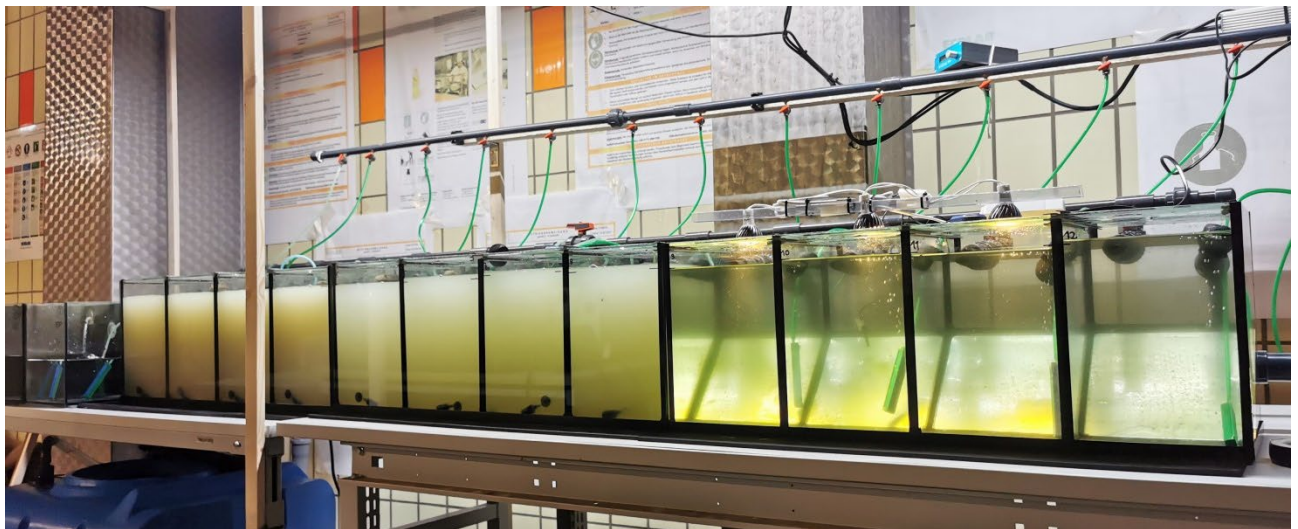


Untersuchungen zur Abundanzdynamik des Stints in der Unterelbe von 2000 bis 2023 und der möglichen Ursachen

Laborversuche zu den Wirkungen unterschiedlicher Schwebstoffkonzentrationen auf Eier und Larven

Anlage 1 zum Hauptbericht



Auftraggeber:
Stiftung Lebensraum Elbe
Hamburg

Dezember 2024

Auftraggeber: Stiftung Lebensraum Elbe
Hamburg

Titel: Untersuchung zu möglichen Ursachen des aktuellen Rückgangs
des Stints in der hamburgischen Unterelbe

Laborversuche zu den Wirkungen unterschiedlicher Schwebstoff-
konzentrationen auf Eier und Larven

Anlage 1 zum Hauptbericht

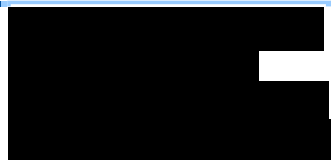
Auftragnehmer: BioConsult GmbH & Co.KG

Auf der Muggenburg 30
28217 Bremen
Telefon +49 421 6207108
Telefax +49 421 6207109

Lerchenstraße 22
24103 Kiel
Telefon +49 431 53036338

Internet www.bioconsult.de
eMail info@bioconsult.de

Bearbeiter:



Datum: Dezember 2024

Inhalt

Zusammenfassung	6
1. Anlass und Aufgabe	10
2. Zusammenfassende Ergebnis-Darstellung der Vorversuche (Phasen 1 und 2)	12
3. Phase 3, Durchführung und Ergebnisse	16
3.1 Methodik und Materialien	16
3.1.1 Vorbereitende Arbeiten	16
3.1.1.1 Hälterungsanlage	16
3.1.1.2 Futterkulturen	19
3.1.1.3 Gewinnung befruchteter Eier.....	20
3.1.1.4 Erbrütung der Eier und Larvenaufzucht.....	21
3.1.2 Versuchsaufbau „Schlupfrate auf verschiedenen Sedimenten“.....	22
3.1.3 Versuchsaufbau „erhöhte Trübung während des Dottersackstadiums“	23
3.1.4 Versuchsaufbau „erhöhte Trübung nach dem Dottersacklarvenstadium“	26
3.2 Ergebnisse	28
3.2.1 Befruchtungsraten und Eientwicklung.....	28
3.2.2 Allgemeine Rahmenparameter (Trübung und physikalisch/chemische Parameter)	30
3.2.2.1 Trübung.....	30
3.2.2.2 Physikalisch/chemische Parameter.....	35
3.2.3 Schlupfrate auf verschiedenen Sedimenten.....	35
3.2.4 Erhöhte Trübung während des Dottersackstadiums.....	37
3.2.5 Erhöhte Trübung nach dem Dottersackstadium.....	38
4. Diskussion.....	43
5. Fazit	48
6. Anhang.....	49
Literatur.....	53

Abbildungen und Tabellen

Abb. 1:	Vorversuche zur Trübungshaltung/Sedimentation mit verschiedenen Setups. Von links nach rechts: Kreiselbecken, Schrägbodenbecken (doppelt), Schrägbodenbecken (einseitig).	17
Abb. 2:	Seitenansicht eines Versuchsbeckens mit doppeltem Schrägboden.	17
Abb. 3:	Übersicht der Versuchsanlage im Aufbau mit den 12 Schrägbodenbecken..	18
Abb. 4:	Abstreifvorgang (hier Männchen) zur Gewinnung befruchteter Eier, Februar 2022.	20
Abb. 5:	Belüftete Inkubatoren zur Erbrütung von Stinteiern, Februar 2022.	21
Abb. 6:	Aquarien mit Bentonittrübung (Becken 1 und 3 von links) und Schlicktrübung (Becken 2 und 4 von links) ca. 12 Stunden nach Einstellung der Trübung (Minimalwert von 24 h, unmittelbar vor erneuter Aufwirbelung des Sediments).	24
Abb. 7:	Ergebnisse der Auszählung der volumenbasierten Stichproben zur Bestimmung der Larvendichte (Ind./50 ml), MW= Mittelwert.	25
Abb. 8:	Anlage während des Betriebs des Hauptversuchs. Von links nach rechts: Becken 1 - 4 Ansatz 1: „Hohe Trübung“, Becken 5 - 8, Ansatz 2: „Mittlere Trübung“, Becken 9 - 12 Kontrollgruppe, ohne Sedimentzugabe.	28
Abb. 9:	Entwicklung der Eier/Larven (Weserstinte) Fotos vom 24.02.2022 bis 21.03.2022 (von oben links nach unten recht: 24.02.2022, 05.03.2022, 09.03.2022, 15.03.2022, 15.03.2022, 21.03.2022).	29
Abb. 10:	Entwicklung der Eier (Elbstinte) Fotos vom 15.03.2022 bis 24.03.2022 (von links nach rechts: 15.03.2022, 22.03.2022, 24.03.2022). Dunkle, trübe Eier sind unbefruchtet. Die in Bild 3 erkennbaren Anhänge an der Eischale sind Reste der Haftfäden.	30
Abb. 11:	Mittelwerte der Trübung (NTU) über 24 h und Anteile verschiedener Trübungsintensitäten über 24h (A1= mittlere Zieltrübung ≥ 600 NTU, A2= mittlere Zieltrübung 300 NTU). Stundenwerte sind Annäherungen auf Basis des täglichen Betreuungsablaufs.	32
Abb. 12:	Dauermessung, exemplarischer Verlauf der Trübungsentwicklung über einen Tag (11.04.2022). Y-Achse ist in Volt angegeben. Sensoren A_S3 & B_S1 aus Becken mit hoher Zieltrübung, A_S4, C_S1 & C_S2 aus Becken mit mittlerer Zieltrübung. Angaben der NTU-Bereiche aus Messungen mit der Handsonde.	33
Abb. 13:	Veränderungen der Schwebstoffkonzentration (FNU) durch den Gezeiteneinfluss. Oben: Tagesgang am Beispiel der Messstation bei Elbe km 643 für den 03.03.2017. TNW ca. 2:00 & 14:30 Uhr, THW: ca. 7:00 & 19:30 Uhr. Unten: Mittlere Trübung und Standardabweichung. MW = Messwerte.	34
Abb. 14:	Gemessene Wassertemperaturen (Tagesmesswerte) in der Hälterungsanlage vom 22.02.2022 bis 28.04.2022.	35
Abb. 15:	Anzahl vitaler Larven, ausgehend von 500 eingesetzten Eiern je Aquarium nach 14 Tagen Exposition von verschieden Schwebstoffgehalten. Grauer Balken= Mittelwert mit Darstellung der Standardabweichung.	40

Abb. 16:	Überlebensraten [%] von Larven nach 14 Tagen Exposition von verschiedenen Schwebstoffgehalten. Bei der Reihe „ohne Schwebstoffzugabe“ wurde keine Elbeprobe berücksichtigt.	42
Abb. 17:	Umrechnungsansätze von Spannung (Arduino- Sensoren) in NTU über verschiedenen Regressionsgleichungen (linear, exponentiell, logarithmisch). 50	
Abb. 18:	Ergebnisse der Anwendung verschiedener Regressionsgleichungen (linear, exponentiell, logarithmisch), exemplarisch für 2 Sensoren.	51
Abb. 19:	Dauermessung, exemplarischer Verlauf der Trübungsentwicklung über 24 Stunden am Beispiel zweier Tagesgänge (oben: 06.04.2022, unten 20.04. 2022) Y-Achse ist in Volt angegeben. Sensoren A_S3 & B_S1 in Becken des Ansatzes 1 „hohe Trübung“, Sensoren B_S2 & C_S2 in Becken des Ansatzes 2 „mittlere Trübung“. Angaben der NTU-Bereiche aus Messungen mit der Handsonde.	52
Tab. 1:	Mittlere Trübungswerte (FNU) im Tideelbeabschnitt von km 609 - km 660 für verschiedene Mehrjahreszeiträume und Vergleich mit dem aktuellen Zeitraum 2019 – 2023 sowie Angaben zu Tagesmaxima (Tagesmittel Max = Maximum der Tagesmittelwerte in den differenzierten Zeiträumen). MW = Mittelwert.	27
Tab. 2:	Anzahl geschlüpfter Stintlarven von jeweils 100 eingesetzten vitalen Eiern pro Aquarium, auf den Substraten Sand, Schlick und unbedeckter Glasboden.	36
Tab. 3:	Überleben von Stintlarven im Dottersackstadium nach 10 Tagen Exposition von: a) Bentonitrübung, b) Schlicktrübung c) keine Schwebstoffzugabe. Überlebensrate ist bezogen auf rechnerisch 1.570 Larven/ Ansatz.....	37
Tab. 4:	Überleben von Stintlarven nach dem Dottersackstadium und nach 14 Tagen Exposition von: 1) Hoher Trübung, 2) Mittlerer Trübung 3) Keine Schwebstoffzugabe. Überlebensrate ist bezogen auf 500 eingesetzte vitale Eier pro Aquarium.	39
Tab. 5:	Rahmendaten der jeweiligen Versuchsreihen von Illing <i>et al.</i> und Bioconsult im Jahr 2022.	46

Zusammenfassung

Die Schwebstoffkonzentration der Tideelbe sind im Bereich des Hafens und weiter stromab und damit in einem Bereich des potenziellen Laichgebiets des Stints in der jüngeren Vergangenheit deutlich angestiegen. Dieser Anstieg korreliert mit der Abnahme der Abundanzen des Stints im Zeitraum von ca. 2014 bis ca. 2018; ein kausaler Zusammenhang ist möglich, aber noch unklar (BioConsult 2020). Deshalb wurde BioConsult durch die Stiftung Lebensraum Elbe mit Laboruntersuchungen beauftragt, in denen die Entwicklung von Eiern, Larven und Postlarven in Abhängigkeit verschiedener Schwebstoffkonzentrationen analysiert werden sollte.

Im Jahr 2021 wurde in einem ersten Schritt ein praxistaugliches Hälterungs- und Fütterungskonzept entwickelt und umgesetzt, welches die erfolgreiche Gewinnung befruchteter Stinteier und die Hälterung und Aufzucht von Stinten über das Dottersackstadium hinaus umfasste. Die aus diesem Versuch gewonnenen Erkenntnisse dienten als Basis für die vertieften Untersuchungen im Jahr 2022 bezüglich des Einflusses verschiedener Schwebstoffkonzentrationen.

In einem weiteren Schritt ist für verschiedene Aquarienformen (kreisförmig, V-förmig, keilförmig) untersucht worden, wie sich hohe Schwebstoffgehalte in den Becken herstellen und über die Versuchsdauer halten lassen. Eine gewisse Schwankung sollte dabei zugelassen werden, da sich auch die ästuarine Schwebstoffkonzentration in situ tidebedingt deutlich verändert. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde der Bau einer Aquarienanlage beauftragt, die aus drei Blöcken von jeweils 80 x 25 x 30 cm (B/T/H) bestand, welche durch 3 senkrechte Scheiben jeweils in vier gleich große Hälterungsabteile (Breite je 20 cm) untergliedert waren. Jedes der insgesamt 12 Hälterungsabteile war mit einem Schrägboden ausgestattet mit einem Gefälle von der Rückwand nach vorne zur Sichtscheibe hin, die Belüftung wurde dort bodennah an der tiefsten Stelle angebracht. Diese Anlage wurde für die Untersuchung mit Postlarven nach der Dottersackphase verwendet, für weitere Versuche (Eiphasse, Larven in der Dottersackphase) wurden rechteckige Einzelbecken mit den Maßen 20 x 20 x 25 cm (B/T/H) verwendet.

Im Frühjahr 2022 wurden dann die Versuche zur Auswirkung der Trübung auf Stinteier/Larven aufgesetzt. Es erfolgten zwei getrennte Versuche einerseits mit Stinteiern/Larven aus der Weser- sowie aus der Elbe. Für die Gewinnung befruchteter Eier wurden am 21.02.22 zuerst Weserstinte und für einen Wiederholungsversuch zeitlich danach (15.03.22) Elbstinte abgestreift. In beiden Versuchsdurchläufen wurde den Eiern mittels Tanninsäure ihre natürliche Haftfähigkeit genommen, um sie in durchströmten Inkubatoren schwebend erbrüten zu können. Für die Fütterung der Postlarven wurden als Erstfutter Süßwasser-Rädertierchen (*Brachionus calyciflorus*) kultiviert. Als Futter für die Rädertierchen und zur Herstellung von so genanntem „green water“¹ in der Aquarienanlage wurde außerdem die Schwebalge *Chlorella vulgaris* kultiviert. Mit zunehmender Körpergröße der Stinte wurden ergänzend frisch geschlüpfte *Artemia*-Nauplien verfüttert.

Im Folgenden werden die einzelnen Teilversuche kurz beschrieben und deren Ergebnisse dargestellt.

¹ Die Herstellung von green water ist eine gängige Methode in der Aquakultur, es wird durch die Zugabe von Schwebalgen hergestellt, wobei das zugegebene Phytoplankton den Larven entweder direkt als Nahrungsquelle dienen kann und/oder indirekt als Probiotika wirkt und z.B. das Immunsystem der Larven stimuliert.

Schlupfrate auf verschiedenen Sedimenten

Versuch 1: Der Versuch zielte auf die Untersuchung der Schlupfrate von Stinteiern, die auf unterschiedlichen Substraten (Sand und Schlick) sowie zur Kontrolle auf sedimentfreiem Glasboden exponiert wurden. Es wurde ein Durchlauf mit Eiern von Weserstinten durchgeführt, bei dem je Substrat 3 Parallelen angesetzt wurden. Ein Vergleich der Schlupfraten sollte Hinweise auf einen möglichen Einfluss der Sedimentbeschaffenheit auf den Schlupferfolg der Stinteier liefern.

Die höchste Schlupfrate wurde für Sandboden dokumentiert (Schlupferfolg von 91% - 100%), darauf folgten mit etwas Abstand die Eier auf Glasboden ohne Substrat (55% - 87%). In den drei mit Schlick befüllten Aquarien trat dagegen keinerlei Schlupf auf.

Die Eier des Stintes haften unter natürlichen Bedingungen bis zum Schlupf lagestabil am Substrat. Die Ergebnisse machen deshalb die Annahme plausibel, dass ästuarine Bereiche mit schlickiger Sohle nicht als Laichgebiet geeignet sind (u.a. tideoffene Hafenbecken und Seitenbereiche).

Ob und in welchem Umfang eine temporäre Sedimentation von feinkörnigen Schwebstoffen während der Kenterphasen auf sandigen Substraten auch zu einer Reduzierung der Schlupfraten führt, sollten weitere Untersuchungen durchgeführt werden. Ein potenziell negativer Einfluss durch Überdeckung der Eier erscheint auf Basis der Befunde (ausbleibender Schlupf auf Schlickboden) plausibel.

