfenbestand und, lediglich in untergeordneter Form, Beckenzulauf- und Ablaufhydraulik scheinen in den 160 m³-Haltungseinheiten in Schwarze Pumpe die in den Becken entstehenden Strömungsgeschwindigkeiten und Verwirbelungen zu verursachen.

Tabelle 13: Gemessene durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeiten während der Aufzucht in Becken am Standort Schwarze Pumpe

(Becken 5 (klein): Im Vergleich zu Becken 8 (klein) halbiertes Initialbesatz, halbierte Durchflussmenge)

Datum d. Messkampagne	Gruppe/Becken	Mittelwert aus n Messungen	Durchschn. Strömungsgeschwindigkeit (cm/s)
4.12.24	B5 (klein), geringe Strömung	36	4,91 ^a
	B8 (klein), normale Strömung	36	6,42 ^a
	B1 (groß), normale Strömung	36	7,24 ^b
	B2 (groß), normale Strömung	36	9,26 ^b
9.04.25	B5 (klein), geringe Strömung	36	4,24 ^a
	B8 (klein), normale Strömung	36	5,04 ^a
	B1 (groß), normale Strömung	36	11,57 ^b
	B2 (groß), normale Strömung	36	16,64 ^b

^{a,b}: Signifikanter Unterschied zur korrespondierenden Vergleichsgruppe innerhalb der Messkampagne (Student's t-Test, zweiseitig, $p \leq 0,05$)

Die trotz vergleichbarer Besatzdichte pro m³ und bezogen auf die Bestandsbiomasse ähnliche Zulaufbeaufschlagung im 10 m³-Becken 8 im Vergleich zu den 160 m³-Becken zu beiden Messkampagnen signifikant geringere Strömungsgeschwindigkeit kann als Hinweis darauf gedeutet werden, dass der Einfluss des Bestandes auf die hydraulischen Zustände im kleinen Becken nicht so ausgeprägt ist, wie im großen Becken. Dieser Hinweis wird dadurch gestützt, dass während der Messkampagne am 9.04.25, bei deutlich höherer Bestandsbiomasse, als während der Messkampagne am 4.12.24 keine Erhöhung der durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeit in Becken 8 beobachtet werden konnte. Weiterhin konnte die erhoffte signifikante Reduzierung von Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzen durch Halbierung von Fischbestand und Zulaufvolumen von Becken 5 (klein) gegenüber Becken 8 (klein) im Versuchsverlauf nicht realisiert werden.

Die wiederholt lediglich undeutlichen gemessenen Unterschiede in Strömungsgeschwindigkeiten / Turbulenzen von Becken 5 (klein) und Becken 8 (klein) führten zu der Entscheidung, während der finalen Ermittlung von Deformationsraten mittels Röntgenuntersuchungen, Stichproben von Fischen aus Becken 8 (klein) und Becken 1 (groß) zu vergleichen. Hier waren mit 5 cm/s und knapp 12 cm/s klar signifikant unterschiedliche durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeiten / Turbulenzen wirksam.

5.4.4 Aufzuchtleistung

Tabelle 14 beschreibt die in den Kleinkreisläufen am IfB beim Einsatz von zwei Strömungs-/Turbulenzregimen während des Aufzuchtdurchgangs 2024/25 beobachteten Aufzuchtleistungen.

Tabelle 14: Darstellung der während des Aufzuchtdurchgangs 2024/25 am IfB in Kleinkreisläufen mit zwei unterschiedlichen Strömungs-/verwirbelungsregimen erzielten Aufzuchtleistungen

Kleinkreislauf / Gruppe	Stückmasse	FQ	Verluste
K3-1 (minimale Strömung)	740,9 g	0,89	0,0 %
K3-2 (minimale Strömung)	724,8 g	0,88	0,0 %
K2-1 (minimale Strömung)	719,9 g	0,91	0,0 %
Mittelwert minimale Strömung	728,5 g	0,89	0,0 %
K2-2 (mäßige Strömung)	743 g	0,89	0,0 %
K2-3 (mäßige Strömung)	738,4 g	0,93	0,0 %
K3-3 (mäßige Strömung)	722,4 g	0,92	0,0 %
Mittelwert mäßige Strömung	734,4 g	0,91	0,0 %

Hohe erzielte Stückmassen, günstige Futterverwertungen und eine verlustfreie Aufzucht verwiesen wiederum auf die für unter Intensivhaltungsbedingungen aufgezogenen Karpfen geeignete Haltungsumwelt. Unterschiede in der Aufzuchtleistung zwischen den beiden zum Einsatz kommenden Strömungs-/Turbulenzregimen fielen marginal aus. Strömungsgeschwindigkeiten in der am IfB getesteten Größenordnung scheinen von den Karpfen, ohne Einfluss auf die Aufzuchtleistung zu nehmen, toleriert zu werden.

Die während des Aufzuchtdurchgangs 2024/25 bei am Standort Schwarze Pumpe üblichen Besatzdichten erzielten Aufzuchtleistungen sind in Tabelle 4 dargestellt.

Die in den 10 m³-Haltungseinheiten in Schwarze Pumpe erzielten Stückmassen und Futterverwertungen wiesen stets auf eine bessere Aufzuchtleistung als die in den 160 m³-Einheiten erzielten Werte. Die gewonnenen Aufzuchtergebnisse legen nahe, dass bei ansonsten sehr ähnlichen Haltungsbedingungen, die hohen Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzen über lange Wirkwege in den großen Haltungseinheiten eine erhöhte Schwimmaktivität der gehaltenen Karpfen erfordern, welche deren Futterausnutzung für Massezuwachs reduziert.

In Becken 5 (klein) wurde während des Aufzuchtdurchgangs 2024/25 bei halbiertem Bestandsdichte und entsprechend reduzierter Zulaufbeaufschlagung bei einem Futterquotienten von 0,72 eine Durchschnittsstückmasse von 1.000 g erreicht. Obgleich die ermittelten Strömungsgeschwindigkeiten (Tabelle 13) nicht signifikant unter den im Vergleichsbecken 8 (klein) lagen, waren die leicht verringerten Strömungen und Turbulenzen ggf. mitverantwortlich für die herausragende, in Becken 5 (klein) erzielte Aufzuchtleistung.

5.4.5 Deformationsraten

Die Ergebnisse zu den über Röntgenuntersuchungen dokumentierten Deformationen an Wirbelsäulen, Wirbelkörpern, Dornfortsätzen und Hämalfortsätzen, aggregiert über alle Deformationsarten und Schweregrade, während der Aufzucht 2024/25 unter unterschiedlichen Strömungs-/Turbulenzverhältnissen am IfB sowie am Standort Schwarze Pumpe sind in Tabelle 15 zusammengefasst.

Im Durchschnitt über alle während des Aufzuchtdurchgangs 2024/25 an den Standorten IfB und Schwarze Pumpe geröntgten Karpfen wurden bei 14,0 % der Tiere Deformationen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern vorgefunden. 23,6 % der Karpfen wiesen Deformationen an Dorn- und Hämalfortsätzen auf. Äußerlich sichtbare, zumeist durch mittel- und hochgradige Veränderungen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern bedingte Deformationen traten wiederum selten auf.

Sowohl während der Aufzucht am IfB als auch am Standort Schwarze Pumpe konnte unabhängig vom Strömungs-/Verwirbelungsregime in aller Regel ein signifikanter Anstieg der aggregierten Deformationsraten im Verlauf des Aufzuchtdurchgangs beobachtet werden. Ein vergleichbares Muster zeigte sich bereits an beiden Standorten während der in Aufzuchtdurchgang 2023/24 durchgeführten Studien (vergl. Abschnitt 5.2, Tabelle 5 sowie Abschnitt 5.3, **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Eine zunehmende Wirkzeit von Strömung und Turbulenz während der Intensivaufzucht im Warmwasser scheint sich in einer zunehmenden Zahl von Deformationen zu manifestieren. Lediglich bei unter mäßiger Strömung/Turbulenz gegen Mitte der Aufzucht am IfB gemessenen aggregierten Deformationsraten erfolgte während Durchgang 2024/25 kein signifikanter Anstieg gegenüber des vor Aufnahme der Untersuchungen ermittelten Ausgangswertes am Standort Sproitz (Tabelle 15).