Versuch 2: Erhöhte Trübung während des Dottersackstadiums

Für diesen Versuch (ein Durchlauf, Weserstinte) kamen drei Ansätze mit jeweils zwei Aquarien (n= 6) zum Einsatz: 1) Kontrollansatz ohne Trübung, 2) Trübung mit Bentonit, 3) Trübung mit natürlichem Schlick.

Für den Versuch wurden frisch geschlüpfte Larven verwendet. Da eine händische Zählung lebender Larven in größerem Umfang nicht sinnvoll möglich ist, wurde ein volumenbasierter Ansatz für die Einordnung der Larvenanzahl angewandt, d.h. es wurde aus einem Hälterungsgefäß, in dem die Larven vorher durch vorsichtiges Umrühren möglichst gleichmäßig verteilt wurden, ein definiertes Wasservolumen entnommen und jeweils in die einzelnen Versuchsbecken überführt. Nach einer Laufzeit von 10 Tagen wurden die überlebenden Larven aus den 3 Ansätzen (Schlicktrübung, Bentonittrübung, keine Schwebstoffzugabe) entnommen und abgezählt. Die zugefügten Schwebstoffe wurden soweit möglich durch eine Belüftung in Schwebelage gehalten. Da eine Sedimentation trotzdem nicht gänzlich zu vermeiden war, wurden die Schwebstoffe 1- bis 2-mal pro Tag durch händische Aufwirbelung wieder in Schwebelage gebracht. Die Trübung variierte demnach im Tagesverlauf in den Becken mit Schwebstoffzugabe, ähnlich wie im Ästuar, relativ deutlich. Im Schnitt wurden in den Becken mit Bentonittrübung ca. 550 NTU, in denen mit Schlicktrübung 150 NTU erreicht.

Die geringste Überlebensrate von nur 49% (gemittelt) wurde für den Ansatz ohne Schwebstoffzugabe ermittelt, die Mittelwerte für die beiden Ansätze mit Trübung liegen mit 66% (Bentonit) und 72% (Schlick) in einer vergleichbaren Größenordnung zueinander. Um den volumenbasierten Ansatz (s.o.) bezüglich der Spannbreite enthaltener Larven/Wasservolumen zu überprüfen, wurden 10 Zählproben mit je 50 ml aus einem Hälterungsgefäß mit Stintlarven entnommen und die enthaltenen Larven ausgezählt. Es wurde angestrebt die Larven vor der Entnahme von Zählproben möglichst homogen im Wasser zu verteilen, dennoch ergab sich eine sehr deutliche Spreizung zwischen den Zählproben, die ermittelten Werte reichten von 80 bis 284 Larven je 50 ml Probe. Trotz der relativ geringen Anzahl von Parallelen und der methodisch nicht zu vermeidenden Unsicherheiten lagen die

ermittelten Überlebensraten in den beiden Ansätzen mit Schwebstoffzugabe in einer vergleichbaren Größenordnung. Die Ergebnisse liefern keine Hinweise darauf, dass die verwendeten Schwebstoffkonzentrationen zu einer Schädigung der Entwicklung im Dottersackstadium geführt hätten. Es sei angemerkt, dass die Befunde aus den o.g. methodischen Unsicherheiten allerdings nur eingeschränkt aussagekräftig sind.

Versuch 3: Erhöhte Trübung nach dem Dottersackstadium

Der Versuch erfolgte in zwei Durchläufen. Der erste wurde mit Larven von Weserstinten, der zweite mit Larven von Elbstinten durchgeführt. Die methodische Anordnung war bei beiden Durchläufen identisch. 10 Tage nach Befruchtung wurden in die 12 Aquarien der Hälterungsanlage jeweils 500 gut entwickelte Eier überführt. Die Eier wurden in der Hälterungsanlage zunächst ohne Zugabe von Schwebstoffen weiter inkubiert und die Larven aufgezogen. In allen Becken wurden die Schwebalge *Chlorella* und das Rädertierchen (*B. calyciflorus*) zugegeben.

Der eigentliche Versuch wurde gestartet, sobald die Larven sichtbar mit der Aufnahme von Nahrung (Rädertierchen) begannen. Nun wurden die 12 Aquarien der Anlage auf die 2 Trübungsansätze und eine Kontrollgruppe mit jeweils 4 parallelen Aquarien unterteilt.

In Ansatz 1 (A1) wurde eine mittlere Trübung von etwa 600 NTU eingestellt, in Ansatz 2 (A2) 300 NTU. Die Trübung wurde durch Zugabe von vorgequollenem Bentonit erzeugt. Die Trübungswerte waren im Tagesverlauf - wie oben bereits dargestellt - durch eine gewisse Sedimentation und händische Resuspension nicht konstant. Dies ist auch in situ durch die tidale Dynamik für das Ästuar charakteristisch. Ansatz 3 (A3) stellte die Kontrollgruppe dar, abgesehen von der Zugabe von „green water“ wurde keine Erhöhung der Trübung vorgenommen. Die Expositionsdauer betrug jeweils 14 Tage. Anschließend wurden die überlebenden Larven gezählt.

Die Ergebnisse zeigen bei relativ hoher Variabilität der Überlebensraten innerhalb der einzelnen Ansätze ähnliche Überlebensraten zwischen den Ansätzen. Das gilt sowohl beim Vergleich der Ansätze (verschiedene Trübungen) innerhalb der beiden Durchläufe als auch zwischen den beiden Durchläufen (Weser-/Elbstinte). Die gemittelte Überlebensrate lag bei allen Trübungsstufen (keine, mittlere, hohe) zwischen 52 und 66%; eine besondere Ausnahme, mit einer Überlebensrate von nur 4%, lag für die Kontrollgruppe der Elbstinte vor, während die Kontrollgruppe mit Weserstinten eine mittlere Überlebensrate von 52% erreichte. Die Ursache für die hohe Mortalität der Stintlarven in der Kontrollgruppe Elbe sind hier nicht zu benennen²; das Ergebnis wurde daher nicht weiter berücksichtigt.

Die festgestellten Unterschiede der Überlebensraten zwischen den Trübungsstufen sind nicht signifikant und weisen damit nicht auf einen erkennbar negativen Einfluss der erhöhten Trübung hin. Auch die geringen (nicht signifikanten) Unterschiede zwischen den Ansätzen geben keine plausiblen Hinweise auf mögliche Auswirkungen hoher Trübung.

Die Ergebnisse deuten insgesamt darauf hin, dass die verwendeten Schwebstoffkonzentrationen, die in etwa der Größenordnung den aktuell in der hamburgischen Unterelbe mittleren auftretenden

² Möglicherweise kam es zu einem externen Eintrag von Schadstoffen aus dem Leitungswasser (Bautätigkeiten am Leitungssystem) oder es könnte eine endogene Belastung z.B. durch Ammoniakfreisetzung aus Futterresten vorgelegen haben. Potenziell könnte die adsorbierende Wirkung der Tonminerale eine Sterblichkeit in den anderen Aquarien verhindert haben.

Konzentrationen entsprachen, nicht zu erkennbar reduzierten Überlebensraten für Stintlarven nach der Dottersackphase führen, also wenn eine aktive Nahrungsaufnahme der Larven bereits essentiell ist.

Fazit

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der drei Versuchsansätze einen sehr deutlichen negativen Einfluss schlickiger Sedimente auf die Entwicklung aufliegender Stinteier. Dagegen lässt sich anhand der Versuchsansätze ein negativer Einfluss der hier verwendeten erhöhten Schwebstoffkonzentrationen nicht erkennen, sowohl auf die Entwicklung von Larven im Dottersackstadium (in dem noch keine Nahrungsaufnahme erfolgt) als auch nach dem Dottersackstadium (wenn eine Nahrungsaufnahme essentiell ist).

Aus fachlicher Sicht sollten die hier ermittelten ersten Befunde aufgrund der methodischen Herausforderungen (z.B. Herstellung der Trübung) und der begrenzten Zahl von bisher durchgeführten Durchläufen durch weitere Untersuchungen abgesichert werden. Ggfs. sind auch weitere Faktoren, wie z.B. verschiedene Nährtierdichten, mit einzubeziehen. Es sei auch darauf hingewiesen, dass eine aktuelle Studie von Illing et al. (2024), die ebenfalls den Einfluss verschieden hoher Trübungswerte auf Stintlarven mit kurzer Expositionsdauer (4h) untersucht hat, zu dem Ergebnis kommt, dass eine akute Exposition von Stintlarven gegenüber hoher Trübung (≥ 300 NTU) sich negativ auf den Beutekonsum (Fraßerfolg) von Stintlarven auswirkt und auch die Sterblichkeit mit weiter steigenden Trübungswerten zunimmt.

1. Anlass und Aufgabe

Die Schwebstoffkonzentration und folglich die Trübung der Tideelbe sind im Bereich des Hafens und weiter stromab und damit in einem Bereich des potenziellen Laichgebiets des Stints z.T. in der jüngeren Vergangenheit deutlich angestiegen (z.B. Bioconsult 2020). Inwieweit dies einen unmittelbaren Einfluss auf die Entwicklung von Stinteiern und -larven hat, ist nicht bekannt. Zwar scheint eine Schädigung der sehr frühen und damit empfindlichen Entwicklungsstadien plausibel, jedoch ist die Literatur zur Toleranz von Eiern und Larven des europäischen Stints (*Osmerus eperlanus*) gegenüber erhöhten Schwebstoffkonzentrationen spärlich und aussagekräftige Untersuchungen erfolgten bislang nicht³. Daher wurden im Rahmen dieser Studie Laboruntersuchungen durchgeführt, in denen Entwicklung, Wachstum und Verhalten von Eiern und Larven in Abhängigkeit verschiedener Schwebstoffkonzentrationen analysiert wurden.

Da der europäische Stint nicht zu den Arten zählt, die typischerweise in Fischzuchten vermehrt werden, lagen nur sehr begrenzt aktuelle Erfahrungen bzgl. der Gewinnung befruchteter Eier sowie Fütterung und Aufzucht von Stintlarven vor; eine Voraussetzung für die Durchführung des im Fokus stehenden Trübungsversuchs. Schwierigkeiten waren vor allen Dingen bezüglich der Ernährung der Larven im Anschluss an die Dottersackphase zu erwarten.

Aufgrund der Unsicherheiten mit Blick auf die Gewinnung und Erbrütung des Eimaterials sowie der Aufzucht der Larven wurde folgendes 3-stufiges Vorgehen (Phase 1 - Phase 3) vorgesehen⁴:

Phase 1: Vertiefte Analyse der Machbarkeit

Ziel der Phase 1 des Projektes war die Erarbeitung einer Informationsbasis, um die Erfolgsaussichten und Risiken einer erfolgreichen Aufzucht von Stintlarven möglichst fundiert beurteilen zu können. Ausführliche Hinweise zu den Ergebnissen dieser Phase ist Bioconsult (2021) zu entnehmen. Zentrale Ergebnisse werden hier zusammengefasst dargestellt.

Phase 2: Vorversuche zur Konzeption einer Hälterungsanlage, Gewinnung, Erbrütung von Stinteiern und Aufzucht der Larven (Februar bis April 2021)

Ziel der Phase 2 war die erfolgreiche Gewinnung befruchteter Stinteier, die Hälterung und Aufzucht von Stinten über das Dottersackstadium hinaus und die Entwicklung und Umsetzung eines praxistauglichen Hälterungs- und Fütterungskonzeptes. Die aus dem Vorversuch gewonnenen Erkenntnisse dienten als Basis für die Phase 3. Ausführliche Hinweise zu den Ergebnissen der Phase 2 sind Bioconsult (2021) zu entnehmen. Zentrale Ergebnisse werden hier zusammengefasst dargestellt.

³ Mittlerweile liegt eine aktuelle Studie von Illing et al. (2024) vor, die sich ebenfalls der Thematik „Stint vs. Trübung“ widmet.

⁴ Über die Fortführung des Versuchs wurde jeweils am Ende einer Phase entschieden.

Phase 3: Hauptversuch Stinteier und –Larven vs. Trübung (Januar bis Mai 2022)

Ziel der Phase 3 war die experimentelle Identifikation möglicher Wirkungen hoher Schwebstoff-Konzentrationen auf verschiedene Entwicklungsstadien: Stinteier, frühe Larven im Dottersackstadium und v.a. Postlarven bis zu 14 Tage im Anschluss an die Dottersackphase.

Das Projekt wurde im Auftrag der „Stiftung Lebensraum Elbe“ (SLE) in den Jahren 2021 - 2023 durchgeführt.

2. Zusammenfassende Ergebnis-Darstellung der Vorversuche (Phasen 1 und 2)

Die Ergebnisse der ersten beiden Phasen (Literaturstudie, Praxisversuch) wurden in einem gesonderten Bericht zur Vorstudie (BioConsult 2021) dargestellt. Im Folgenden sollen die Kernergebnisse kurz dargestellt werden:

Phase 1 Literaturlauswertungen

Die durchgeführte Literaturrecherche zur Reproduktion und Aufzucht des Stints unter Laborbedingungen hat gezeigt, dass es in verschiedenen Ansätzen gelungen ist, die Eier der Stinte durch künstliche Befruchtung zu gewinnen und im Labor zum Schlüpfen zu bringen, die Ernährung nach dem Dottersackstadium aber meist nicht zuverlässig gelang. Eine jüngere Studie aus UK (McCarthy *et al.* 2020) beschreibt jedoch ein Vorgehen, mit dem Stinte bis zur Laichreife aufgezogen werden konnten, so dass in Abstimmung mit der SLE beschlossen wurde, die Aufzucht von Stintlarven in Anlehnung an das Konzept von McCarthy *et al.* (2020) in der Praxis zu erproben. Des Weiteren wurde festgelegt, dass in der anstehenden Phase Faktoren wie die Wasserbeschaffenheit (Leitungs- vs. Flusswasser), Erbrütungsstrategie (angehaftet an Laichsubstrat vs. freischwebend) und Futterorganismen (verschiedene Kulturen vs. Wildfangfutter) bezüglich ihrer Eignung vergleichend geprüft werden sollen.

Phase 2 Vorversuch: Gewinnung Stinteier, Erbrütung und Aufzucht

Eigewinnung

Am 01.03.2021 konnten erfolgreich Stinte aus der Weser abgestreift werden. Die Befruchtungsrate war mit etwa 52 - 56% gegenüber der Angabe von rd. 99% in McCarthy *et al.* (2020) trotz weitgehend gleicher Methodik deutlich geringer. Auch bei einem weiteren Abstreifvorgang direkt in der Hälterungsanlage am 09.03.2021 lag die Befruchtungsrate bei nur 60%. Gründe für diese Unterschiede sind hier nicht zu benennen.

Der hohe Anteil unbefruchteter Eier führte 2 bis 5 Tage nach dem Abstreifen zu einer Verpilzung, die zunehmend auf vitale Eier übergriff und auch durch die Zugabe eines Mittels gegen Laichverpilzung (Sera Mycopur) nicht mehr ausreichend unterdrückt werden konnte. In diesem Zusammenhang erwies sich die Erbrütung von Eiern, die dünnlagig auf Substrat (hier Gaze) aufgebracht wurden, als besonders anfällig. Keiner der beiden Ansätze mit verschiedenem Ausgangswasser (1 x Leitungswasser, 1x Flusswasser) konnte bis zum Schlupf inkubiert werden.

Demgegenüber wiesen Eier, bei denen mittels Tanninsäure die Haftfähigkeit entfernt wurde und die in durchströmten Inkubatoren erbrütet wurden, ein geringeres Problem bezüglich der Laichverpilzung auf. Dennoch musste auch hier mit entsprechend hohem Aufwand eine Sortierung vitaler Eier stattfinden. Dies war bei Eiern, die auf Laichsubstrat haften, nicht möglich.

Des Weiteren zeigte sich, dass abgestandenes Leitungswasser mit einer Leitfähigkeit um 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und einem alkalischen pH-Wert um 7,8 gegenüber der Verwendung von Flusswasser (hier Weserwasser) sehr wahrscheinlich aufgrund eines geringeren Keimgehaltes bei der Inkubation der Eier

erfolgreicher war, deutlich weniger Aufwand bedeutete und stabile Rahmenbedingungen bezüglich der Wasserparameter im Zeitverlauf ermöglichte.

Aufgrund der Ergebnisse wurde für die weiteren Untersuchungen im Folgejahr (Phase 3) auf den Einsatz von Flusswasser und die Inkubation von an Substrat anhaftenden Eiern verzichtet.

Nach der Selektion der Eier am 4. und 5. Tag nach Befruchtung zeigte sich bis zum Schlupf, der bei Temperaturen um 13 °C am 10. bis 13. Tag nach Befruchtung stattfand, nur noch eine geringe Mortalität von schätzungsweise weniger als 10%.

Hinweis: Im Rahmen eines „Nebenversuchs“ in kleinerem Umfang wurden ca. 60 vitale Eier bei höheren Temperaturen von 20 - 23 °C inkubiert. Die Mortalität der Eier war gering (Ausfälle 8,3%). In Folge der höheren Temperaturen schlüpften die Larven bereits nach 6 bzw. 7. Tagen nach der Befruchtung. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass das Temperaturspektrum, in dem die Eier sich erfolgreich entwickeln können recht groß zu sein scheint, insofern andere Rahmenparameter günstig sind. Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs sind diese Befunde zunächst nur als Hinweis zu verstehen.

Nährtiere und Nahrungsaufnahme

Es konnte bestätigt werden, dass unter Laborbedingungen die Ernährung der Larven mit kultiviertem Futter möglich ist. Hierbei erwies sich der Einsatz von Süßwasser-Rotatorien (*Brachionus calyciflorus*) als Erstfutter als wesentlich praktikabler als der Einsatz von Rotatorien, die in Salzwasser kultiviert werden (*Brachionus plicatilis*), da diese nur wenige Minuten im Süßwasser überleben und dann den Larven nicht mehr als Nahrung zur Verfügung stehen. Zudem erhöht sich der Reinigungsaufwand durch die abgestorbene Biomasse deutlich. Bezüglich der zunächst präferierten Verfütterung von Wildfang-Plankton zeigte sich im Frühjahr 2021 eine unsichere und mangelhafte Verfügbarkeit. Für die anstehenden Versuche im Folgejahr (Phase 3) wurde daher als Erstfutter ausschließlich *B. calyciflorus* in Kombination mit der Alge *Chlorella vulgaris* für die Herstellung von „green water“⁵ kultiviert.

Eine Nahrungsaufnahme konnte bei einzelnen Larven bereits ab dem 5. Tag nach Schlupf festgestellt werden. *Artemia*-Nauplien, die testweise am 10. Tag nach dem Hauptschlupf der Stinte verfüttert wurden, wurden unmittelbar angenommen, so dass möglicherweise bereits zu einem etwas früheren Zeitpunkt *Artemia*-Nauplien als Futter in Frage gekommen wären.

Bis zum Ende des Vorversuchs in Phase 2 (09.04.2021) wurde in den Hälterungsbecken eine Mortalität von etwa 50 - 55% verzeichnet, hauptsächlich nach Aufzehrung des Dottersacks während der Übergangsphase zu einer exogenen Nahrungsaufnahme (etwa 14 - 20 Tage nach Schlupf).

In einem weiteren Versuch (09.04.2021 - 26.04.2021), bei dem ein Teil der Larven in einem 112 Liter Aquarium mit biologischer Filterung gehältert wurde, führte die Akkumulation von Nitrit aufgrund einer noch unterentwickelten Nitrifikationskette im Filter zu einem massiven Sterblichkeitsschub, bei dem geschätzt etwa 45% aller Larven innerhalb von zwei Tagen starben. Die hohe Mortalität deutet auf eine hohe Empfindlichkeit der Larven gegenüber stofflich ungünstigen Wasserbedingungen hin.

⁵ Die Herstellung von green water ist eine gängige Methode in der Aquakultur, es wird durch die Zugabe von Schwebalgen hergestellt, wobei das zugegebene Phytoplankton den Larven entweder direkt als Nahrungsquelle dienen kann und/oder indirekt als Probiotika wirkt und z.B. das Immunsystem der Larven stimuliert.

Dies wies auch auf mögliche Problemstellungen für die anstehenden Versuche in Phase 3 hin, da Hygienemaßnahmen, wie die Absaugung abgestorbener Futterorganismen, bei der Herstellung hoher Trübungen aufgrund schlechter Sichtverhältnisse deutlich erschwert werden.

Ausblick und Hinweise aus Phase 2 für Phase 3

Wasserqualität, Ansätze zur Stabilisierung der Trübung

Für die Aufrechterhaltung der Wasserqualität ist sowohl eine hohe Wasserwechselquote als auch eine strenge Hygiene in den Aquarien notwendig; hierfür ist es sinnvoll die abgestorbene Biomasse (tote Larven & Futterorganismen) -soweit möglich- regelmäßig zu entfernen.

Eine hohe Wasserwechselquote erschwert allerdings die Herstellung einer definierten Trübung. Eine hohe Trübung ihrerseits erschwert je nach Intensität die täglichen Pflegearbeiten. Im Lichte der aktuellen Erfahrungen bei der Verwendung von Flusswasser (Weser), mit vergleichsweise noch geringem Schwebstoffgehalt deutete sich an, dass bei der in Phase 2 verwendeten Konfiguration der Versuchsanlage eine sehr deutliche Sedimentation in den Aquarien auftreten würde. Eine hergestellte hohe Trübung würde sich hierdurch mehr oder weniger unkontrolliert reduzieren und die organischen Beimischungen im abgelagerten Sediment würden vermutlich die Ansiedlung unerwünschter Keime fördern. Es erschien daher sinnvoll, vor Beginn der eigentlichen „Trübungsversuche“ mit verschiedenen Beckenformen mit dem Ziel zu experimentieren, durch die Formgebung eine möglichst geringe Sedimentationsablagerung zu erzielen. Dies z.B. durch die Verwendung von V- oder keilförmigen Behältern, die eine Sedimentation durch eine am tiefsten Punkt des Vs bzw. Keils angebrachten Belüftung soweit wie möglich verhindern soll. Bei abgestellter Belüftung könnte sich dann wiederum das Sediment auf dem schmalen Bereich am Boden absetzen, so dass hier gezielt abgesaugt werden könnte. Im Anschluss müsste die Zieltrübung wieder eingestellt werden.

In Kap. 3.1.1.1 ist die vor diesem Hintergrund letztlich gewählte Beckenform sowie der Aufbau der Hälterungsanlage beschrieben.

Fressverhalten und Nährtierangebot

Die Stintlarven zeigten, nach den Ergebnissen aus den Versuchen die in Phase 2 durchgeführt wurden, ein selektives Jagdverhalten bei dem die Beuteorganismen zunächst anscheinend optisch inspiert wurden. Dabei verhielten sich die Larven positiv phototaktisch. Die Mehrheit der Jagdansätze endete nach der „Inspektion“ der potenziellen Beute ohne Aufnahme von Nahrung. Dieses zunächst ineffizient erscheinende Verhalten könnte möglicherweise einen ausgeprägten Schutz gegen die Aufnahme nicht verdaulicher Partikel darstellen. Folgende Arbeitshypothesen erschienen daher plausibel:

- Bei steigender Schwebstoffkonzentration mit einer Partikelgröße, die der Größe potenzieller Beuteorganismen entspricht, wird die Erfolgsquote bei der Jagd möglicherweise reduziert.
- Die Lichtextinktion durch eine erhöhte Trübung könnte den Jagderfolg mindern, da sich die Stintlarven möglicherweise vorwiegend optisch orientieren und zudem stark positiv phototaktisch agieren. Durch eine stark erhöhte Trübung würde der Bereich in der Wassersäule, in dem die Lichtverhältnisse für eine erfolgreiche optische Jagd noch ausreichend sind, potenziell verkleinert.

Die in Phase 3 durchgeführten Versuche mit verschiedenen Trübungen sollten dazu beitragen diese Thesen zu überprüfen. Für einen erfolgreichen Versuch ist also vorrangig zu gewährleisten, dass die Aquarien mit verschiedenen Trübungsintensitäten bezüglich der übrigen Rahmenbedingungen (v.a. Beckenhygiene) vergleichbar sein müssen. Ansonsten kann nicht ausgeschlossen werden, dass andere Faktoren als Trübungseffekte missinterpretiert oder umgekehrt trübungsbedingte Effekte maskiert werden könnten.

3. Phase 3, Durchführung und Ergebnisse

Wie oben bereits angemerkt wurde im Jahr 2022 auf Basis der Erkenntnisse aus Phase 1 und 2 die Versuchsreihe zu den möglichen Ursachen des aktuellen Rückgangs des Stints⁶ in der hamburgischen Unterelbe fortgesetzt. In Phase 3 der Versuchsreihe lag der Fokus auf dem Einfluss verschieden hoher Schwebstoffgehalte des Wassers auf die Entwicklung und Überlebensraten von Stinteiern und Larven.

Die Phase 3 bestand aus

- einem Vorversuch zur Abschätzung, welche Beckenformen zur Einstellung einer so weit wie möglich konstanten (hohen) Trübung geeignet ist.
- Drei Teilversuchen, bei denen Eier, Dottersacklarven und Postlarven in verschiedenen Setups erhöhten Trübungen ausgesetzt wurden.

3.1 Methodik und Materialien

3.1.1 Vorbereitende Arbeiten

3.1.1.1 Hälterungsanlage

Ausgestaltung und Aufbau

In Phase 3 wurde für den Hauptversuch „Erhöhte Trübung nach dem Dottersackstadium“ (s. Kap. 3.1.4) eine angepasste Hälterungsanlage verwendet, denn hier lag der Fokus auf der Gewährleistung von möglichst konstanten Trübungswerten bei einer maximalen Vermeidung von Sedimentation. Die für den Hauptversuch konzipierte Hälterungsanlage wurde in einer unbeheizten Lagerhalle in Bremen - Überseestadt aufgebaut.

Zu Beginn der Phase 3 wurden zunächst verschiedene Behälterformen und unterschiedliche Schwebstoffgehalte getestet.

- (1) Die Becken wurden durch das Hinzufügen schräger Bodenscheiben so angepasst, dass V- bis keilförmige Formen entstanden (Abb. 2). Hierdurch sollte die Sedimentation auf einen relativ schmalen Bereich des Beckenbodens beschränkt werden und durch eine entsprechend angebrachte Belüftung in dieser Zone das Sediment soweit möglich wieder mobilisiert werden. Das Ziel war hierbei den Bedarf einer händischen Aufwirbelung der Sedimente während der anstehenden Versuche so gering wie möglich zu halten.

⁶ Der hier vorliegende Bericht (Anlage 1 zum Hauptbericht) wurde inhaltlich im Jahr 2022 abgeschlossen. Mittlerweile bestehen neue Erkenntnisse, dass der Rückgang der Stintzahlen sich nach 2018 nicht weiter fortgesetzt hat. Siehe hierzu den Hauptbericht dieses Projektes (BioConsult 2025).

- (2) Des Weiteren wurde alternativ auch ein Kreiselbecken (20 Liter) verwendet, das normalerweise für die Aufzucht von pelagischen Larven von Fischen, Garnelen und die Hälterung von Quallen eingesetzt wird (Abb. 1). Hier war die These, dass durch die Erstellung einer konstanten Kreisströmung unter Vermeidung „toter Winkel“ potenziell weniger Sedimentation als bei anderen Beckenformen zu erwarten ist.



Abb. 1: Vorversuche zur Trübungshaltung/Sedimentation mit verschiedenen Setups. Von links nach rechts: Kreiselbecken, Schrägbodenbecken (doppelt), Schrägbodenbecken (einseitig).



Abb. 2: Seitenansicht eines Versuchsbeckens mit doppeltem Schrägboden.

In der Praxis war der Unterschied zwischen dem Kreiselbecken und den verschiedenen Keilbecken mit Schrägboden eher gering und insgesamt erschien aus Gründen der Handhabung die Verwendung von Schrägbodenbecken mit einem Gefälle von hinten zur Sichtscheibe am sinnvollsten (Abb. 3). Unabhängig von der Beckenform ist bei hohen Schwebstoffgehalten immer eine deutliche Sedimentation zu erwarten, da der Einsatz starker Umwälzpumpen aufgrund der Empfindlichkeit der Larven nicht in Frage kommt. Vor diesem Hintergrund wurde zusätzlich eine regelmäßige vorsichtige händische Resuspension von Sedimenten für die anstehenden Versuche eingeplant.

Als Ergebnis der durchgeführten Versuche zu den Beckenformen wurde für den weiteren geplanten „Hauptversuch“ (s.a. Kap. 3.1.4) der Bau einer Aquarienanlage beauftragt, die aus drei Blöcken von jeweils 80 x 25 x 30 cm (B/T/H) bestand, die durch drei senkrechte Scheiben jeweils in vier gleich große Hälterungsabteile (Breite je 20 cm) untergliedert waren. Jedes der insgesamt 12 Hälterungsabteile war mit einem Schrägboden mit einem Gefälle von der Rückwand nach vorne zur Sichtscheibe hin ausgestattet. Die Belüftung der Abteile wurde bodennah an der Frontscheibe angebracht. Abb. 3 zeigt die Anlage während des Aufbaus.

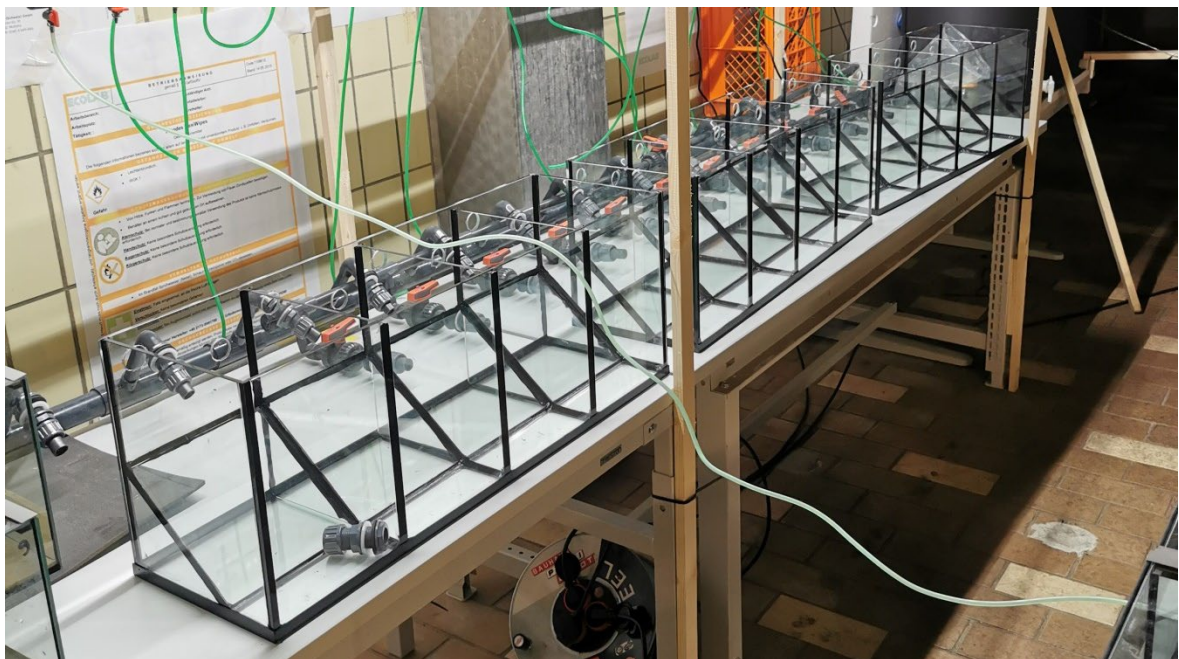


Abb. 3: Übersicht der Versuchsanlage im Aufbau mit den 12 Schrägbodenbecken.

Betrieb der Anlage

Die einzelnen Aquarienabteile fassten jeweils ca. 12 Liter netto und wurden mit Leitungswasser befüllt. Der während des „Betriebs“ (s.u.) erforderliche Wasserwechsel, bzw. die Frischwasserzufuhr, erfolgte - wie bereits im Vorversuch zur Larvenaufzucht (2021) erfolgreich durchgeführt - mittels einer Pumpe aus einem 200 l Tank. Die Abschaltung der Pumpe wurde mit Hilfe eines Pegeldifferenzschalters über den Füllstand des Tanks gesteuert, so dass bei jedem täglichen Wasserwechsel insgesamt eine relativ konstante Menge von ca. 144 l Frischwasser in die Aquarien gelangen konnte, was etwa dem Nettovolumen der gesamten Anlage entspricht. In allen 12 Aquarien konnte über ein regulierbares Verteilersystem zeitgleich ein Wasserwechsel stattfinden. Die Wasserwechselquote wurde gegenüber 2021 deutlich erhöht, da die Vorversuche zur Trübungshaltung (s.o.) gezeigt haben, dass eine tägliche vollständige Reinigung der Aquarienböden durch Absaugung aufgrund der

zu erwartenden Sedimentschichten nicht praktikabel ist. Durch die erhöhte Wasserwechselquote konnten die anfallenden Abbauprodukte organischer Substanzen regelmäßig ausgetragen werden.

Nach dem täglichen Wasserwechsel wurde der Tank wieder mit Leitungswasser befüllt. So wurde gewährleistet, dass das Wasser mindestens 12 Stunden (i. d. R. 18 - 22 Stunden) vor erneutem Wasserwechsel abstehen konnte. Weitere technische Details entsprechen der Umsetzung in Phase 2, sie sind im Bericht zur Phase 2 (BioConsult 2021) detailliert dargestellt. Das Vorgehen zur Herstellung der Trübung wird in Kap. 3.1.4 beschrieben.

Nebenversuche

Neben dem oben beschriebenen Versuchsaufbau wurden im Rahmen des Projektes zusätzlich weitere Fragen bearbeitet. Hierzu gehören folgende Aspekte:

- „Schlupfrate auf verschiedenen Sedimenten“ (s. Kap. 3.1.2) und
- „Erhöhte Trübung während des Dottersacklarvenstadiums“ (Kap. 3.1.3)

Für diese (Neben-)Fragestellungen wurden Einzelbecken mit den Maßen 20 x 20 x 25 cm (B/T/H) verwendet. Weitere Informationen sind den jeweiligen Kapiteln zu entnehmen.