Aggregiert über alle erfassten Deformationen an Wirbelsäulen, Wirbelkörpern, Dornfortsätzen und Hämalfortsätzen in allen Schweregraden wurden weder in der Mitte noch am Ende des Aufzuchtdurchganges 2024/25 signifikant unterschiedliche Raten innerhalb der am IfB sowie in Schwarze Pumpe zum Einsatz kommenden Strömungs-/Verwirbelungsregimen festgestellt. Gegen Ende des Aufzuchtdurchgangs wurden jedoch an beiden Standorten bei hoher Strömung/Turbulenz tendenziell höhere aggregierte Deformationsraten beobachtet als in den Gruppen, die der geringeren Strömung/Turbulenz ausgesetzt waren.

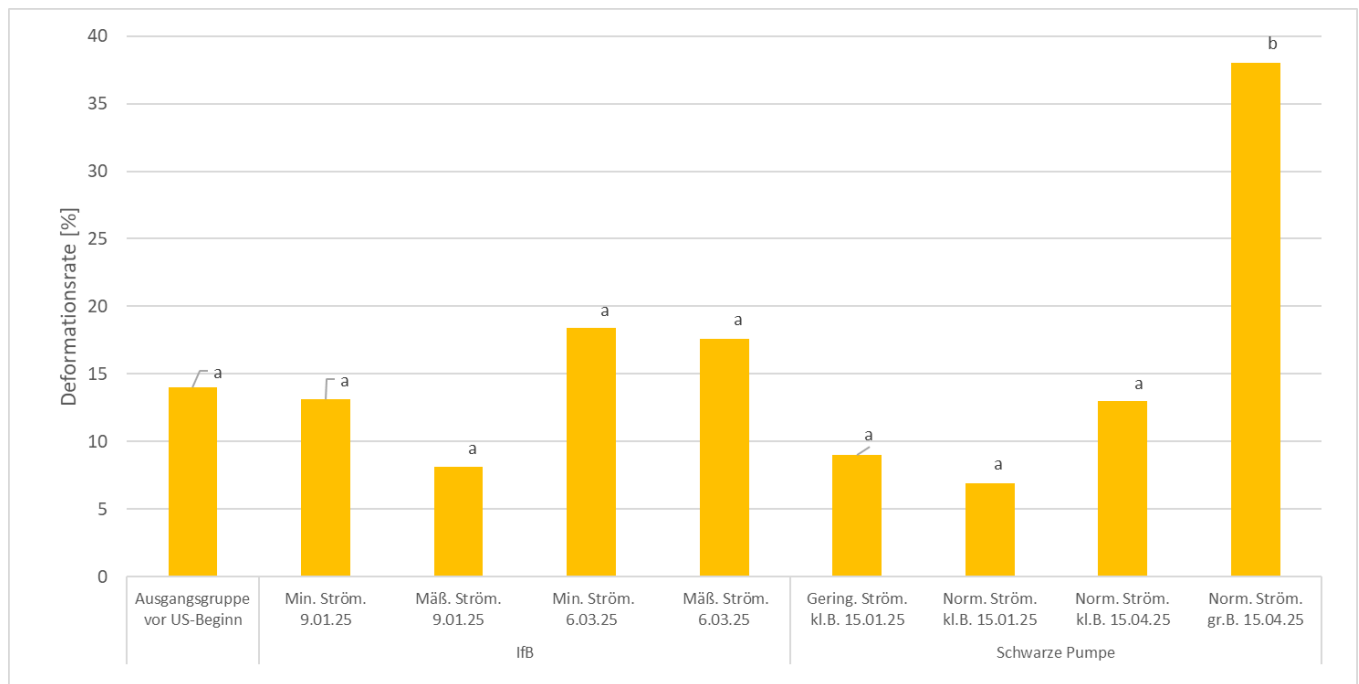
Tabelle 15: Aggregierte Deformationen an Wirbelsäulen, Wirbelkörpern, Dornfortsätzen und Hä-malfortsätzen in allen Schweregraden nach Aufzucht unter unterschiedlichen Strömungs-/Tur-bulenz-Verhältnissen in Kleinkreisläufen am IfB sowie im Produktionsmaßstab am Standort Schwarze Pumpe

Standort	Zeitpunkt	Gruppe	Untersucht (n)	Deformierte insges. (n)	Deformierte insges. (%)
Sproitz	11.10.25	Ausgangsgruppe vor Un- tersuchungsbeginn	100	14	14,0 ^a
IfB	09.01.25	Minimale Strömung	99	26	26,3 ^b
	09.01.25	Mäßige Strömung	99	16	16,1 ^a
	06.03.25	Minimale Strömung	76	33	43,4 ^c
	06.03.25	Mäßige Strömung	74	37	50,0 ^c
Schw. Pumpe	15.01.25	B5 (klein), geringe Strö- mung	100	23	23,0 ^b
	15.01.25	B8 (klein), normale Strö- mung	101	25	24,8 ^b
	15.04.25	B8 (klein), normale Strö- mung	100	41	41,0 ^c
	15.04.25	B1 (groß), normale Strö- mung	100	47	47,0 ^c

^a, ^b, ^c: Signifikanter Unterschied (Chi-Quadrat Test, zweiseitig, $p \leq 0,05$) bei unterschiedlichen Buchsta-ben zwischen Untersuchungszeitpunkten

Deutlicher zeigte sich der negative Einfluss hoher Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzen bei differenzierter Betrachtung der Deformationen an der Wirbelsäule und den Wirbelkörpern. Über alle Schweregrade zusammengefasst wies gegen Ende des Aufzuchtdurchgangs lediglich die Gruppe, wel-che am Standort Schwarze Pumpe im 160 m³-Becken gehalten wurde und hier hohen Strömungsge-schwindigkeiten und Turbulenzen von rund 12 cm/s ausgesetzt war, mit 38 % eine signifikant erhöhte Rate von Deformationen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern auf. Die anderen Gruppen, in denen Strö-mungsgeschwindigkeiten von zwischen etwa 1 bis 9 cm/s ermittelt wurden (vergl. Tabelle 12 und Ta-belle 13) wiesen mit Werten zwischen 7 % und 18 % recht einheitliche Deformationsraten an Wirbelsäu-len und Wirbelkörpern auf ((vergl. Abschnitt 5.4.3, a; b: Signifikanter Unterschied (Chi-Quadrat Test, zweiseitig, $p \leq 0,05$) bei unterschiedlichen Buchstaben zwischen Gruppen)

Abbildung 11).



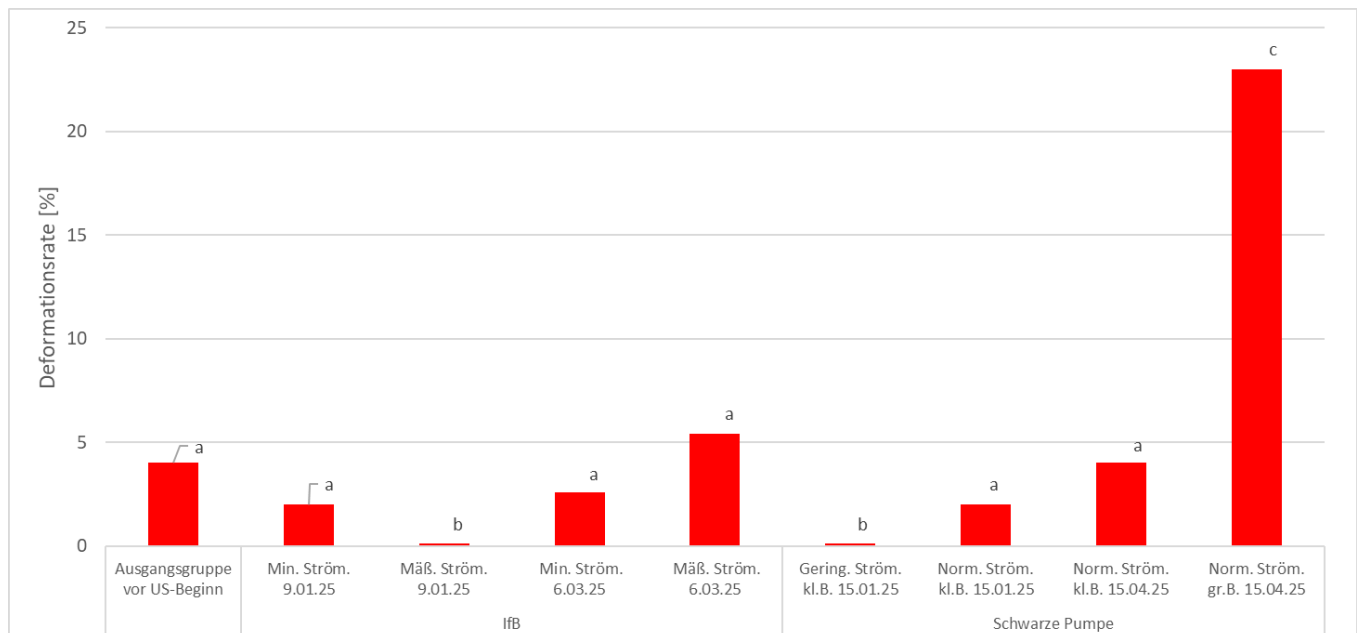
(vergl. Abschnitt 5.4.3, a; b: Signifikanter Unterschied (Chi-Quadrat Test, zweiseitig, $p \leq 0,05$) bei unterschiedlichen Buchstaben zwischen Gruppen)

Abbildung 11: Deformationen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern in allen Schweregraden nach Aufzucht unter unterschiedlichen Strömungs-/Turbulenz-Verhältnissen in Kleinkreisläufen am IfB sowie im Produktionsmaßstab am Standort Schwarze Pumpe in kleinen und großen Becken

Werden lediglich die teilweise auch äußerlich erkennbaren, mittel- und hochgradige Deformationen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern in den Vergleich einbezogen ((vergl. Abschnitt 5.4.3, a; b; c: Signifikanter Unterschied (Chi-Quadrat Test, zweiseitig, $p \leq 0,05$) bei unterschiedlichen Buchstaben zwischen Gruppen)

Abbildung 12), verfestigt sich dieses Ergebnis. Liegen die Raten an mittel- und hochgradigen Deformationen von Wirbelsäulen und Wirbelkörpern in Gruppen, die Strömungsgeschwindigkeiten von rund 1 bis 9 cm/s ausgesetzt waren durchgängig unterhalb von 6 %, sticht dieser Wert in der Gruppe, welche mit rund 12 cm/s der stärksten Strömung / Turbulenz ausgesetzt war mit 23 % heraus.

Untersuchungen zur Auswirkung der Strömungsgeschwindigkeit auf Wirbelsäulendeformationen bei Roten Meerbrassen (*Pragus major*) von KIHARA et al. (2002) führten zu ähnlichen Erkenntnissen: Rund 21–25 % der juvenilen Tiere, die einer Strömungsgeschwindigkeit von 10 cm/s ausgesetzt wurden, entwickelten eine Lordose. Fische, die lediglich eine Strömungsgeschwindigkeit von 5 cm/s bewältigen mussten, zeigten keine Abweichungen von der normalen Wirbelsäulenentwicklung. Zuvor machten DIVANACH et al. (1997) eine ähnliche Beobachtung bei der Larven- und Jungfischauzucht von Wolfsbarschen (*Dicentrarchus labrax*).



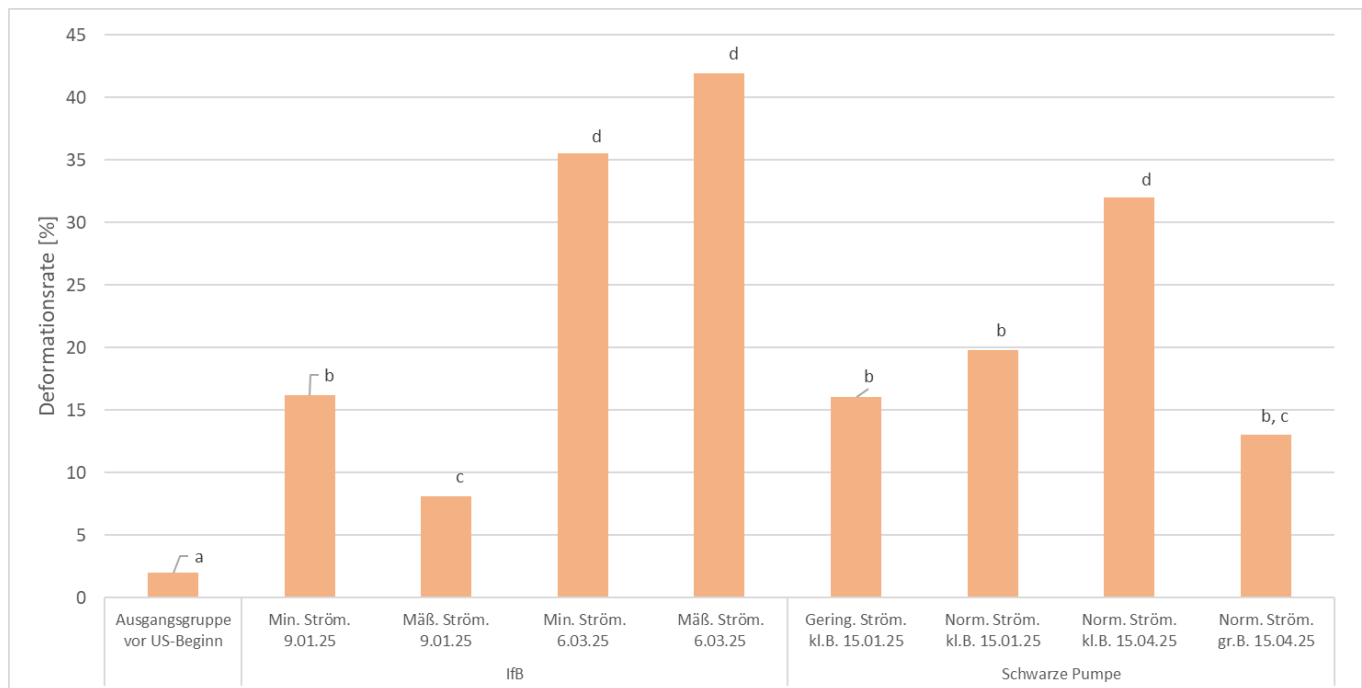
(vergl. Abschnitt 5.4.3, a; b; c: Signifikanter Unterschied (Chi-Quadrat Test, zweiseitig, $p \leq 0,05$) bei unterschiedlichen Buchstaben zwischen Gruppen)

Abbildung 12: Mittel- und hochgradige Deformationen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern nach Aufzucht unter unterschiedlichen Strömungs-/Turbulenz-Verhältnissen in Kleinkreisläufen am IfB sowie im Produktionsmaßstab am Standort Schwarze Pumpe in kleinen und großen Becken

Die erzielten Ergebnisse lassen darauf schließen, dass bei der Intensivaufzucht von Karpfen unter Warmwasserbedingungen Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzen bis zu einer Schwelle zwischen 9 cm/s und unter 12 cm/s für die gehaltenen Bestände zu tolerieren sind, Strömungsgeschwindigkeiten darüber hinaus jedoch vermehrt Deformationen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern nach sich ziehen können. Maßnahmen zur Begrenzung von regelmäßig wirkenden Strömungen/Verwirbelungen auf Werte unterhalb des Schwellenwertes sollten dabei unterstützen können, Zustand und Qualität der erzeugten Fische durch weitestgehende Freiheit von erkennbaren Deformationen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern auf einem maximalen Niveau zu halten.

Kein erkennbarer Zusammenhang zur wirkenden Strömung/Turbulenz zeigte sich bei Betrachtung der Deformationsraten an Dornfortsätzen und Hämalfortsätzen. Die untersuchten Gruppen wiesen hier schwankende Deformationsraten über alle Schweregrade in einer Bandbreite von 2–42 % auf ((vergl. Abschnitt 5.4.3, a; b; c; d: Signifikanter Unterschied (Chi-Quadrat Test, zweiseitig, $p \leq 0,05$) bei unterschiedlichen Buchstaben zwischen Gruppen)

Abbildung 13).