3.1.1.2 Futterkulturen

Aus dem im Jahr 2021 durchgeführten Versuch zur Larvenaufzucht hat sich ergeben, dass als Erstfutter das Süßwasserrädertierchen (*Brachionus calyciflorus*) in Kombination mit der Schwebealge *Chlorella vulgaris* für die Herstellung von „green water“ besonders geeignet ist (s. Kap. 2). Zusätzlich zu den Rädertierchen wurden im Verlauf des Wachstums der Stintlarven *Artemia*-Nauplien verfüttert (BioConsult 2021). Auf haline Phytoplankton- und Rädertierchenkulturen sowie auf Wildfangfutter wurde in Phase 3 verzichtet.

Folgende Futterkulturen wurden angelegt:

- (1) Anfang Februar 2022 wurden zunächst die Vorkulturen gestartet, um damit Ende Februar die größeren Hauptkulturen für *Chlorella vulgaris* und *Brachionus calyciflorus* zu beimpfen. Es wurden jeweils zwei große Phytoplanktonkulturen in 54 Liter Aquarien und zwei Rädertierchenkulturen in 60 Liter Fässern angesetzt. Alle Kulturen wurden mittels regulierbarer Heizstäbe auf 20 - 23 °C temperiert. Die Basisversorgung der Futterkulturen, der Aufbau der Fässer und Aquarien und die Handhabung entsprachen dem Vorgehen des Vorversuchs zur Larvenaufzucht im Jahr 2021 (Details s. Bericht Phase 2, BioConsult 2021).
- (2) Um eine sichere Versorgung zu gewährleisten wurden zusätzlich mehrere kleinere Kulturen für die Rädertierchen mit je ca. 5 Liter Inhalt angelegt, die v. a. auf eine hohe Produktivität angelegt waren und aufgrund der entsprechend hohen Fütterungsraten regelmäßig (nach ca. 7 - 15 Tage) neu angesetzt werden mussten.

- (3) Des Weiteren wurden zwei weitere Phytoplanktonkulturen mit zusammen etwa 100 Liter Volumen angelegt, dies v. a. als Absicherung falls die Hauptkulturen z.B. durch einen ungewollten Eintrag von Rädertierchen unbrauchbar würden. Zur eigentlichen Fütterung der Stintlarven während des Hauptversuchs, siehe weiter unten Kap. 3.1.4.

3.1.1.3 Gewinnung befruchteter Eier

Für die Versuche war vorgesehen Eimaterial sowohl aus der Weser als aus der Elbe zu verwenden. Aufgrund der begrenzten Anzahl an Hälterungsbecken erfolgten die einzelnen Versuche zeitversetzt, zuerst mit Weserstinten anschließend mit Elbstinten.

Weserstinte

Am 21.02.2022 wurden für die Gewinnung und Befruchtung von Eiern acht Weibchen und fünf Männchen abgestreift. Die adulten Stinte wurden durch den Amtsfischer Rüdiger Droste mittels Reusen unterhalb des Weserwehres gefangen und lebend ins Labor überführt, wo sie vor dem Abstreifen etwa 3 Stunden in einem belüfteten Behälter (ca. 200 Liter) unter Zugabe von Frischwasser akklimatisiert wurden.

Elbstinte

Für die Eigewinnung von Elbstinten wurden am 15.03.2022 insgesamt fünf adulte Weibchen und sechzehn adulte Männchen (nur drei Männchen enthielten Milch) abgestreift. Die Tiere wurden mittels Hamenkutter durch den Fischer Claus Zeeck in der Unterelbe im Laichgebiet gefangen. Wie bei den Weserstinten erfolgte zunächst der Transport der Tiere ins Labor (Überseestadt in Bremen), das Abstreifen wurde nach einer Akklimatisierung dort durchgeführt.

Die Weiterbehandlung der Stinteier entsprach der des Vorversuchs im Jahr 2021 (s. BioConsult 2021), wobei - anders als noch 2021 – nun alle Eier nach der Befruchtung mit Tanninsäure behandelt wurden, um deren Haftfähigkeit zu eliminieren, so dass sie in durchströmten Inkubatoren „flottierend“ erbrütet werden konnten (s. Kap. 3.1.1.4) und so die Mortalität der Eier reduziert wurde.



Abb. 4: Abstreifvorgang (hier Männchen) zur Gewinnung befruchteter Eier, Februar 2022.

3.1.1.4 Erbrütung der Eier und Larvenaufzucht

Sowohl die Eier der Weserstinte (Versuchsdurchlauf 1, vom 21.02. bis 14.04.2022) als auch die der Elbstinte (Versuchsdurchlauf 2 vom 15.03. bis 28.04.2022) wurden nach der Befruchtung jeweils auf 6 Inkubatoren aufgeteilt, die in ein 112 Liter fassendes Aquarium eingehängt wurden. Die Inkubatoren wurden durchgehend belüftet, wodurch die Eier in Bewegung gehalten wurden und das Wasser in den Inkubatoren durch das Luftheberprinzip⁷ ständig ausgetauscht wurde. Das Wasser in dem Inkubatoraquarium wurde täglich zu mindestens 50% durch abgestandenes Leitungswasser ersetzt.



Abb. 5: Belüftete Inkubatoren zur Erbrütung von Stinteiern, Februar 2022.

Zur visuellen Kontrolle des Befruchtungserfolgs und der Eientwicklung wurden zu Beginn der beiden Versuchsdurchläufe jeweils 50 Eier nach der Befruchtung in eine Petrischale überführt. Die visuelle Kontrolle erfolgte mit Hilfe eines digitalen Mikroskops statt. Ein Teilwasserwechsel wurde täglich mit abgestandenem Leitungswasser durchgeführt.

Für die geplanten unterschiedlichen Versuchsansätze (s. folgende Kapitel) wurden ab dem 10. Tag nach Befruchtung jeweils die benötigte Anzahl vitaler Eier von Weserstinten aus den Inkubatoren aussortiert.

⁷ Beim Luftheberprinzip wird in ein unter dem Wasserspiegel liegenden Steigrohr Luft eingeführt, hierbei wird Umgebungswasser mitgerissen und somit gefördert.

Die befruchteten Eier der Elbstinte (zweiter Durchlauf) konnten aufgrund geringer Stückzahlen nur für den Hauptversuch (s. Kap. 3.1.4) verwendet werden. Der Grund für die geringe Befruchtungsrate hing hierbei möglicherweise mit der verminderten „Fitness“ der verwendeten Laichtiere zusammen. Diese wurden erst gegen Ende der Laichzeit gefangen, das Laichgeschehen fordert den Tieren viel Kraft ab und führt deshalb zu einer Verminderung der „Fitness“ im Verlauf der Laichzeit.

Hinweis: Aufgrund der sehr geringen Befruchtungsrate und vermehrter Verpilzung und Verklumpung, die auch die befruchteten Eier zu beeinflussen schienen, wurde am 5. Tag nach Befruchtung eine umfangreiche Sortierung der Elbstint-Eier vorgenommen und nur die sichtbar befruchteten Eier zurück in die Inkubatoren überführt. Am 10. Tag nach der Befruchtung wurde dann die benötigte Anzahl an vitalen Eiern für den Hauptversuch entnommen (Kap. 3.1.4).

Die weitere Handhabung während der Erbrütung der Eier und der Larvenaufzucht differiert je nach Versuch und wird im Folgenden näher beschrieben.

3.1.2 Versuchsaufbau „Schlupfrate auf verschiedenen Sedimenten“

Hintergrund dieses Versuches war die Annahme, dass eine zunehmende Verschlickung im Ästuar zu einer Überdeckung natürlicherweise sandiger Sohlbereiche (bevorzugte Laichhabitate) führt und eine Ablage der Eier im Bereich so veränderter Habitatbedingungen möglicherweise negative Auswirkungen auf deren Entwicklung haben kann, da die Eier bis zum Schlupf überwiegend an der Gewässer-sole auf sandigem Substrat anhaften.

Für diesen Versuch wurden Eier von Weserstinten jeweils auf

- Flusssand,
- schlickigen Sedimenten (aus der unteren Lesum) und
- Glasboden ohne Sediment (Kontrollbecken) inkubiert.

Hierbei kamen 9 Aquarien mit den Maßen 20 x 20 x 25 cm (B/T/H) zum Einsatz, so dass je Ansatz 3 Parallelen zur Verfügung standen. In den 6 Becken, die mit Sand oder Schlick ausgestattet waren, wurde das Sediment ca. 0,5 cm hoch eingebracht. Alle 9 Becken wurden mit rund 5 Liter abgestandenem Leitungswasser befüllt. Auf eine Belüftung wurde verzichtet, damit die Eier, deren Haftfähigkeit entfernt worden war, nicht aufgewirbelt würden und somit den Kontakt zum Sediment verlieren würden. Stattdessen wurden die Becken nur zum Teil befüllt, um ein möglichst großes Oberflächen-Volumenverhältnis zu erreichen. Der Sauerstoffgehalt wurde täglich kontrolliert und lag mit dauerhaft über >11 mg/l auch ohne Belüftung in einem optimalen Bereich.

In jedes Becken wurden am 03.03.2022 (10 Tage nach Abstreifen) 100 vitale Eier der Weserstinte überführt. Mit Hilfe eines Saugschlauches wurde täglich ein Wasserwechsel durchgeführt. Hierfür wurde ein feines Sieb vor den Saugschlauch gehalten, um einen Austrag von Eiern oder Larven zu verhindern. Sobald bei der täglichen Kontrolle eine Larve gesichtet wurde, wurde sie mithilfe einer Pipette oder eines Schlauches für die Zählung entnommen. Nachdem 2 Tage kein Schlupf mehr zu verzeichnen war (26.03.2022) wurde der Versuch beendet.

3.1.3 Versuchsaufbau „erhöhte Trübung während des Dottersackstadiums“

In einem weiteren Versuch wurde die Überlebensrate von Stintlarven untersucht, die einer erhöhten Trübung während des Dottersacklarvenstadiums ausgesetzt wurden. Dieser Versuch wurde mit den Larven der Weserstinte durchgeführt.

Hintergrund war die Frage, ob hohe Schwebstoffgehalte schon während der frühen Larvalphase, in der die Tiere noch keine exogene Nahrung aufnehmen, negativ auf die Fitness der Tiere wirken (mögliche Wirkpfade: Verklebung der Kiemen oder mechanische Schädigungen der Schleimhäute).

Der Versuch wurde am 18.03.2022 mit frisch geschlüpften, ca. 0 - 2 Tage alten Dottersacklarven der Weserstinte gestartet, die Laufzeit betrug 10 Tage. Das Setup beinhaltete folgende drei Ansätze mit jeweils 2 Aquarien (n= 6):

- (1) Kontrolle ohne Trübung.
- (2) Trübung mit Bentonit.
- (3) Trübung mit natürlichem Schlick (aus der Tide-Lesum, Wesernebenfluss).

Die Trübung wurde durch regelmäßiges Aufwirbeln (2-mal/Tag) und eine kräftige Belüftung der Aquarien möglichst konstant gehalten, dennoch war die Amplitude der (täglich gemessenen) Trübungswerte in einem Zeitraum der Versuchslaufzeit von 10 Tagen mit Werten zwischen 85 und 1.210 NTU sehr hoch (Angaben beziehen sich nur auf Becken mit Sedimentzugabe).

Im Schnitt wurden in den Becken mit Bentonittrübung ca. 550 NTU und in denen mit Schlicktrübung 150 NTU erreicht. Die Problematik zur Trübungshaltung wird im Ergebnissteil (Kap. 3.2.2.1) diskutiert.

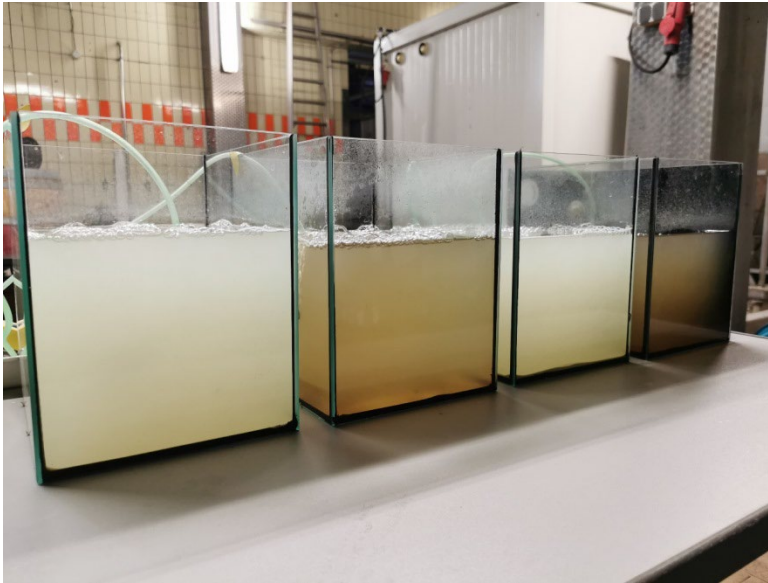


Abb. 6: Aquarien mit Bentonittrübung (Becken 1 und 3 von links) und Schlicktrübung (Becken 2 und 4 von links) ca. 12 Stunden nach Einstellung der Trübung (Minimalwert von 24 h, unmittelbar vor erneuter Aufwirbelung des Sediments).

Für den Versuch wurden bereits geschlüpfte Larven verwendet. Da eine händische Zählung lebender Larven in größerem Umfang nicht sinnvoll möglich ist, wurde ein volumenbasierter Ansatz für die Einordnung der Larvenanzahl vorgenommen. Hierfür wurden die Larven durch vorsichtiges Rühren in ihrem Hälterungsbecken möglichst homogen über das gesamte Volumen verteilt. Anschließend wurden für die Ermittlung der Anzahl von Larven pro 50 ml Wasser zehn Unterproben je 50 ml entnommen, aus denen jeweils die Anzahl enthaltener Larven bestimmt wurde. Die zu erwartende Larvendichte (Ind./50 ml) wurde über den Mittelwert der 10 ausgewerteten Teilproben ermittelt, dieser lag bei 157 Ind./50 ml. In die Versuchsbecken wurden jeweils 250 ml Wasser aus dem Hälterungsbecken mit den enthaltenen Larven gegeben, was rechnerisch 785 Larven pro Aquarium entspricht.

Anmerkung zum volumenbasierten Ansatz zur Einschätzung der Larvenanzahl in einem definierten Wasservolumen:

Die Auszählung der 10 Teilproben zeigte eine sehr hohe Spreizung, die Individuenzahl lag zwischen 80 und 284 Larven/50 ml, bei einem Mittelwert von 157,1 Larven/50 ml und einer Standardabweichung von $s = 81,02$; dies entspricht einem hohen Variationskoeffizienten ($s/\text{Mittelwert} \times 100$) von 51,6%. Bezogen auf eine Zugabe von $5 \times 50 \text{ ml} (= 250 \text{ ml})$ ergibt sich auf Basis der Teilproben rechnerisch eine Spannweite von 400 (Min. 80×5) bis 1.420 (Max. 284×5) Ind./ pro Versuchsbecken, wobei die statistische Eintrittswahrscheinlichkeit für beide Fälle gering ist (rechnerisch jeweils $1 : 252$).

In Abb. 7 sind die Ergebnisse der Zählungen der einzelnen Teilproben und die Standardabweichung dargestellt, des Weiteren auch die Verteilung um den Median ($= 141 \text{ Ind./ } 50 \text{ ml}$). Die Abbildung zeigt im Wesentlichen, dass auf Basis der Stichprobe 50% der Daten zwischen 84 Ind./50 ml ($= 420 \text{ Ind./Versuchsbecken}$) und 217 Ind./ 50 ml ($= 1.080 \text{ Ind./Versuchsbecken}$) liegt. Damit ist die Spreizung immer noch sehr hoch. Vor diesem Hintergrund ergab sich eine größere Unsicherheit bezüglich

der tatsächlich eingebrachten Larvenzahlen pro Versuchsbecken. Hierdurch ist auch die Aussagekraft der in Kap. 3.2.4 dargestellten Ergebnisse eingeschränkt.