(vergl. Abschnitt 5.4.3, a; b; c; d: Signifikanter Unterschied (Chi-Quadrat Test, zweiseitig, $p \leq 0,05$) bei unterschiedlichen Buchstaben zwischen Gruppen)

Abbildung 13: Deformationen an Dornfortsätzen und Hämalfortsätzen in allen Schweregraden nach Aufzucht unter unterschiedlichen Strömungs-/Turbulenz-Verhältnissen in Kleinkreisläufen am IfB sowie im Produktionsmaßstab am Standort Schwarze Pumpe in kleinen und großen Becken

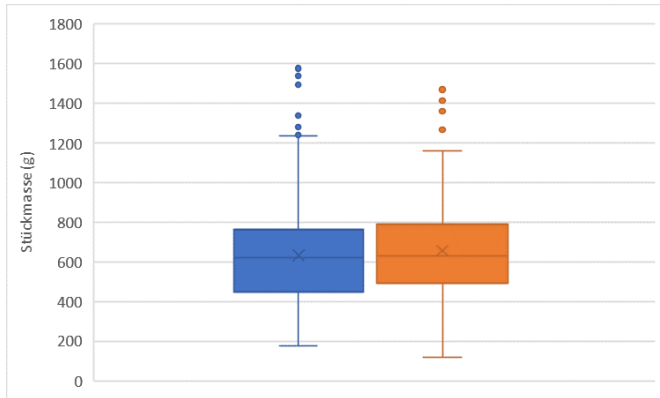
5.4.6 Mögliche Zusammenhänge zwischen Wirbelsäulendeformationen und erhöhter Strömung / Turbulenz

Veränderungen des Skeletts wurden in der vorliegenden Studie vorrangig an der Schwanzwirbelsäule und deren Fortsätzen der untersuchten Karpfen beobachtet. Die Schwanzwirbelsäule ist der beweglichste Teil der Wirbelsäule und wohlmöglich somit auch gegenüber Strömung und Turbulenzen im Wasserkörper empfindlicher als die weiter cranial gelegenen Teile der Wirbelsäule.

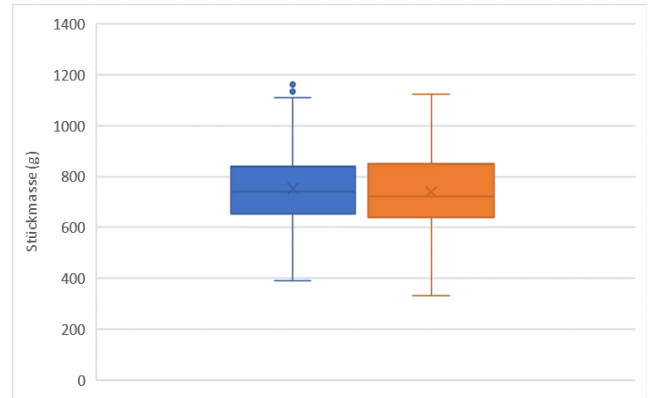
Bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzen können Verkrümmungen der Wirbelsäule nach der Einwirkung von Zug- und Druckkräften auf Muskeln, Bänder und Bindegewebe entstehen (Eissa et al. 2021). Diese röntgenologisch nicht darstellbaren Einflüsse können zu zunächst geringgradigen Fehlstellungen einzelner Wirbelkörper führen, welche sich bei unphysiologischer Einwirkung der körpereigenen Muskelkräfte infolge erhöhter Schwimmaktivität und Ausgleichsbewegungen bei gesteigerter Strömung und Turbulenz verstärken. Deutlich verkrümmte Wirbelsäulen und verformte Wirbelkörper könnten die Folge sein.

5.5 Deformationen und Stückmasseentwicklung

Über beide Aufzuchtdurchgänge an den Standorten IfB und Schwarze Pumpe gegen Ende der Aufzucht erfassten Stückmassen von Karpfen, bei denen Deformationen festgestellt wurden, im Vergleich zu den Tieren ohne Deformationen sind für unterschiedliche Formen von Deformationen und Aggregationsstufen in den Abbildungen 14 bis 17 als Box-Whisker-Plots dargestellt.



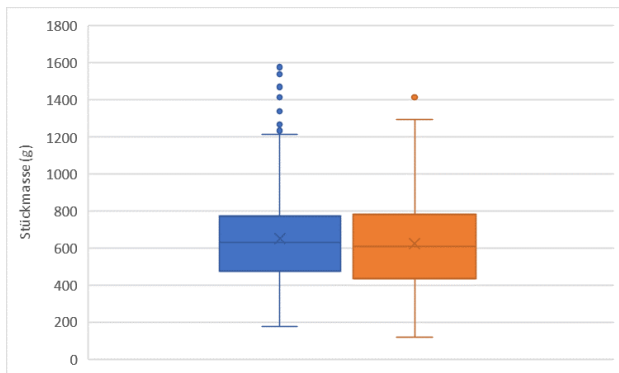
Standort Schwarze Pumpe



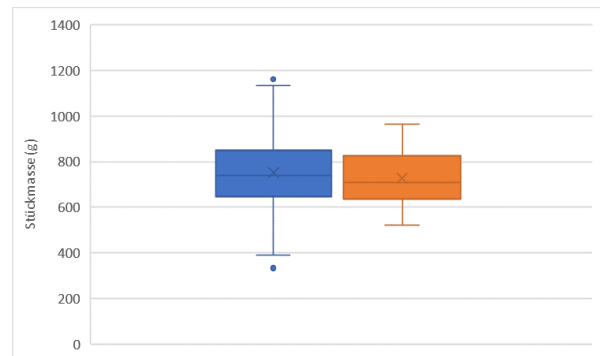
Standort IfB

(Blauer Boxplot: Fische ohne Deformationen; roter Boxplot: Fische mit Deformationen aggregiert über Wirbelsäulen, Wirbelkörper, Dornfortsätze und Hämalfortsätze in allen Schweregraden)

Abbildung 14: Box-Whisker-Plots zur Stückmasse gegen Ende der Aufzuchtdurchgänge an den Standorten Schwarze Pumpe und IfB



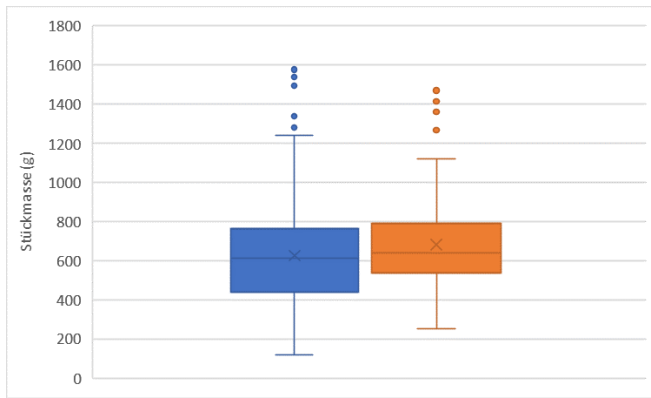
Standort Schwarze Pumpe



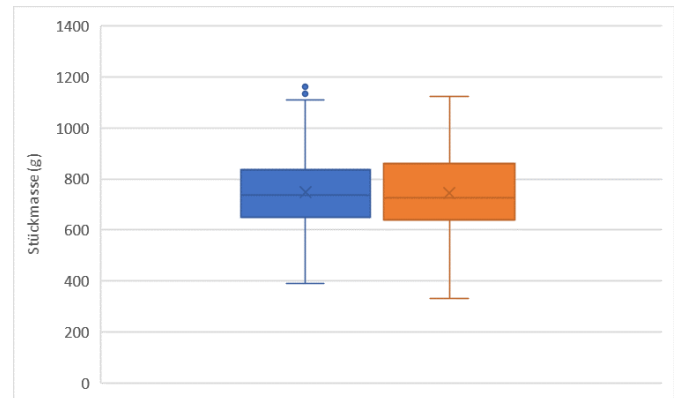
Standort IfB

(Blauer Boxplot: Fische ohne Deformationen; roter Boxplot: Fische mit Deformationen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern in allen Schweregraden)

Abbildung 15: Box-Whisker-Plots zur Stückmasse gegen Ende der Aufzuchtdurchgänge an den Standorten Schwarze Pumpe und IfB