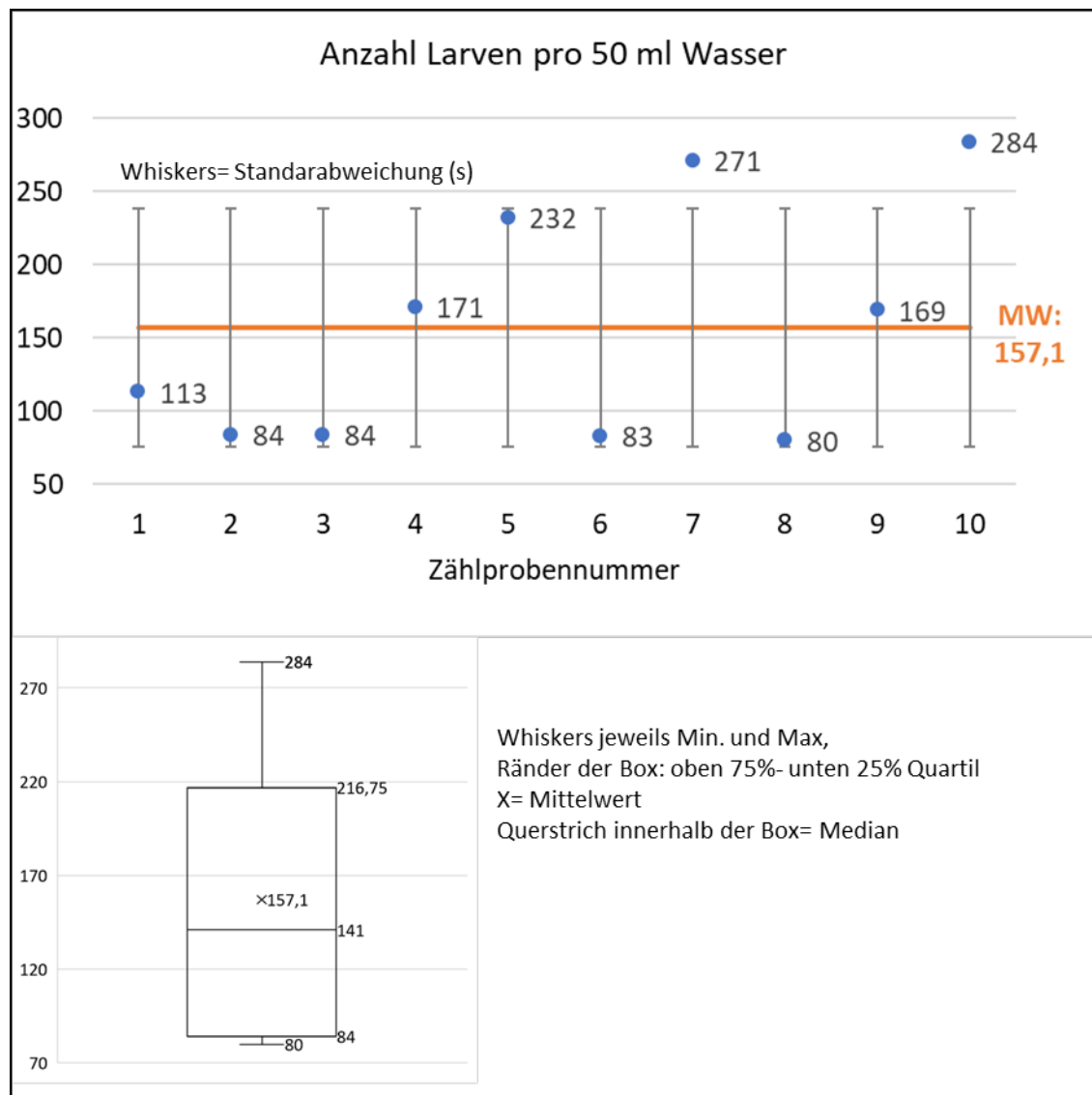


Abb. 7: Ergebnisse der Auszählung der volumenbasierten Stichproben zur Bestimmung der Larvendichte (Ind./50 ml), MW= Mittelwert.

3.1.4 Versuchsaufbau „erhöhte Trübung nach dem Dottersacklarvenstadium“

Wie oben bereits beschrieben erfolgte der Hauptversuch in zwei Durchläufen. Der erste wurde mit Larven von Weserstinten, der zweite mit Larven von Elbstinten durchgeführt. Die methodische Anordnung war mit Blick auf die zwei Versuchsreihen (Weserstint, Elbstint) identisch.

Vorbereitende Arbeiten

Exponierung der Larven

10 Tage nach Befruchtung wurden jeweils 500 gut entwickelte Eier in die 12 Aquarien der Versuchsanlage überführt. Die Eier können mittels Pipette schadlos bewegt werden, so konnten sie in entsprechende Behälter (flache Schalen mit Zählraster) überführt und exakt abgezählt werden. Die Eier wurden anschließend zunächst ohne Zugabe von Schwebstoffen weiter inkubiert und die Larven aufgezogen.

Fütterung

Die erste Zugabe von „green water“ und Rädertierchen erfolgte bereits wenige Tage nach dem Schlupf, noch bevor die Stintlarven ihren Dottersack vollständig aufgezehrt hatten, so dass sichergestellt war, dass bei einem Übergang der Larven zu einer exogenen Nahrungsaufnahme entsprechende Futterorganismen unmittelbar zur Verfügung standen. Der Beginn der Nahrungsaufnahme ließ sich aufgrund der hohen Transparenz der Larven deutlich an ihrem Verdauungstrakt erkennen.

Rädertierchen wurden täglich in kleineren Mengen nach dem Wasserwechsel, oder morgens nach Bedarf, zugegeben um die Zieldichte von grob 5 - 10 Rotatorien/cm³ wieder einzustellen. Die Süßwasser-Rotatorien unterlagen nach Zugabe in die Anlage keiner erhöhten Mortalität (abgesehen von der Prädation durch die Stintlarven). Stichproben unter dem Digitalmikroskop zeigten auch, dass sich *B. calyciflorus* in der Anlage von den zugefügten *Chlorella*-Algen („green water“) ernährte. Dies ist relevant, da der Nährwert der Rotatorien maßgeblich über ihren Gehalt an aufgenommenem Futter (hier Phytoplankton) bestimmt wird. Aufgrund der Trübung in 8 der 12 Aquarien konnte eine Schätzung der Zielwertdichten der Futterorganismen nur anhand der optischen Kontrolle in den Aquarien ohne Schwebstoffzugabe abgeschätzt werden. Insgesamt ist davon auszugehen, dass die Dichten zeitweise, insbesondere gegen Ende der Versuchszeit, im Schnitt über 10 Rädertierchen/cm³ gelegen haben. Somit dürften die vorhandenen Dichten deutlich über den mittleren Dichten in der Elbe gelegen haben.

Um vergleichbare Dichten von Nährorganismen in allen Aquarien zu gewährleisten, wurde die Zugabe von „green water“ und Rädertierchen über ein definiertes Volumen gleichmäßig auf die einzelnen Aquarien verteilt. Im Verlaufe des Wachstums der Larven wurde später auch täglich *Artemia* zugefüttert (Zielwert < 300 Nauplien/l). Die Fütterung folgte dem 2021 entwickelten Konzept (Details siehe Zwischenbericht Phase 2, BioConsult 2021). Die Verfütterung von *Artemia*-Nauplien erfolgte bewusst sparsam, da die Nauplien im Süßwasser nach einiger Zeit absterben und so das Wasser belasten. Aufgrund der hohen Trübung und den Sedimentschichten in den Becken mit Trübung war eine tägliche gründliche Bodenabsaugung nicht möglich. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurde auch in den Aquarien der Kontrollgruppe (ohne Schwebstoffzugabe) auf eine tägliche gründliche Absaugung der Aquarienböden verzichtet.

Trübungsversuch

Der eigentliche Versuch wurde gestartet, sobald die Larven sichtbar mit der Aufnahme von externer Nahrung begannen und der Dottersack nahezu aufgezehrt war. Nun wurden die 12 Aquarien der Anlage auf die 3 Trübungsansätze mit jeweils 4 parallelen Aquarien unterteilt. In Ansatz 1 wurde eine mittlere Trübung von etwa 600 NTU angestrebt, in Ansatz 2 von 300 NTU und in Ansatz 3, der die Kontrollgruppe darstellte, wurde abgesehen von der Zugabe von „green water“ keine Erhöhung der Trübung vorgenommen.

Die im Rahmen des Versuchs vorgesehenen mittleren Trübungswerte orientierten sich an den derzeitigen Bedingungen im Süßwasserabschnitt der Elbe unmittelbar stromab Hamburgs. Hinweise hierzu können Tab. 1 (Messstation D1 bei km 643) entnommen werden.

Tab. 1: Mittlere Trübungswerte (FNU) im Tideelbeabschnitt von km 609 - km 660 für verschiedene Mehrjahreszeiträume und Vergleich mit dem aktuellen Zeitraum 2019 – 2023 sowie Angaben zu Tagesmaxima (Tagesmittel Max = Maximum der Tagesmittelwerte in den differenzierten Zeiträumen). MW = Mittelwert.

Trübung FNU	Frühjahr	Frühjahr	Einzelwert - Tagesmittel Max	Einzelwert - Tagesmittel Max	Tendenz	Tendenz
	2000 - 2018 (MW 5-Jahres- zeiträume Tagesmittel Amplitude)	2019 - 2023 (MW 5- Jahreszeitraum Tagesmittel / bzw. Tagesmax*)	2000 - 2018	2019 - 2023	2000 - 2018	2019 - 2023 (bezogen auf den Zeitraum 2014 - 2018)
Bunthaus	15,5 - 21,4	20 / 28,5*	40,6 (Jahr 2006)	89 (Jahr 2020)	→	→
Seemannshöft	20,4 - 34,6	50 / 109*	92 (Jahr 2014)	330 (Jahr 2021)	→	→
D1 Sohle (* bezogen auf Tagesmax)	77,2* - 659,6*	625*	1.306 (Jahr 2018)	1.515 (Jahr 2021)	↑	→
D1 oben (* bezogen auf Tagesmax)	44* - 312*	285*	523 (Jahr 2016)	677 (Jahr 2020)	↑	→
Grauer Ort	43 - 321	156 / 181*	718 (Jahr 2016)	409 (Jahr 2020)	↑	→

Die Trübung wurde über vorgequollenes Tonmineral (Bentonit) eingestellt. Auf die Verwendung natürlichen Schlicks mit einem i.d.R. hohen Anteil organischen Materials wurde u.a. aus Hygienegründen in der Anlage verzichtet (s. Kap. 3.1.1.1). Um die nicht vermeidbare Sedimentation auszugleichen sind die sedimentierten Partikel 1- bis 2-mal pro Tag durch vorsichtiges Aufrühren soweit wie möglich wieder in Schwebelage gebracht worden. Des Weiteren wurde nach jedem täglichen Wasserwechsel die Zieltrübung durch Zugabe von vorgequollenem und in einem Messbecher aufgerührtem Bentonit durchgeführt. Die Kontrolle der Trübungswerte wurde bis zu 4-mal täglich mit einer Sonde der Firma Hannah durchgeführt. Zusätzlich wurde experimentell eine Dauermessung (alle 60 Sekunden) mittels eines Arduino-Systems durchgeführt, welches die Trübung über optische Sensoren erfasst, die vom Arduino-Controller als Spannung in Volt ausgelesen wird. Nach der ersten Zugabe von Schwebstoffen wurde die Versuchsdauer für beide Durchläufe auf jeweils 14 Tage festgelegt (Durchlauf 1 vom 31.03. bis 14.04.2022, Durchlauf 2 vom 14.04. bis 28.04.2022). Nach dieser Zeit wurden die überlebenden Larven jeweils entnommen und gezählt; Zwischenkontrollen während der 14tägigen Versuchsdauer erfolgten aus Gründen der Praktikabilität nicht.

Abb. 8 zeigt den Aufbau der Anlage mit den entsprechend eingestellten Trübungen

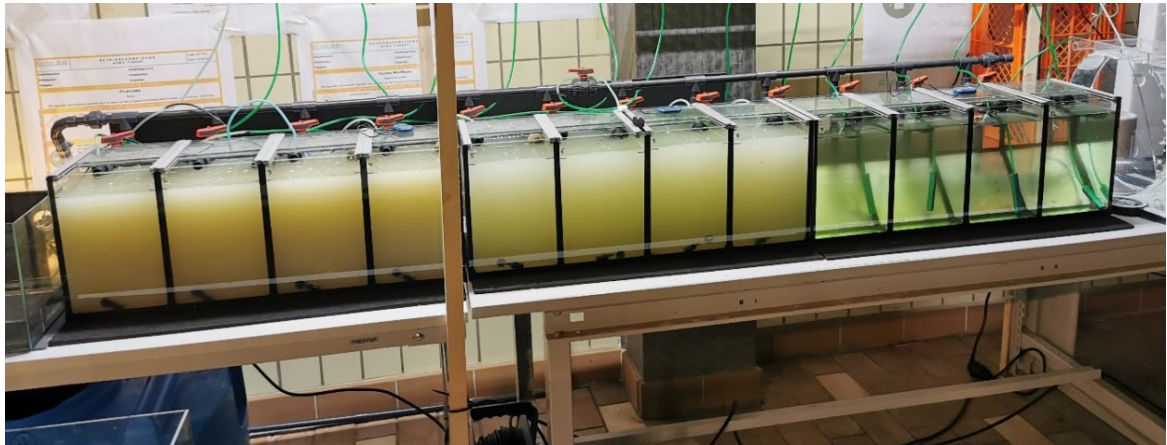


Abb. 8: Anlage während des Betriebs des Hauptversuchs. Von links nach rechts: Becken 1 - 4 Ansatz 1: „Hohe Trübung“, Becken 5 - 8, Ansatz 2: „Mittlere Trübung“, Becken 9 - 12 Kontrollgruppe, ohne Sedimentzugabe.

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Befruchtungsraten und Eientwicklung

Die **Weserstinte** die am 21.02.2022 abgestreift wurden, wiesen sowohl bei den Männchen als auch den Weibchen große Mengen vitaler Laichprodukte auf, die Befruchtungsquote der Eier lag bei rd. 80 - 85%. Die Ausfälle bis zum Schlupf waren gering. Eine umfangreiche Sortierung der Eier während der Inkubationsphase war nicht notwendig. Es wurde erst bei Bedarf die für die Versuche notwendige Anzahl vitaler Eier selektiert. Die ersten Larven schlüpften am 15.03.2022, was einer Entwicklungsdauer von 22 Tagen entspricht. Die Wassertemperatur lag während dieser Phase mit sehr geringen Schwankungen nach oben und unten im Mittel bei ca. 7 °C. Die Entwicklung der Eier bis zum frühen Larvenstadium aus einer Kontrollprobe ist in Abb. 9 dargestellt.

Anders verhielt es sich bei den **Elbstinten**, die am 15.03.2022 abgestreift wurden. Nur bei 3 von den 16 adulten Männchen war Milch vorhanden und dies nur in sehr geringen Mengen. Auch bei den Weibchen variierte der Entwicklungszustand der Eier stark, und es waren nur wenige Individuen vorhanden, die eine nennenswerte Menge vitaler befruchtungsfähiger Eier aufwiesen. Die Befruchtungsrate lag entsprechend bei nur etwa 20%. Es ist davon auszugehen, dass der Grund hierfür der vergleichsweise späte Zeitpunkt war, und im Freiland die Hauptlaichzeit des Jahres 2022 schon abgeschlossen war. Aufgrund der schnell einsetzenden Verpilzung und Verklumpung der (toten) Eier war anders als bei den Weserstinten noch während der Inkubationsphase eine umfangreiche Sortierung vom 20. - 22.03.2022 erforderlich. Die hohe Rate unbefruchteter Eier wird auch in Abb. 10 ersichtlich, sie zeigt Aufnahmen aus einer Kontrollprobe. Bei den sortierten vitalen Eiern zeigte sich im Folgenden keine erhöhte Mortalität. Die Entwicklungszeit der Eier der Elbstinte bis zum Schlupf war deutlich kürzer als bei den Weserstinten, die ersten Larven schlüpften bereits nach 12 Tagen am 27.03.2022. Die deutlich schnellere Entwicklung gegenüber den Eiern der Weserstinte ist auf die bereits höheren Temperaturen (im Mittel ca. 9 °C) zurückzuführen (s. Kap. 3.2.2.2).