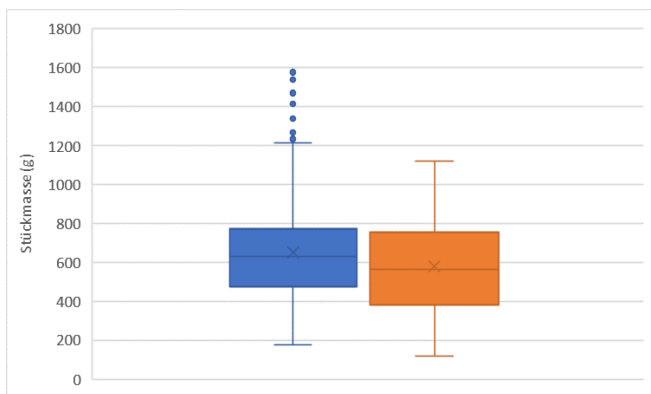
Standort Schwarze Pumpe



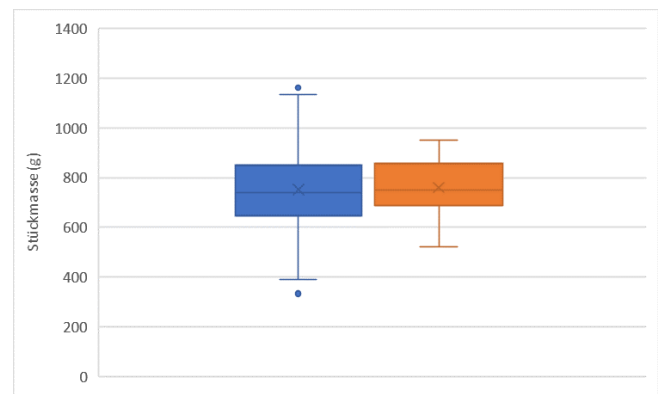
Standort IfB

(Blauer Boxplot: Fische ohne Deformationen; roter Boxplot: Fische mit Deformationen an Dornfortsätzen und Hämalfortsätzen in allen Schweregraden)

Abbildung 16: Box-Whisker-Plots zur Stückmasse gegen Ende der Aufzuchtdurchgänge an den Standorten Schwarze Pumpe und IfB



Standort Schwarze Pumpe



Standort IfB

(Blauer Boxplot: Fische ohne Deformationen; roter Boxplot: Fische mit mittel- und hochgradigen Deformationen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern)

Abbildung 17: Box-Whisker-Plots zur Stückmasse gegen Ende der Aufzuchtdurchgänge an den Standorten Schwarze Pumpe und IfB

In der Mehrzahl der Vergleiche zwischen deformierten und nicht deformierten Individuen wurden sehr ähnliche Mediane und nicht signifikant verschiedene Mittelwerte und Varianzen festgestellt. Die nachgewiesenen Deformationen schienen somit in der Regel nicht so gravierend zu sein, dass sie einen negativen Einfluss auf die Entwicklung der Tiere nahmen.

Da die überwiegende Mehrzahl der über die Röntgenuntersuchungen festgestellten Deformationen äußerlich nicht erkennbar war, besteht die Hoffnung, dass Schmerzen und Leid nur in seltenen Ausnahmefällen auf die Individuen einwirken. Ob sie bei den betroffenen Tieren zu Schmerzen und Leid führten, konnte im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen nicht ermittelt werden. Aufgrund des Lebens von Fischen in Schwebelage im dichteren Medium Wasser sind Wirbelsäulendeformationen in Bezug auf Schmerzen und Leid wahrscheinlich nicht uneingeschränkt vergleichbar sind mit entsprechenden Veränderungen bei Landtieren. Die Intensivaufzucht von Karpfen unter Warmwasserbedingungen ist somit mit hoher Wahrscheinlichkeit keine Haltungsform, welche aufgrund eines hohen Leidensdrucks der gehaltenen Tiere durch entstehende Deformationen kritisch gesehen werden muss.

Lediglich bei separater Betrachtung von Deformationen an Dorn- und Hämalfortsätzen über alle Schweregrade am Standort Schwarze Pumpe traten signifikante Unterschiede in Durchschnittsstückmassen auf (Abbildung 16). Hier wiesen die Individuen mit entsprechenden Deformationen mit einer Durchschnittstückmasse von 682 g einen signifikant höheren Wert auf ($p = 0,02$) als die Vergleichsgruppe ohne Deformationen (626 g). Die günstigere Wachstumsleistung der Tiere mit Veränderungen an Dorn- und Hämalfortsätzen kann als Anzeichen für eine geringe Relevanz dieser Deformationen für Aspekte von Tierwohl und Tiergesundheit betrachtet werden. Weiterhin lässt sich diese Beobachtung als Hinweis darauf deuten, dass sich der Metabolismus sehr schnell wachsender Tiere ggf. negativ auf den Mineralstoffhaushalt und die Skelettentwicklung auswirken kann. In der vorliegenden Untersuchung ging die Erzielung hoher Wachstumsraten auf Trockenfutterbasis durch Intensivaufzucht an den Standorten IfB und Schwarze Pumpe zudem in beiden Aufzuchtdurchgängen mit der Beobachtung sich erhöhender Deformationsraten an Dorn- und Hämalfortsätzen einher.

Auch bei anderen Vertebraten, dem Menschen, ist bekannt, dass in ausgeprägten Wachstumsphasen, etwa während der Pubertät, die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Wirbelsäulendeformationen steigt (DIMEGLIO & CANAVESE 2020; SMIT 2024). Tiefergehende physiologische Untersuchungen zum Mineralstoffwechsel intensiv mit Alleinfuttermitteln aufgezogener Karpfen könnten hier zukünftig weitere Informationen zu den kausal wirkenden Mechanismen beisteuern.

5.6 Optionen zur Verringerung von Deformationen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern bei der Intensivaufzucht von Karpfen unter Warmwasserbedingungen

Die im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführte Ursachenanalyse für erhöhte Deformationsraten bei der Intensivaufzucht von Karpfen unter Kraftwerkskühlwassernutzung am Standort Schwarze Pumpe verwies schließlich auf den negativen Einfluss von Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzen oberhalb von Werten zwischen 9 und 12 cm/s.

Faktoren wie eine unzureichende Alleinfuttermittelzusammensetzung des eingesetzten Standardfutters oder ungünstige Wasserqualitätsparameter, welche durch eine Futterumstellung oder ggf. erhöhte Durchflussraten vergleichsweise einfach hätten umgangen werden können, hatten leider keinen primären Einfluss auf die beobachteten Deformationsraten.

Zudem legten Messergebnisse und Beobachtungen nahe, dass in erster Linie die Schwimmaktivität des gehaltenen Fischbestandes die sich in den Haltungseinheiten ergebenden Fließgeschwindigkeiten und Turbulenzen bestimmt (vergl. Abschnitt 5.4.3). Hohe Bestandsbiomassen in den großen, 160 m³ produktives Volumen anbietenden Produktionseinheiten führten zu erheblich höheren Strömungsgeschwindigkeiten / Turbulenzen als bei ähnlicher Besatzdichte pro m³ in kleinen, 10 m³-Becken aktive, kleinere Bestandsbiomassen. Einmal durch Schwimmaktivität des Bestandes in Bewegung gesetzte Wassermassen weisen in den großen Becken lange Wirkwege auf und beeinflussen die Beckenhydraulik damit hochwahrscheinlich nachhaltiger als in kleinen Haltungseinheiten.

Eine Möglichkeit, bei entsprechenden Zusammenhängen auch in großen Haltungseinheiten Strömung und Turbulenzen zu reduzieren, läge in einer starken Verringerung der Besatzdichte und damit der aktiven Bestandsbiomasse. Allerdings führte bereits eine Besatzdichte von rund 40 kg/m³ in den großen Haltungseinheiten in Schwarze Pumpe zu mittleren Strömungsgeschwindigkeiten / Turbulenzen bis zu 9 cm/s. Die für eine ökonomische Tragfähigkeit der Karpfenaufzucht in Schwarze Pumpe notwendige Besatzdichte von rund 150 kg/m³ wäre durch dieses Vorgehen bei Weitem verfehlt.