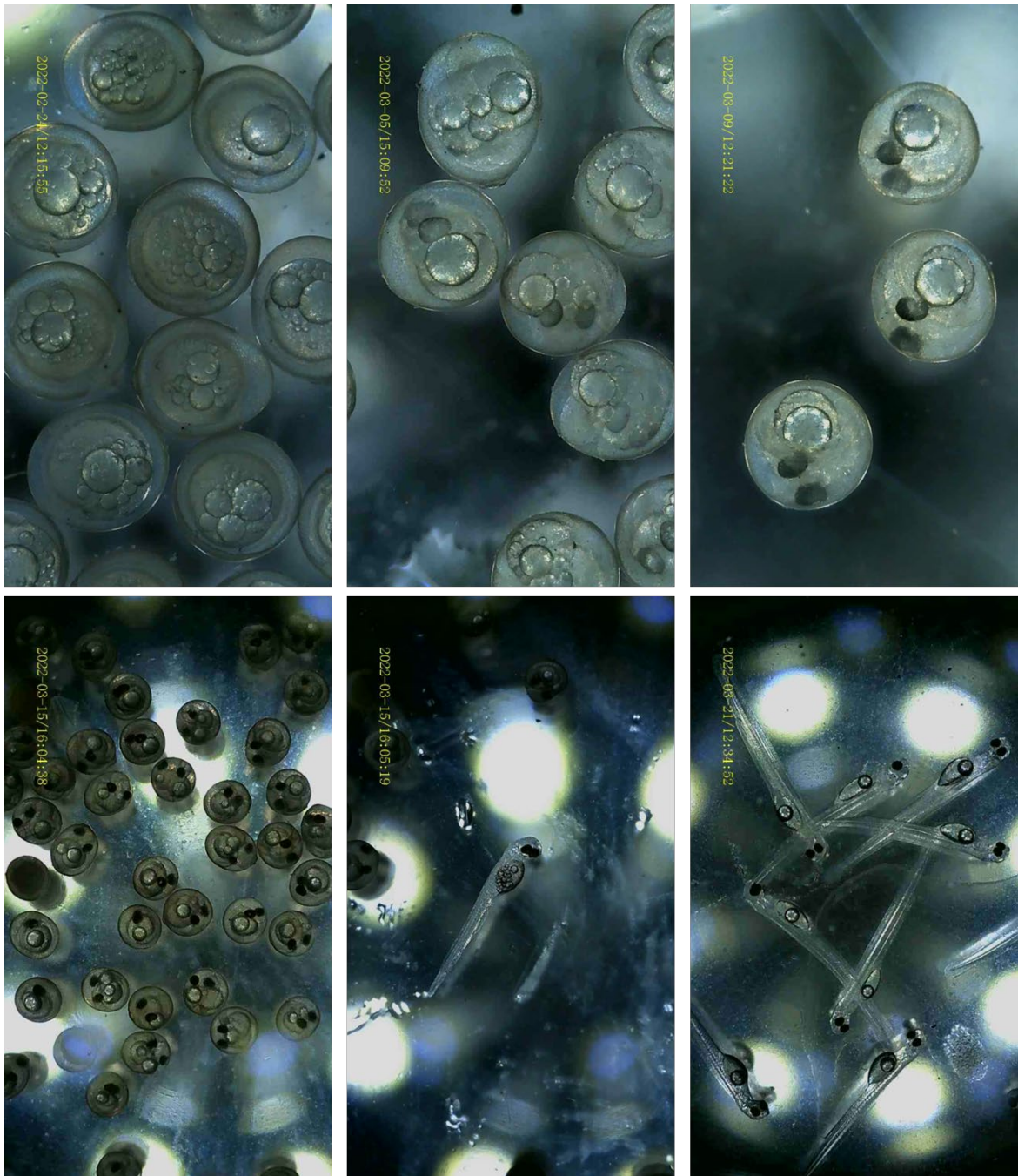


Abb. 9: Entwicklung der Eier/Larven (Weserstinte) Fotos vom 24.02.2022 bis 21.03.2022 (von oben links nach unten
rechts: 24.02.2022, 05.03.2022, 09.03.2022, 15.03.2022, 15.03.2022, 21.03.2022).

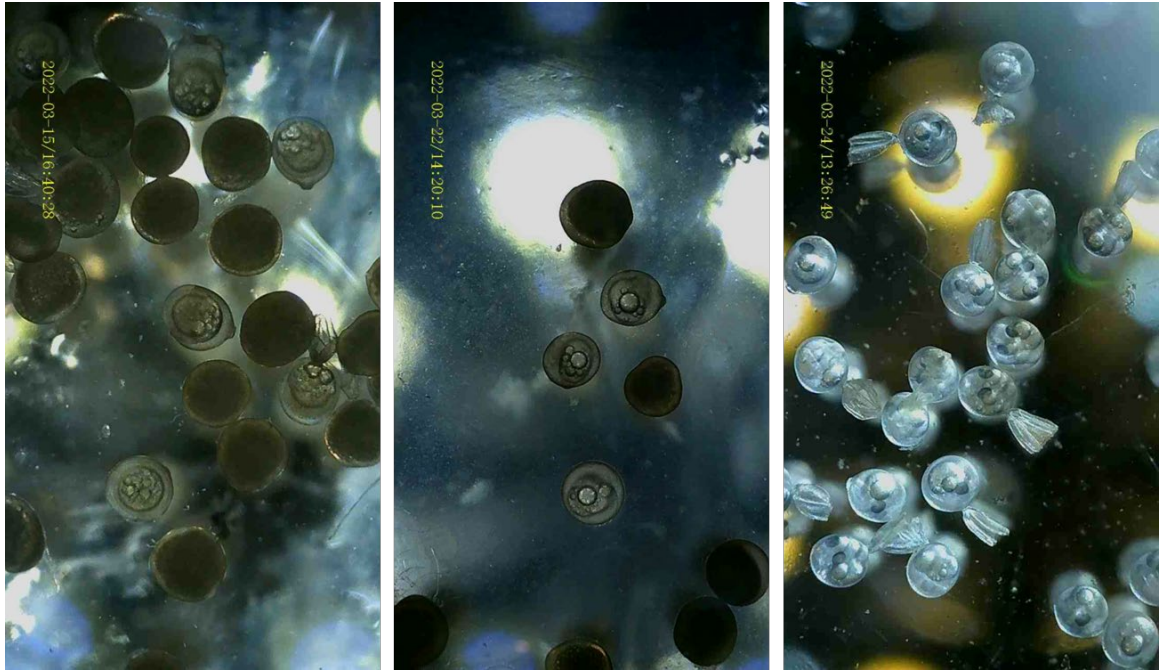


Abb. 10: Entwicklung der Eier (Elbstinte) Fotos vom 15.03.2022 bis 24.03.2022 (von links nach rechts: 15.03.2022, 22.03.2022, 24.03.2022). Dunkle, trübe Eier sind unbefruchtet. Die in Bild 3 erkennbaren Anhänge an der Eischale sind Reste der Haftfäden.

3.2.2 Allgemeine Rahmenparameter (Trübung und physikalisch/chemische Parameter)

3.2.2.1 Trübung

Die Trübung veränderte sich durch Sedimentation und händische Resuspension im Tagesverlauf deutlich, wie nachfolgend detailliert beschrieben wird. Dies war zum einen methodisch bedingt, zum anderen „imitierte“ der Ansatz eingeschränkt die starken tidalen Schwankungen der ästuarinen Schwebstoffkonzentration durch Sedimentation v.a. um die Kenterphasen und die Resuspension v.a. bei einsetzendem Flut- und abgeschwächt Ebbstrom.

Morgens gegen 8 Uhr fand täglich die erste händische Resuspension von Sediment statt, dann folgte etwa zwischen 11:30 bis 13:30 Uhr der tägliche Wasserwechsel und im Anschluss eine erneute Sedimentzugabe zur Einstellung der Trübung. Zwischen 16 und 17 Uhr wurde das Sediment noch einmal händisch resuspendiert. Der längste Zeitraum ohne eine aktive Erhöhung der Trübung lag zwischen der letzten Resuspension am Nachmittag und der ersten Resuspension am darauffolgenden Morgen. In dieser Zeitspanne wurden auch die niedrigsten NTU-Werte gemessen.

Abb. 11 zeigt die gemittelten Trübungswerte (alle Parallelen beider Versuchsdurchläufe jeweils für die Ansätze A1 und A2) über einen Zeitraum von 24 Stunden. Hierbei wurden die typischen Zeitabstände zwischen den einzelnen Sondenmessungen zugrunde gelegt. Auf dieser Betrachtungsebene lässt sich abschätzen, wie stark die mittleren Trübungswerte über den Tagesverlauf in etwa variierten. Es zeigt sich, dass die erzielten Trübungswerte über längere Phasen unter dem Niveau der

angestrebten mittleren Zielwerte lagen (Zielwerte: $A1 \geq 600$ NTU, $A2 = 300$ NTU). Starke Unterschreitungen traten jedoch nur über relativ kurze Zeitphasen auf.

Für den Ansatz A1 mit einer mittleren Zieltrübung von ≥ 600 NTU lagen die Werte bezogen auf einen Zeitraum von 24 Stunden zu ca. 20% (ca. 5 h) über dem angestrebten Zielwert. Trübungsintensitäten die um den Bereich des angestrebten Mittels lagen, wurden zu ca. 23% (ca. 6 h) des Tages erreicht. Mäßige Abweichungen (300 - 500 NTU) traten über 40% (ca. 9,5 h) des Tagesverlaufs auf. Deutliche Unterschreitungen (≤ 300 NTU) ergeben sich auf Basis der Berechnung über die Mittelwerte für 19% des Tages (ca. 4,5 h, v.A. Nachtzeit). Werte im Bereich unter 200 NTU spielen im Zeitverlauf keine nennenswerte Rolle.

Für den Ansatz A2 „mittlere Trübung“ waren Abweichungen vom angestrebten Mittelwert weniger stark ausgeprägt: 42% der Zeit (ca. 10h) lag die Trübung mit 200 - 400 NTU relativ nah um den angestrebten Mittelwert von 300 NTU. Höhere Werte wurden im Schnitt zu 23% (ca. 6 h), niedrigere Werte zu 35% (ca. 8,5h) erreicht. Sehr starke Abweichungen vom angestrebten Mittelwert traten hierbei im Schnitt in vergleichsweise kurzen Zeitfenstern auf (vgl. Abb. 11). Das über die Zeit gewichtete Mittel der Trübung über 24 h liegt in der Klasse 200 - 300 NTU.

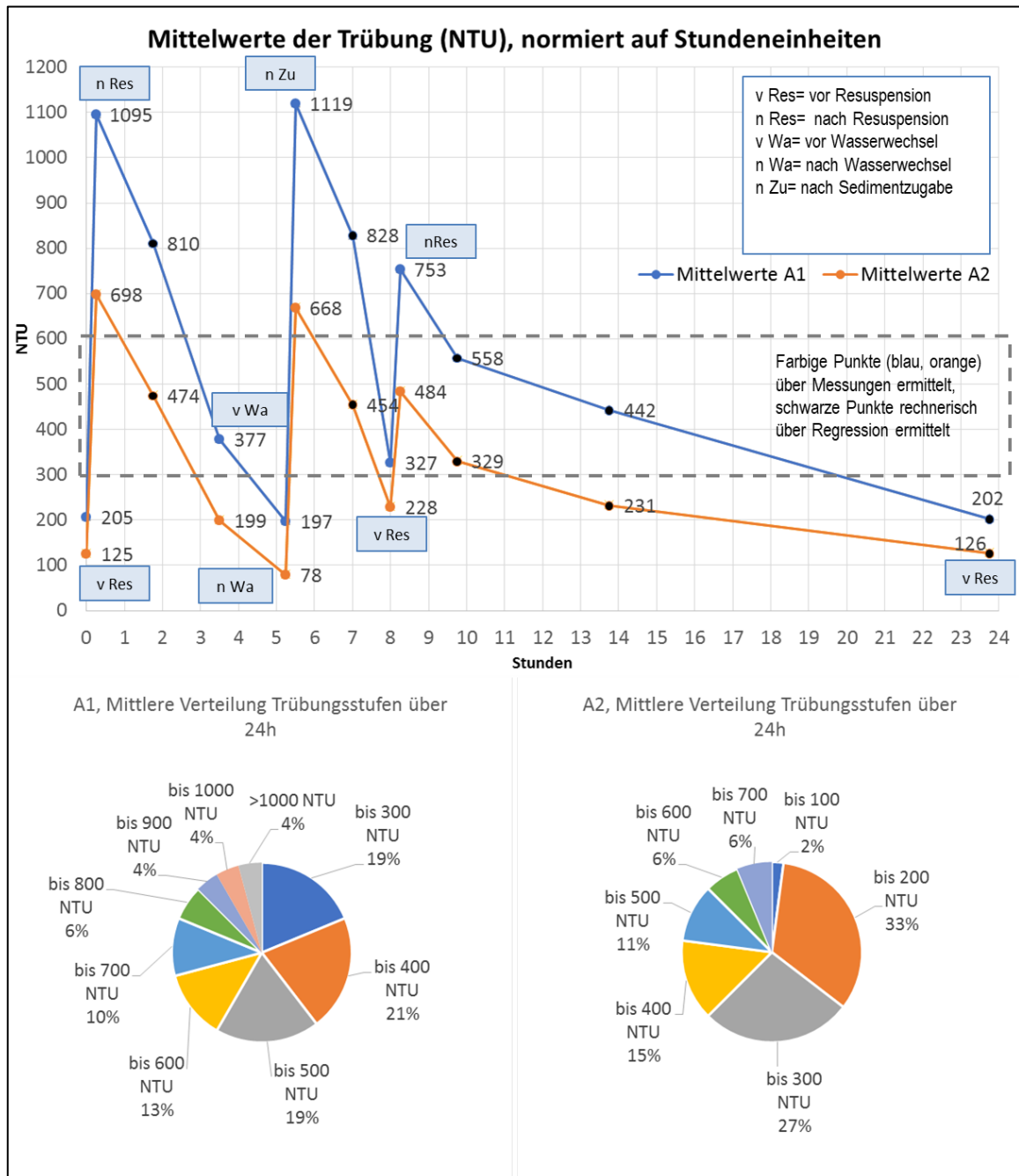


Abb. 11: Mittelwerte der Trübung (NTU) über 24 h und Anteile verschiedener Trübungsintensitäten über 24h (A1= mittlere Zieltrübung ≥ 600 NTU, A2= mittlere Zieltrübung 300 NTU). Stundenwerte sind Annäherungen auf Basis des täglichen Betreuungsablaufs.

Für eine dauerhafte Überwachung und Dokumentation der zeitlichen Veränderungen der Trübungsintensität wurde testweise ein Arduino-System eingesetzt (Details s. Anhang). Es ist zu berücksichtigen, dass die Trübung hier nicht in der Einheit NTU gemessen werden konnte, sondern über Spannungsunterschiede in Volt. Eine genaue Umrechnung von Spannung zu NTU war nicht möglich, v.a. weil bei der NTU-Messung mit der Handsonde keine exakten Einzelwerte, sondern bei jeder Messung aufgrund von Wolkenbildung der im Wasser enthaltenen Partikel ein mehr oder weniger großer Schwankungsbereich erfasst wurde. Zudem kam es an den Sensoren des Arduino-Systems über die

Zeit zu Ablagerungen von Sedimenten die die Messungen beeinflussten. Dies führte zu scheinbar erhöhten Trübungswerten zwischen den manuellen Reinigungen der Arduino-Sensoren; auch traten teilweise Spannungsschwankungen an den einzelnen Sensoren des Systems auf, was ebenfalls Einfluss auf die ausgelesenen Messwerte hatte.

Mittels verschiedener Regressionsgleichungen wurde versucht eine möglichst gute Kalibrierung der ausgelesenen Spannung der Arduino-Sensoren zu erreichen (Details s. Anhang). Auf eine Verwendung der berechneten NTU Werte wurde aufgrund einer schwachen Anpassung durch die Regressionsberechnungen verzichtet. Die Daten liefern jedoch in Kombination mit den Sondenmesswerten generelle Hinweise zum zeitlichen Verlauf der Trübungsintensität. Einen typischen Tagesverlauf der Trübungsintensität zeigt exemplarisch für den 11.04.2022 die Abb. 12.

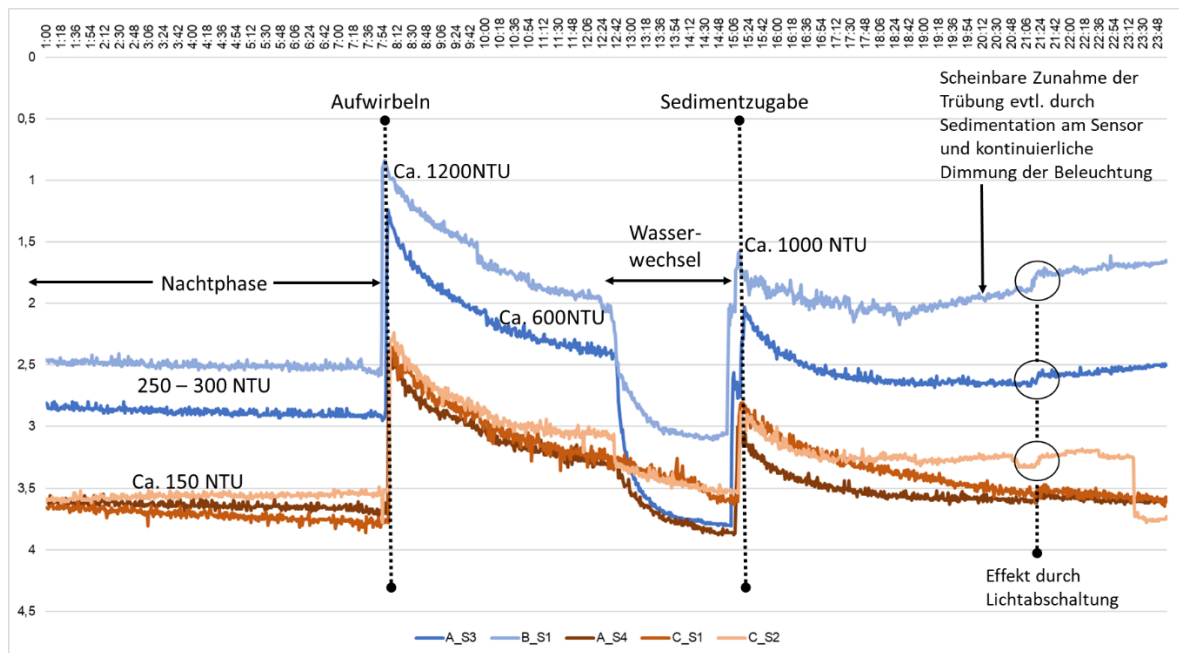


Abb. 12: Dauermessung, exemplarischer Verlauf der Trübungsentwicklung über einen Tag (11.04.2022). Y-Achse ist in Volt angegeben. Sensoren A_S3 & B_S1 aus Becken mit hoher Zieltrübung, A_S4, C_S1 & C_S2 aus Becken mit mittlerer Zieltrübung. Angaben der NTU-Bereiche aus Messungen mit der Handsonde.

Die Ergebnisse zeigen insgesamt, dass sich die Trübung im Tagesverlauf dynamisch um ca. den Faktor 4 - 6 veränderte und die Werte zeitweise deutlich unter den jeweiligen mittleren Zielwerten (A1: ≥ 600 NTU, A2: ca. 300 NTU) lagen. Um die Wertebereiche dennoch über möglichst lange Phasen halten zu können, war es notwendig Initialwerte der Schwebstoffgehalte einzustellen, die kurzfristig deutlich über dem jeweiligen mittleren Zielniveau lagen. Über die Nachtstunden wurden die mittleren Zielwerte regelmäßig und teils deutlich unterschritten sowie während der Hellphase im Zeitraum des Wasserwechsels bis zur erneuten Sedimentzugabe (Dauer ca. 2 Stunden). Eine ausgeprägte zeitliche Amplitude der Schwebstoffgehalte zeigt sich allerdings auch in den Ästuaren, hier am Beispiel der Elbe dargestellt (s. Abb. 13). Die erfasste Schwankungsbreite liegt mit Blick auf das Beispiel hier mit einem Faktor um ca. 10 noch deutlich über derjenigen, die im Rahmen der Versuche erfasst wurde (s.o.). Die geringsten Trübungswerte entfallen auf die Phase um Tideniedrigwasser, dann steigt die Trübung schnell an. Um den Kenterpunkt zu Hochwasser fällt sie dann wieder ab, wenngleich etwas weniger als um Niedrigwasser. Die Spannweite der gemessenen Trübung aus der Elbe und der Versuchsanlage liegen insgesamt in einem vergleichbaren Bereich (s. Abb. 11 & Abb.

13). Die Dynamik ist bedingt durch tidephasenbedingt unterschiedlichen Strömungsbedingungen und den damit korrespondierenden Sedimentations- bzw. Resuspensionsraten.

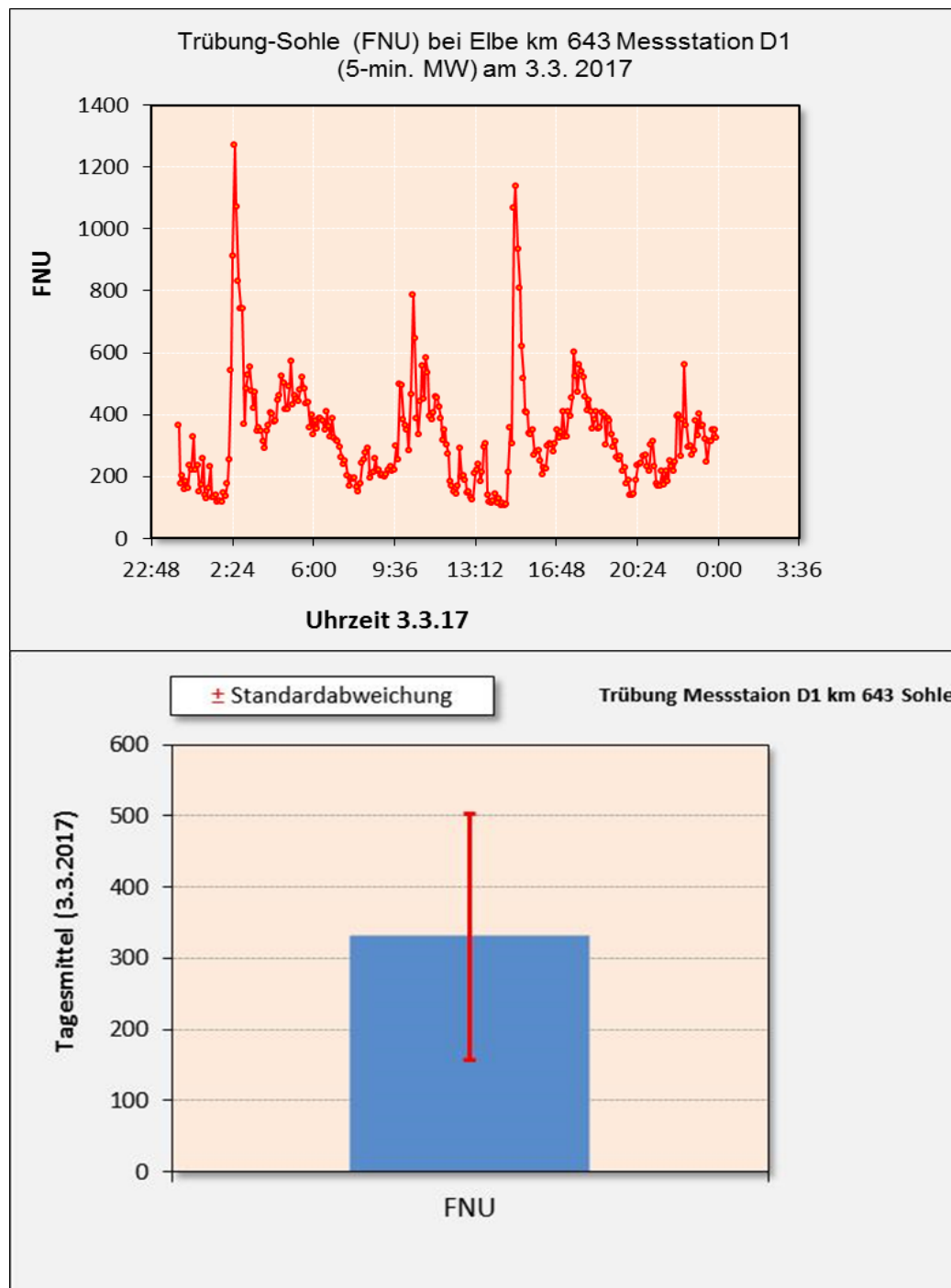


Abb. 13: Veränderungen der Schwebstoffkonzentration (FNU) durch den Gezeiteneinfluss. Oben: Tagesgang am Beispiel der Messstation bei Elbe km 643 für den 03.03.2017. TNW ca. 2:00 & 14:30 Uhr, THW: ca. 7:00 & 19:30 Uhr. Unten: Mittlere Trübung und Standardabweichung. MW = Messwerte.

3.2.2.2 Physikalisch/chemische Parameter

Temperatur

Die Temperaturverhältnisse im Versuchsraum (nicht klimatisiert) erwiesen sich als recht stabil, kurzfristige Schwankungen der Luft-Außentemperaturen wurden deutlich abgefedert. Zu Beginn (22.02.2022) betrug die Wassertemperatur knapp 7 °C. Zum Ende der zweiten Versuchsreihe (28.04.2022) stiegen die Temperaturen bis ca. 12 °C an. Zu keinem Zeitpunkt war die Wassertemperatur höher als 13 °C (vgl. Abb. 14). Auf eine zusätzliche Kühlung des Wassers bzw. des Versuchsraums konnte also verzichtet werden.

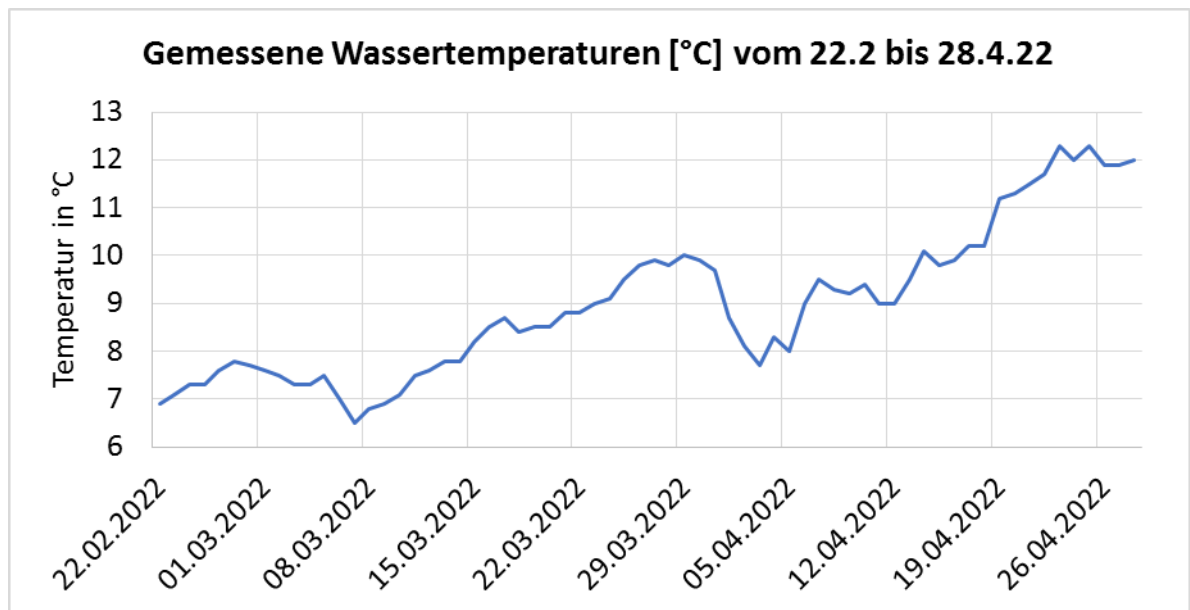


Abb. 14: Gemessene Wassertemperaturen (Tagesmesswerte) in der Hälterungsanlage vom 22.02.2022 bis 28.04.2022.

Sauerstoff, pH-Wert, Leifähigkeit, Salinität

Die täglich gemessenen Sauerstoffwerte lagen über den gesamten Versuchszeitraum bei > 10 mg/l O₂ und somit im Optimalbereich. Dies gilt für alle Versuchsreihen.

Der pH-Wert, die Leitfähigkeit und die Salinität wurden nicht täglich gemessen, da diese Parameter v. a. durch die hohe Wasserwechselquote weitgehend stabil blieben. Der pH-Wert lag in einem alkalischen Bereich von etwa 7,8 - 7,9; die Leitfähigkeit bei etwa 350 µS/cm.

3.2.3 Schlupfrate auf verschiedenen Sedimenten

Der Versuch zielte auf die Schlupfrate von Stinteiern, die auf unterschiedlichen Substraten (Flusssand und Schlick) sowie zur Kontrolle auf unbedecktem d.h. sedimentfreiem Glasboden exponiert wurden. Ein Vergleich sollte Hinweise auf einen möglichen Einfluss der Sedimentbeschaffenheit auf den Schlupferfolg der Stinteier liefern.

Für jedes Substrat wurden 3 parallele Versuche angesetzt. Die Eier wurden am 03.03.2022 eingebracht, der erste Schlupf wurde am 22.03. dokumentiert, was einer Dauer von 29 Tagen zwischen Befruchtung (am 21.02.) und Schlupf entspricht. Die relativ lange Entwicklungszeit resultiert aus den durchgängig niedrigen Wassertemperaturen von etwa 7 - 9 °C während dieser Phase. Ab dem 25.03.2022 wurden keine Larven oder befruchteten Eier mehr gefunden und der Versuch am Folgetag beendet. Die Ergebnisse des Versuchs zeigt Tab. 2.

Tab. 2: Anzahl geschlüpfter Stintlarven von jeweils 100 eingesetzten vitalen Eiern pro Aquarium, auf den Substraten Sand, Schlick und unbedeckter Glasboden.

Datum	B 1 Glas	B 2 Glas	B 3 Glas	B 4 Sand	B 5 Sand	B 6 Sand	B7 Schlick	B8 Schlick	B9 Schlick
22.03.22	55	60	52	56	72	95	-	-	-
23.03.22	5	15	27	27	19	5	-	-	-
24.03.22	-	2	8	8	3	-	-	-	-
25.03.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26.03.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gesamt	55	77	87	91	94	100	0	0	0
Mittelwert	73			95			0		

Die substratspezifischen Ergebnisse zeigen deutliche Unterschiede (s. Tab. 2). Die höchste Schlupfrate wurde in allen Versuchen mit Sandboden dokumentiert (Schlupferfolg von 91% - 100%), darauf folgten mit etwas Abstand die Eier auf dem Glasboden ohne Substrat (55% - 87%).

Sehr eindeutig ist das Ergebnis für die drei Aquarien, die mit Schlick befüllt waren. Hier trat keinerlei Schlupf auf. Es ist anzunehmen, dass die Eier in das feine Sediment eingesunken sind und damit eine ausreichende Sauerstoffversorgung nicht mehr gewährleistet war, begünstigt durch fehlende Umspülung und möglicherweise Zehrungsprozessen der organischen Bestandteile im Schlick. Die Gründe für die Unterschiede zwischen Sand- und Glasboden lassen sich dagegen nicht eindeutig benennen, möglicherweise hat aber das feine Porensystem des Sandes eine insgesamt etwas bessere Umspülung der Eier gewährleistet und die Ausbreitung eines geschlossenen Biofilms im Auflagebereich der Eier gedrosselt.

Stinteier haften unter natürlichen Bedingungen bis zum Schlupf lagestabil am Substrat. Die Ergebnisse machen plausibel, dass ästuarine Bereiche mit schlickiger Sohle nicht als Laichgebiet geeignet sind (u.a. tideoffene Hafenbecken und Seitenbereiche).

Untersuchungsbedarf besteht mit Blick auf die Frage, ob und in welchem Umfang ggf. auch eine verstärkte temporäre Sedimentation von Schwebstoffen während der Kenterphasen auf Stinteier zu einer Reduzierung der Schlupfraten führt.

3.2.4 Erhöhte Trübung während des Dottersackstadiums

Für den Versuch wurden frisch geschlüpfte Larven von Weserstinten verwendet. Über einen volumenbasierten Ansatz wurden rechnerisch jeweils 785 Larven pro Aquarium eingesetzt (s. Kap. 3.1.3). Nach einer Laufzeit von 10 Tagen wurden die Larven aus den 3 Ansätzen (Schlicktrübung, Bentonittrübung, keine Schwebstoffzugabe) entnommen und gezählt. Die Ergebnisse zeigt Tab. 3.

Tab. 3: Überleben von Stintlarven im Dottersackstadium nach 10 Tagen Exposition von: a) Bentonittrübung, b) Schlicktrübung c) keine Schwebstoffzugabe. Überlebensrate ist bezogen auf rechnerisch 1.570 Larven/ Ansatz.

Ansatz	Becken	Anzahl exponierter Larven (hochgerechneter MW)	Anzahl vitaler Larven (gezählt)	Überlebensrate (rechnerisch)	Summe vitaler Larven (gezählt)	Überlebensrate, Mittelwert (rechnerisch)
	Nr.					
a) Bentonit (mittlere Trübung rd. 550 NTU)	1	jeweils 785	493	63%	1.031	66%
	2		538	69%		
b) Schlick (mittlere Trübung rd. 150 NTU)	3		600	76%	1.138	72%
	4		538	69%		
c) keine Schwebstoffzugabe	5		291	37%	775	49%
	6		484	62%		

Anmerkung: Wie bereits in Kap. 3.1.3 erläutert, zeigte sich bei der Auszählung der Teilproben eine sehr hohe Varianz der enthaltenen Anzahlen von Larven: Die Individuenzahl lag zwischen 80 und 284 Larven/50 ml. Hieraus ergibt sich eine Standardabweichung von $s = 81,02$, dies entspricht einem hohen Variationskoeffizienten von 51,6%. Vor diesem Hintergrund ergibt sich eine größere Unsicherheit bezüglich der tatsächlich eingebrachten Larvenzahlen pro Versuchsbecken. Näheres hierzu wird im Methodikteil dargelegt (Kap. 3.1.3).

Die geringste mittlere Überlebensrate von rechnerisch 49% wurde für den Ansatz ohne Schwebstoffzugabe ermittelt, die Werte für die beiden Ansätze mit Trübung liegen in einer vergleichbaren Größenordnung zueinander. Vor dem Hintergrund der bisherigen Erfahrungen aus Phase 2 (Stintaufzucht in 2021 ohne Zugabe von Schwebstoffen) erscheinen die Befunde für den Ansatz ohne Trübung unplausibel, da hier bezogen auf die entsprechende Lebensphase der Stintlarven (Dottersackphase, endogene Nährstoffversorgung) deutlich geringere Ausfälle ($< 10\%$) zu verzeichnen waren. Erhöhte Sterblichkeit trat in Phase 2 erst im Anschluss an die Dottersackphase auf.

Die Gründe für die beobachteten Ergebnisse können an dieser Stelle nicht weiter geklärt werden, es ist jedoch nicht unwahrscheinlich, dass auch der volumenbasierte Ansatz (s.o.) und die damit nicht sicheren bzw. unterschiedlichen Individuenzahlen je Aquarium einen Einfluss hatte.