Auch eine Umstellung des existenten Systems auf kleinere Beckengrößen ist durch die hohen zu tätigen investiven Maßnahmen und den höheren Bewirtschaftungsaufwand pro m³ angebotenem produktiven Volumen aus ökonomischen Gründen unrealistisch. Die im Vorhaben gewonnenen Erkenntnisse sollten jedoch bei Entwurf und Umsetzung neuer Intensivaufzuchtssysteme für Karpfen unter Warmwasserbedingungen Berücksichtigung finden.

Zur Reduzierung der Wirkwege für Strömung und Turbulenzen in großen Haltungseinheiten könnten zur Strömungsbrechung Einbauten in den Becken platziert werden. Auch hier sprechen jedoch der investive Aufwand und die Notwendigkeit, die Einbauten vor jeder Beckenabfischung wieder entnehmen zu müssen, dagegen. Zudem bergen entsprechende Einbauten das Risiko einer unzureichenden Verteilung der über Zulauf und Eintragssysteme eher kleinräumig eingetragenen Sauerstoffmenge im gesamten Becken. Des Weiteren behindern sie eine gleichmäßige Futterverteilung über die gesamte Haltungseinheit.



(Screenshot aus Videoaufnahme von A. Kučinskas, EXAMION GmbH)

Abbildung 18: Schwimmaktivität des Karpfenbestandes bei einer stündlich mehrfach erfolgenden, automatisierten Futterverabreichung in einem Produktionsbecken am Standort Schwarze Pumpe

Eine im praktischen Einsatz zur Verringerung von Strömung und Turbulenzen ggf. vergleichsweise einfach zu prüfende Maßnahme läge in der Verlängerung der Zeitintervalle zwischen Fütterungen. Aktuell erfolgt in den Produktionsbecken am Standort Schwarze Pumpe stündlich mehrfach eine automatisierte Futterverabreichung. Bei jeder einzelnen Fütterung wird der gehaltene Karpfenbestand auf Futtersuche geschickt, die mit erheblicher Schwimmaktivität einhergeht ((Screenshot aus Videoaufnahme von A. Kučinskas, EXAMION GmbH)

Abbildung 18).

Bei deutlich verlängerter Fütterungsfrequenz und Verabreichung größerer Anteile der täglichen Futterration pro Fütterung könnten längere Pausen ohne fütterungsbedingte Schwimmaktivität die täglich in Summe auf die Fische wirkenden Strömungen und Turbulenzen ggf. reduzieren.

Am Standort IfB konnten hohe Zuwächse und eine sehr gute Futterausnutzung (vergl. Tabelle 8 und Tabelle 14) auch bei Verteilung der täglichen Futtermenge auf drei händisch verabreichte Rationen erzielt werden.

Verschiedene Produzenten von Alleinfuttermitteln für die Aquakultur bieten nutritiv hochwertige Schwimmfuttermittel an. Diese verteilen sich, nach punktueller Verabreichung auch größerer Mengen, recht schnell und gleichmäßig über die gesamte Beckenoberfläche. Ihr Einsatz erleichtert somit die

gleichmäßige Versorgung eines gesamten Beckenbestandes, insbesondere bei großen Bestandsbionassen. Auch der Einsatz von Schwimmfuttermitteln am Standort Schwarze Pumpe könnte dazu beitragen, über eine Veränderung des Fütterungsregimes, Schwimmaktivität und damit Wirbelsäulendeformationen zu reduzieren.

Bei Versuchen einer entsprechenden Umstellung des Fütterungsregimes am Standort Schwarze Pumpe muss mitgeprüft werden, ob bei Verlängerung der Zeitintervalle zwischen Fütterungen der dann punktuell ggf. ansteigende Sauerstoffbedarf der Fische über die installierten Sauerstoffeintragssysteme bewältigt werden kann. Ggf. manifestiert sich eine auf Tagessicht insgesamt verringerte Schwimmaktivität der Karpfenbestände aber auch positiv in einem geringeren Sauerstoffbedarf für das Haltungssystem und einer weiter optimierten Futterausnutzung.

Schlussfolgerungen

- Hohe erzielte Stückmassen und günstige Futterverwertungen verwiesen sowohl am IfB als auch am Standort Schwarze Pumpe auf eine für unter Intensivhaltungsbedingungen aufgezogenen Karpfen generell geeignete Haltungsumwelt.

Aus den während des Aufzuchtdurchgangs 2023/24 erzielten Ergebnissen konnten folgende Ableitungen zu für Deformationen verantwortliche Haltungsumweltparameter getroffen werden:

- Der Chemismus des Kühlwassers, welches am Standort Schwarze Pumpe eingesetzt wird, ist offenbar nicht in erster Linie für die bis zum Start des Forschungsprojekts mehrfach nach der Intensivaufzucht in Schwarze Pumpe beobachteten erhöhten Deformationsraten verantwortlich.
- Längerfristig erhöhte NH_3/NH_4 -Konzentrationen oder NO_3 -Konzentrationen als primäre Ursachen für erhöhte Deformationsraten sind ebenfalls unwahrscheinlich.
- Die verglichenen Alleinfuttermittel führten zu keinen signifikanten Unterschieden in Deformationsraten.

Somit kristallisierten sich hohe Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzen als möglicher Faktor für erhöhte Deformationsraten heraus und wurden während des Aufzuchtdurchgangs 2024/25 näher untersucht:

- Im Vergleich zu den $0,5 \text{ m}^3$ -Becken der Kleinkreisläufe am IfB (ca. $1\text{--}3 \text{ cm/s}$) lagen die durchschnittlichen, am Standort Schwarze Pumpe ermittelten Strömungsgeschwindigkeiten mit rund 4 cm/s bis knapp 17 cm/s auf einem deutlich höheren Niveau.
- In erster Linie der Karpfenbestand selbst und lediglich in untergeordneter Form Beckenzulauf- und Ablaufhydraulik scheinen, insbesondere in den großen 160 m^3 -Produktionseinheiten in Schwarze

Pumpe, die in den Becken entstehenden Strömungsgeschwindigkeiten und Verwirbelungen zu verursachen.

- Eine zunehmende Wirkzeit von Strömung und Turbulenz während der Intensivaufzucht im Warmwasser manifestierte sich in einer zunehmenden Zahl von Deformationen.
- Der negative Einfluss hoher Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzen zeigte sich bei differenzierter Betrachtung der Deformationen an der Wirbelsäule und den Wirbelkörpern. Über alle Schweregrade zusammengefasst wies gegen Ende des Aufzuchtdurchgangs lediglich die Gruppe, welche am Standort Schwarze Pumpe im 160 m³-Becken gehalten wurde und hier hohen Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzen von rund 12 cm/s ausgesetzt war, mit 38 % eine signifikant erhöhte Rate von Deformationen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern auf.
- Kein erkennbarer Zusammenhang zur wirkenden Strömung/Turbulenz zeigte sich bei Betrachtung der Deformationsraten an Dornfortsätzen und Hämalfortsätzen. Entsprechende Deformationsformen scheinen eher mit den hohen, mit Alleinfuttermitteln in der Warmwasserintensivaufzucht erzielten Wachstumsraten in Verbindung zu stehen.
- Die gewonnenen Ergebnisse lassen darauf schließen, dass bei der Intensivaufzucht von Karpfen unter Warmwasserbedingungen Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzen bis zu einer Schwelle zwischen 9 cm/s und unter 12 cm/s für die gehaltenen Bestände zu tolerieren sind, Strömungsgeschwindigkeiten darüber hinaus jedoch vermehrt Deformationen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern nach sich ziehen können.
- Ein negativer Einfluss beobachteter Deformationen auf die Durchschnittsstückmassen der aufgezogenen Karpfen war nicht festzustellen. Die nachgewiesenen, zumeist geringgradigen Deformationen scheinen somit zumeist nicht so gravierend zu sein, dass sie einen negativen Einfluss auf die Entwicklung der Tiere nehmen.
- Eine suboptimale Futterverwertung könnte ein erstes Indiz für Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzen oberhalb des physiologischen Optimums intensiv aufgezogener Fischbestände darstellen.

Ausblick

Maßnahmen zur Begrenzung von regelmäßig wirkenden Strömungen und Verwirbelungen auf Werte unterhalb des geschilderten Schwellenbereichs sollten dabei unterstützen, Zustand und Qualität der erzeugten Fische durch weitestgehende Freiheit von erkennbaren Deformationen an Wirbelsäulen und Wirbelkörpern auf einem maximalen Niveau zu halten.

Zunächst plausibel klingende Maßnahmen zur Minderung von Strömung und Turbulenzen in den Haltungseinheiten am Standort Schwarze Pumpe, wie eine starke Verringerung der aktiven Bestandsbiomasse, die Umstellung auf kleinere Beckengrößen sowie die Installation von Einbauten zur Strömungsbrechung sind aus ökonomischen Gründen nicht realisierbar. Sie wirken sich ertragsmindernd aus, bedürfen eines extremen Investitionsbedarfs und/oder führen zu einer starken Steigerung des Bewirtschaftungsaufwandes. Die im Vorhaben gewonnenen Erkenntnisse zur negativen Auswirkung hoher Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzen sollten jedoch bei Entwurf und Umsetzung neuer Intensivaufzuchtssysteme für Karpfen unter Warmwasserbedingungen berücksichtigt werden.

Am Standort Schwarze Pumpe kann eine Anpassung des Fütterungsregimes geprüft werden. Die Verlängerung der Zeitintervalle zwischen Fütterungen und die Verabreichung größerer Anteile der täglichen Futterration pro Fütterung könnten durch längere Pausen ohne fütterungsbedingte Schwimmaktivität die täglich in Summe auf die Fische wirkenden Strömungen und Turbulenzen ggf. reduzieren.

Weiterhin könnte die Umstellung auf Schwimmfuttermittel, eine rasche Futterverteilung über die Beckenoberfläche erleichtern. Schwimmfutterverabreichung kann so den strömungserzeugenden Schwimmaufwand der Fische zur Futteraufnahme ggf. verringern.

Entsprechende Anpassungen des Fütterungsregimes sollten unter sorgfältiger Berücksichtigung möglicher Änderungen von Sauerstoffbedarfsspitzen des Bestandes und ihrer Bewältigung durch die installierten Sauerstoffeintragssysteme erfolgen.

Zunehmende Deformationsraten an Dorn- und Hämalfortsätzen während der Intensivaufzucht sowie signifikant höhere Durchschnittsstückmassen von Karpfen mit entsprechenden Veränderungen gegenüber der Vergleichsgruppe ohne Deformationen verweisen auf negative Auswirkungen des Metabolismus schnell wachsender Tiere auf Mineralstoffhaushalt und Skelettentwicklung. Detaillierte physiologische Untersuchungen zum Mineralstoffwechsel intensiv mit Alleinfuttermitteln aufgezogener Karpfen könnten hier zukünftig zur weiteren Aufklärung kausaler Zusammenhänge beitragen.

Die Relevanz von Strömung und Turbulenzen für Leistung, Tierwohl und Gesundheit bei der intensiven Kultivierung wichtiger Wirtschaftsfischarten sollte zukünftig über zielgerichtete Versuchsanstellungen tiefergehend untersucht werden.

Literaturverzeichnis

- AL-HARBI, A. H. (2001): Skeletal deformities in cultured common carp *Cyprinus carpio* L. In: Asian Fisheries Science, 14. Jahrgang, Nr. 3, S. 247-254
- BACKIEL, T., KOKUREWICZ, B., OGORZĄLEK, A. (1984): High incidence of skeletal anomalies in carp, *Cyprinus carpio*, reared in cages in flowing water. In: Aquaculture, 43. Jahrgang, S. 369-380
- BECKE, C., MÜLLER-BELECKE, A., SCHUMANN, M., RÖSCH, R. (2019): Entwicklung eines Indexmodells zur praxisnahen Bewertung des Tierwohls von Regenbogenforellen in der Aquakultur. Informationsschrift der Fischereiforschungsstelle, des Fischgesundheitsdienstes und der Fischereibehörden des Landes Baden-Württemberg, Auflage 2/2019, S. 17-21
- BERILLIS, P. (2015): Factors that can lead to the development of skeletal deformities in fishes: a review. In: Journal of Fisheries Sciences.com, 9. Jahrgang., Nr. 3, S. 17
- BÖTTCHER, K. und BÖTTCHER, M. (2000): Röntgendiagnostik bei Fischen: Röntgenanatomie des Karpfens. In: Kleintierpraxis, 45. Jahrgang, Nr. 5, S. 351-358
- BUSACKER, G. P., ADELMAN, I. R., GOOLISH, E. M. (1990): Growth. In: SCHRECK, C. B. & MOYLE, P. B. (eds), Methods for Fish Biology. In: American Fisheries Society, Maryland, USA, S. 363–387
- ÇALTA, M., URAL, M. Ş. (2001): The effects of ambient magnesium concentration on the embryonic and prelarval development of mirror carp (*Cyprinus carpio* L., 1758). In: Fisheries & Aquatic Life, 9. Jahrgang, Nr. 1, S. 97-104
- CHERRY, D. S., LARRICK, S. R., GIATTINA, J. D., DICKSON, K. L., CAIRNS Jr, J. (1979): Avoidance and toxicity responses of fish to intermittent chlorination. In: Environment International, 2. Jahrgang, Nr. 2, S. 85-90
- DIMEGLIO, A., CANAVESE, F. (2020): The immature spine: growth and idiopathic scoliosis. In: Annals of translational medicine, 8. Jahrgang, Nr. 2, S. 22
- DIVANACH, P., PAPANDROULAKIS, N., ANASTASIADIS, P., KOUMOUNDOUROS, G., KENTOURI, M. (1997): Effect of water currents on the development of skeletal deformities in sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) with functional swimbladder during postlarval and nursery phase. In: Aquaculture, 156. Jahrgang, Nr. 1, S. 145-155. DOI **Fehler! Textmarke nicht definiert.**: 10.1016/ S0044-8486(97)00072-0
- EISSA, A. E., ABU-SEIDA, A. M., ISMAIL, M. M., ABU-ELALA, N. M., ABDELSALAM, M. (2021): A comprehensive overview of the most common skeletal deformities in fish. In: Aquaculture Research, 52. Jahrgang, Nr. 6, S. 2391-2402
- FERNÁNDEZ, I., ORTIZ-DELGADO, J. B., SARASQUETE, C., GISBERT, E. (2012): Vitamin A effects on vertebral bone tissue homeostasis in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles. In: Journal of Applied Ichthyology, 28. Jahrgang, Nr. 3, S. 419-426.
- FJELLDAL, P. G., SANKAR, M., VÅGSETH, T., PEDERSEN, A. Ø., MADARO, A., BUI, S., KRYVI, H., STIEN, L. H., Nielsson, J. (2025): Vertebral deformities in cultured big size Rainbow Trout: Radiological analysis from juvenile to harvest size. In: Aquaculture, 596. Jahrgang, S. 741-729

- GEURDEN, I., MARION, D., CHARLON, N., COUTTEAU, P., BERGOT, P. (1998): Comparison of different soybean phospholipidic fractions as dietary supplements for common carp, *Cyprinus carpio*, larvae. In: Aquaculture, 161. Jahrgang, Nr. 1-4, S. 225-235
- HAO, L., CHEN, L., HAO, J., ZHONG, N. (2013): Bioaccumulation and sub-acute toxicity of zinc oxide nanoparticles in juvenile carp (*Cyprinus carpio*): a comparative study with its bulk counterparts. In: Ecotoxicology and environmental safety, 91. Jahrgang, S. 52-60
- IFFAT, J., TIWARI, V. K., VERMA, A. K., PAVAN-KUMAR, A. (2020): Effect of different salinities on breeding and larval development of common carp, *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758) in inland saline groundwater. In: Aquaculture, 518. Jahrgang, S. 734658
- JEZIERSKA, B., BARTNICKA, B. (1995): The effect of pH on embryonic development of carp (*Cyprinus carpio* L.). In: Aquaculture, 129. Jahrgang, Nr. 1-4, S. 133-134
- KIHARA, M., OGATA, S., KAWANO, N., KUBOTA, I., YAMAGUCHI, R., (2002). Lordosis induction in juvenile red sea bream, *Pagrus major*, by high swimming activity. In: Aquaculture, 212. Jahrgang, Nr. 1-4, S. 149–158. DOI: 10.1016/S0044-8486(01)00871-7
- KOMEN, J., WIEGERTJES, G. F., VAN GINNEKEN, V. J. T., EDING, E. H., RICHTER, C. J. J. (1992): Gynogenesis in common carp (*Cyprinus carpio* L.). III. The effects of inbreeding on gonadal development of heterozygous and homozygous gynogenetic offspring. In: Aquaculture, 104. Jahrgang, Nr. 1-2, S. 51-66
- KONDERA, E. (2016): Toxicity of copper to early life stages of common carp (*Cyprinus carpio* L.). In: Fresen. Environ. Bull, 25. Jahrgang, Nr. 6, S. 1950-1958
- KROUPOVA, H., PROKES, M., MACOVA, S., PENAZ, M., BARUS, V., NOVOTNY, L., MACHOVA, J. (2010): Effect of nitrite on early-life stages of common carp (*Cyprinus carpio* L.). In: Environmental Toxicology and Chemistry, 29. Jahrgang, Nr. 3, S. 535-540
- LEHMANN, J. (1991): Der Körperbau der wichtigsten europäischen Süßwasserfische: ein Leitfaden. Hrsg.: Landesanst. für Fischerei Nordrhein-Westfalen, Kirchhundem-Albaum
- MAHAMID, J., SHARIR, A., ADDADI, L., WEINER, S. (2008): Amorphous calcium phosphate is a major component of the forming fin bones of zebrafish: Indications for an amorphous precursor phase. In: Proceedings of the National Academy of Sciences. 105. Jahrgang, Nr. 35, S. 12748-12753
- MEINELT, T., GELBRECHT, J., STÜBER, A., STEINBERG, C. (1998): Fischtoxizität von Chlor. In: Fischer & Teichwirt, Heft 49, Nr. 9, S. 347-351
- MORO, L., ROMANELLO, M., FAVIA, A., LAMANNA, M. P., LOZUPONE, E. (2000): Posttranslational modifications of bone collagen type I are related to the function of rat femoral regions. In: Calcified tissue International, 66. Jahrgang, Nr. 2, S. 151-156
- MÜLLER-BELECKE, A., SPRANGER, A., DIRNBACH, D., KNOLL, S. (2021): Entwicklung einer effizienten Alternative zur Siebfiltration für kleinskalige Kreislaufanlagen – Feststoffabscheidung im

- fluidisierten Lamellenpaket. In: Zeitschrift für Fischerei, Heft 1, Artikel 2, S. 1-11. DOI: 10.35006/fischzeit.2020.2
- OYEN, F. G. F. (1993): Aluminium and water acidity: effects on early development and juveniles of the carp, *Cyprinus carpio*. Dissertation. Universität Nijmegen, S. 159
- POWELL, M. D., PERRY, S. F. (1996): Respiratory and acid-base disturbances in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) blood during exposure to chloramine T, paratoluenesulphonamide, and hypochlorite. In: Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 53. Jahrgang, Nr. 4, S. 701-708
- REGENDA, J., JIROUŠEK, B. (2023): Ověření efektivnosti produkce násady kapra a amura v RAS pro chov tržních ryb v rybnících (Überprüfung der Effizienz der Karpfen und Graskarpfenproduktion in RAS für die Fischzucht in Teichen). EMFF Projektabschlussbericht CZ.10.2.101/2.1/0.0/20_018/0001216, S. 104
- SANJUAN-REYES, N., GÓMEZ-OLIVÁN, L. M., BORJA, R. P. P., LUJA-MONDRAGÓN, M., Orozco-Hernández, J. M., Heredia-García, G., ..., Escobar-Huérfino, F. (2020): Survival and malformation rate in oocytes and larvae of *Cyprinus carpio* by exposure to an industrial effluent. In: Environmental research, 182. Jahrgang, S. 108992
- SANKAR, M., KRYVI, H., FRASER, T. W. K., PHILIP, A. J. P., REMØ, S., HANSEN, T.J., WITTEN, P. E., FJELLDAL, P. G. (2024): A new method for regionalization of the vertebral column in salmonids based on radiographic hallmarks. In: Journal of Fish Biology, 105. Jahrgang, Nr. 4, S. 1189-1199
- SEEGERT, G. L., BROOKS, A. S., CASTLE, J. R. V., GRADALL, K. (1979): The effects of monochloramine on selected riverine fishes. In: Transactions of the American Fisheries Society, 108. Jahrgang, Nr. 1, S. 88-96
- SCHÄPERCLAUS, W. (1990): Fischkrankheiten. 5. Auflage, Akademie-Verlag, Berlin, S. 1123
- SCHRECKENBACH, K. (2010): Gesundheit und Hygiene – Basis für Wachstum. In: Schmidt-Puckhaber (Ed.) Fisch vom Hof?! Fischerzeugung in standortunabhängigen Kreislaufanlagen. DLG-Verlag, Frankfurt a.M., S. 87-116
- SMIT, T. H. (2024): On growth and scoliosis. In: European Spine Journal, 33. Jahrgang, Nr. 6, S. 2439-2450
- ŠVOB, T., REICHENBACH-KLINKE, H.-H., SCHINDLER, O., FETZER, H. und BOCK, K. (1974): Das Röntgenbild des Verdauungstraktes der Wirbeltiere und des Fischskeletts. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- STEFFENS, W. (1975): Der Karpfen. Die Neue Brehm-Bücherei, A. Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt
- STOUTHART, X. J., HAANS, J. L., LOCK, R. A., BONGA, S. E. W. (1996): Effects of water pH on copper toxicity to early life stages of the common carp (*Cyprinus carpio*). In: Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal, 15. Jahrgang, Nr.3, S. 376-383

- VAN DER VELDEN, J. A., SPANINGS, F. A. T., FLIK, G., BONGA, S. W. (1991): Early life stages of carp (*Cyprinus carpio* L.) depend on ambient magnesium for their development. In: Journal of experimental biology, 158. Jahrgang, Nr. 1, S. 431-438
- YOSHITOMI, T., KOYAMA, J., IIDA, A., OKAMOTO, N., IKEDA, Y. (1998): Cadmium-induced scale deformation in carp (*Cyprinus carpio*). In: Bulletin of environmental contamination and toxicology, 60. Jahrgang, S. 639-644
- ZEITOUN, I. H. (1977): The effect of chlorine toxicity on certain blood parameters of adult rainbow trout (*Salmo gairdneri*). In: Environmental Biology of Fishes, 1. Jahrgang, S. 189-195

Herausgeber

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)

Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden

Telefon: +49 351 2612-0

E-Mail: Poststelle@lfulg.sachsen.de

www.lfulg.sachsen.de

Autoren

Dr. Andreas Müller-Belecke; Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow (IfB)

Im Königswald 2, 14469 Potsdam

Telefon: +49 33201 406-13

E-Mail: andreas.mueller-belecke@ifb-potsdam.de

Dr. Kerstin Böttcher; Sächsische Tierseuchenkasse

Neudorfer Str. 12 a, 02699 Königswartha

Telefon: +49 351 8060880

E-Mail: kerstin.boettcher@tsk-sachsen.de

Dietmar Mühle; KREBA-Fisch GmbH

An der Aue 16a; 02906 Quitzdorf am See OT Sproitz

Telefon: 03588 – 2880305

E-Mail: kontakt@kreba-fisch.de

Redaktion

Dr. Alexandra Klinghardt; Abteilung 7 / Referat 76 Fischerei

Gutsstraße 1, 02699 Königswartha

Telefon: +49 35931 2961-41

E-Mail: alexandra.klinghardt@lfulg.sachsen.de

Bildnachweis

Dr. Andreas Müller-Belecke, IfB; Dr. Kerstin Böttcher, Fischgesundheitsdienst der Sächsischen Tierseuchenkasse

Redaktionsschluss

31.07.2025

Bestellservice

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei heruntergeladen werden aus der Publikationsdatenbank des Freistaates Sachsen (<https://publikationen.sachsen.de>).

Hinweis

Diese Publikation wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit vom LfULG (Geschäftsbereich des SMUL) kostenlos herausgegeben. Sie ist nicht zum Verkauf bestimmt und darf nicht zur Wahlwerbung politischer Parteien oder Gruppen eingesetzt werden.

Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.

Täglich für ein gutes Leben.

www.lfulg.sachsen.de