Des Weiteren schwankte auch die Trübung im Verlauf der Zeit in den Becken mit Schwebstoffzugabe deutlich und unterschritt z.B. in Einzelfällen über die Nachtphase ohne eine Aufmischung der Sedimente Werte von 100 NTU. Im Schnitt wurden in den Becken mit Bentonittrübung ca. 550 NTU, in denen mit Schlicktrübung 150 NTU erreicht und lagen damit nur recht wenig unter den mittleren Zielwerten. Diese tägliche Variabilität ähnelt der natürlichen tidebedingten, in der Unterelbe allerdings anthropogen verstärkten, Variabilität (s. Kap. 3.2.2.1).

Auf der vorliegenden Grundlage der Überlebensraten ergeben keine deutlichen Hinweise darauf, dass die verwendeten Schwebstoffkonzentrationen zu einer Schädigung der Entwicklung im Dottersackstadium geführt haben. Insgesamt sind die rechnerisch ermittelten Überlebensraten vor dem Hintergrund der oben angesprochenen Unsicherheiten (im Wesentlichen tatsächliche Larvenzahlen, bedingt auch Trübungswerte) nur eingeschränkt belastbar.

3.2.5 Erhöhte Trübung nach dem Dottersackstadium

Der als Hauptversuch benannte Ansatz wurde in zwei Durchläufen durchgeführt, dabei wurden wie in Kap. 3.1.4 erläutert jeweils 500 vitale Stinteier in die Becken eingesetzt. Diese wurden händisch ausgezählt, so dass verlässlich gleiche Ausgangszahlen je Versuchsbecken gewährleistet war.

Der erste Durchlauf wurde mit Eiern bzw. Larven von Weserstinten, der zweite mit Larven von Elbstinten durchgeführt. Die Expositionsversuche (d.h. die Sedimentzugaben) wurden erst begonnen, als eine sichtbare Aufnahme von Nahrung durch die Larven stattfand.

Die Expositionsdauer betrug jeweils 14 Tage. Anschließend wurden die überlebenden Larven gezählt. Tab. 3 und Abb. 15 zeigen die Ergebnisse für Weser- und Elbstinte differenziert für die Parallelen (n = 4) jedes Ansatzes:

- A1) Hohe Trübung, mittlerer Zielwert ≥ 600 NTU,
- A2) Mittlere Trübung, mittlerer Zielwert rd. 300 NTU,
- A3) Kontrollgruppe ohne Schwebstoffzugabe (nur „green water“).

Ergänzend zeigt Abb. 16 die entsprechenden Überlebensraten in % auf Basis der Medianwerte gemeinsam für beide Versuchsdurchläufe.

Tab. 4: Überleben von Stintlarven nach dem Dottersackstadium und nach 14 Tagen Exposition von: 1) Hoher Trübung, 2) Mittlerer Trübung 3) Keine Schwebstoffzugabe. Überlebensrate ist bezogen auf 500 eingesetzte vitale Eier pro Aquarium.

Parallele	Weser			Elbe		
	vitale Larven pro Aquarium	Überlebensrate	mittlere Überlebensrate	vitale Larven pro Aquarium	Überlebensrate	mittlere Überlebensrate
1) Hohe Trübung	342	68%	54%	327	65%	56%
	300	60%		314	63%	
	273	55%		240	48%	
	162	32%		238	48%	
2) Mittlere Trübung	352	70%	66%	321	64%	60%
	350	70%		303	61%	
	347	69%		288	58%	
	279	56%		282	56%	
3) Keine Schwebstoffzugabe (nur green water)	354	71%	52%	73	15%	4%
	303	61%		4	1%	
	270	54%		1	0%	
	106	21%		0	0%	

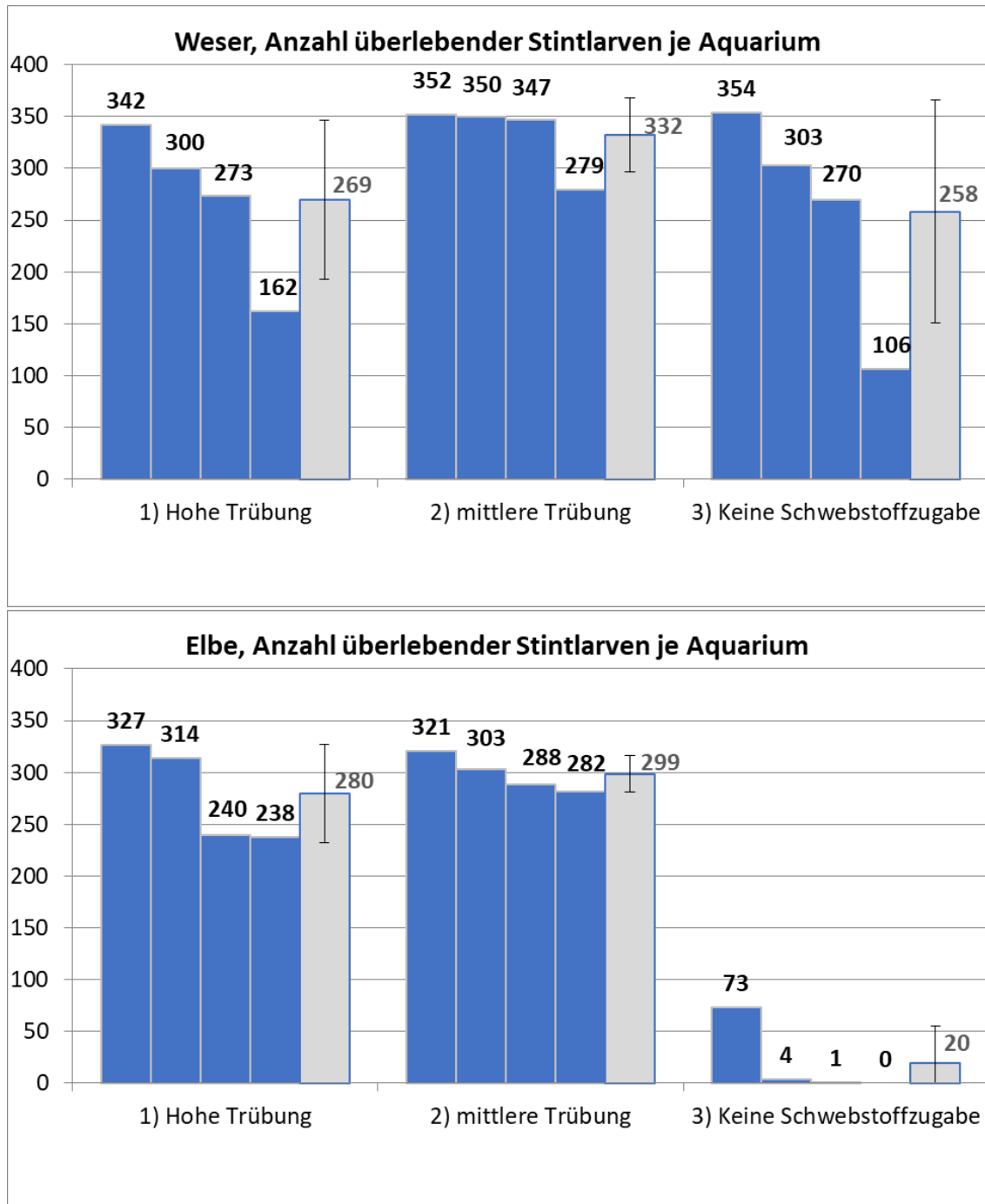


Abb. 15: Anzahl vitaler Larven, ausgehend von 500 eingesetzten Eiern je Aquarium nach 14 Tagen Exposition von verschiedenen Schwebstoffgehalten. Grauer Balken= Mittelwert mit Darstellung der Standardabweichung.

Die mittleren Anzahlen der überlebenden Stinte der Ansätze A1 (hohe Trübung) und A2 (mittlere Trübung) zeigen für beide Versuchsdurchläufe relativ geringe Unterschiede und auch die Kontrollgruppe (A3, keine Schwebstoffzugabe) der Weserstinte weist eine vergleichbare Überlebensrate auf. Die höchste mittlere Überlebensrate erreichte in beiden Durchläufen jeweils der Ansatz A2 (mittlere Trübung). Die Unterschiede gegenüber den anderen Ansätzen (hohe Trübung, Kontrollgruppe) sind aber, vor dem Hintergrund der Spannbreite aller bei den Einzelbecken beobachteten Werte, nicht geeignet um daraus eine Aussage darüber abzuleiten zu können, ob möglicherweise eine „moderate“

Trübung die Überlebensrate der Stintlarven positiv beeinflusst, wobei verschiedene Studien für den europäischen Stint und verwandte Arten Hinweise darauf geben (z.B. Illing *et al.*, 2024; Pasparakis *et al.*, 2023).

Sehr deutlich heben sich die Befunde für die Kontrollgruppe (A3) der Elbstinte ab. Hier überlebten von den 2.000 (je 500 pro Aquarium) eingesetzten reifen Eiern insgesamt lediglich 77 Individuen, was einer mittleren Überlebensrate von nur 4% entspricht, in den einzelnen Becken lag sie hierbei zwischen 0 und 15% (s. Tab. 4).

Der deutlich abfallende Wert bei der Kontrollgruppe (A3) der Elbstintlarven wird als „Ausreißer“ eingeschätzt und daher nachfolgend nicht berücksichtigt. Begründung: Die geringe Überlebensrate resultiert aus einer hohen Massensterblichkeit, die innerhalb zweier Tage (23.04.2022 & 24.04.2022) auftrat. Die Ursache für die massiven Ausfälle in einem relativ kurzen Zeitraum lässt sich nicht eindeutig eruieren⁸, es ist jedoch nahezu auszuschließen, dass der Faktor Trübung bzw. geringe Trübung hier eine Rolle gespielt hat. Dafür sprechen auch die Ergebnisse aus dem Jahr 2021 (Vorversuch ohne Sedimentzugabe) bei denen keine massiven Sterblichkeitsschübe auftraten und die Ergebnisse des Ansatzes „A3 Weserstinte“. Die Ergebnisse für den Ansatz „A3 Elbstinte“ sind damit bezüglich des Faktors Trübung ohne Aussagekraft.

Die einfache Varianzanalyse der Befunde (s. Abb. 16) zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Ansätzen ($p > 0,2$). Für den Ansatz „ohne Schwebstoffzugabe“ (nur Weserstinte) zeigen die Ergebnisse hierbei jedoch eine relativ hohe Spannweite der Einzelergebnisse (s. Abb. 15 (Standardabweichung und Abb. 16 (25. Und 75. Perzentil)).

⁸ Ein temporärer externer Eintrag von Schadstoffen aus dem Leitungswassersystem (Bautätigkeiten im Bereich der Lagerhalle) wird aufgrund der Beobachtungen nicht ausgeschlossen, das zeitsynchrone Auftreten der Ausfälle in allen 4 Parallelen des Ansatzes „A3 Elbstinte“ spricht zumindest für einen exogenen Eintrag (aus dem Leitungswassersystem). Möglicherweise hat die adsorbierende Wirkung der Tonminerale eine Sterblichkeit in den anderen Aquarien verhindert, unabhängig davon ob es sich hierbei um einen externen Eintrag von Schadstoffen aus dem Leitungswassersystem (Bautätigkeiten im Bereich der Lagerhalle), oder um eine endogene Belastung z.B. durch Ammoniakfreisetzung aus Futterresten gehandelt hat.

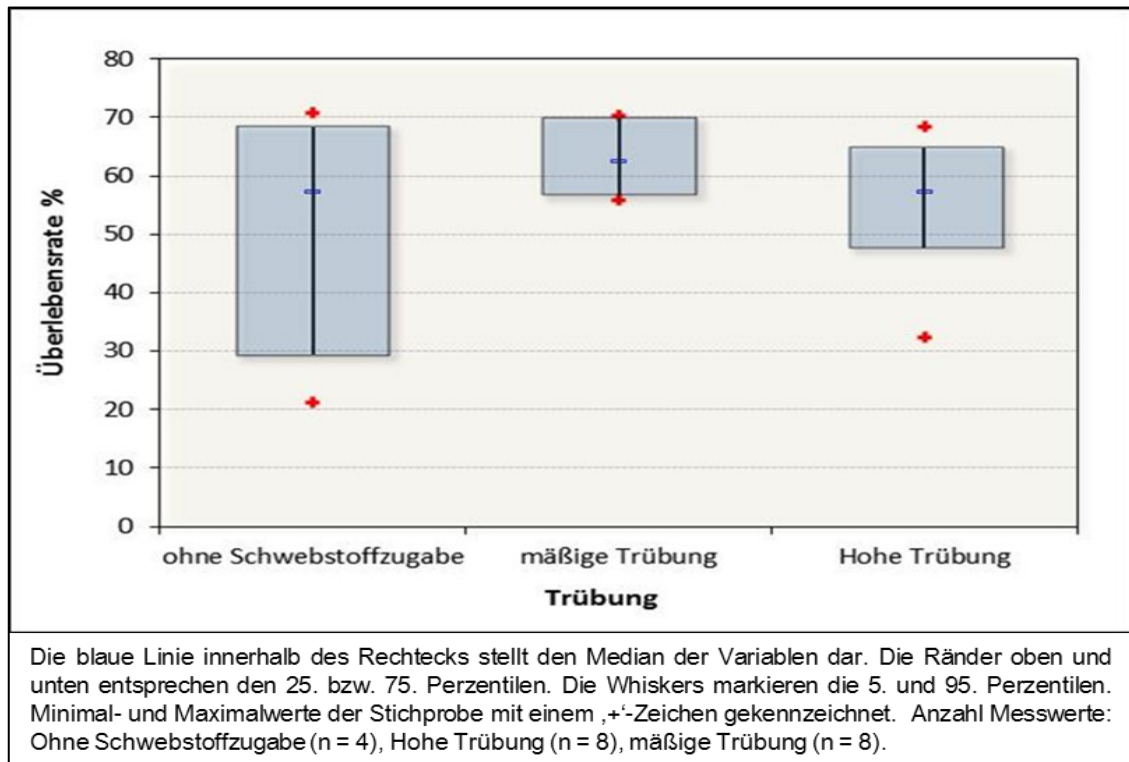


Abb. 16: Überlebensraten [%] von Larven nach 14 Tagen Exposition von verschiedenen Schwebstoffgehalten. Bei der Reihe „ohne Schwebstoffzugabe“ wurde keine Elbprobe berücksichtigt.

4. Diskussion

Befruchtungsraten und Eientwicklung

Die Prozedur des Abstreifens und die Entfernung der Haftfähigkeit der Eier für eine „flotierende“ Erbrütung erwiesen sich als probat für die Gewinnung befruchteter Eier und eine effiziente Erbrütung. Das Verfahren ermöglicht des Weiteren das gezielte Handling von einzelnen Eiern (Selektion, Zählung, Umsetzen).

Entscheidend für eine hohe Befruchtungsrate scheint die Auswahl vitaler Laichtiere zu sein, das Abstreifen der Laichprodukte sollte deshalb zu Beginn der Laichzeit erfolgen. So konnten beim Abstreifen der Weserstinte am 21.02.2022 große Mengen an Laichprodukten je Tier gewonnen werden, die Befruchtungsrate war hierbei hoch (rd. 80 - 85%). Die am 15.03.2022 abgestreiften Elbstinte hatten offensichtlich z.T. schon abgelaicht, die Tiere befanden sich in einer herabgesetzten physischen Kon-dition und es konnten nur wenige Laichprodukte pro Individuum gewonnen werden und die befruch-tungsrate war mit ca. 20% gering.

Da ein hoher Anteil unbefruchteter Eier in den Ansätzen zu einer Verkeimung führen kann und dem-entsprechend ein hoher Selektionsaufwand entsteht, ist es für weitere Untersuchungen (oder gene-rell die Produktion von Stinten) empfehlenswert, die Laichprodukte möglichst zu Beginn der Laichsai-son zu gewinnen. Es ist auch nicht auszuschließen, dass eine Gewinnung von befruchteten Eiern von nicht optimal konditionierten Elterntieren einen negativen Einfluss auf die Vitalität der Eier selbst hat und somit die späteren Überlebensraten der Larven mitbestimmt.

Allgemeine Rahmenparameter (Trübung und physikalisch chemische Parameter)

Die Einhaltung eines geeigneten und naturnahen Temperaturbereichs erwies sich am gewählten Standort (unbeheizte Halle) über den Versuchszeitraum von Ende Februar bis Ende April auch ohne zusätzliche Maßnahmen als unproblematisch, selbiges gilt auch für die Gewährleistung ausreichend hoher Sauerstoffkonzentrationen. Der pH-Wert und die Leitfähigkeiten blieben über die Versuchs-dauer durch die Verwendung von abgestandenem Leitungswasser, bei hohen täglichen Wasserwech-selraten, weitgehend konstant und sind ebenfalls als unproblematisch eizuordnen.

Ein temporärer externer Eintrag von Schadstoffen aus dem Leitungswassersystem (Bautätigkeiten im Bereich der Lagerhalle), der möglicherweise die Ursache für einen Sterblichkeitsschub bei einer Versuchsparallele war, lässt sich nicht ausschließen (s. Kap. 3.2.5).

Natürliches schlickhaltiges Sediment erwies sich, aufgrund von Aggregatbildung der enthaltenen Par-tikel, als nur eingeschränkt verwendbar. Als besser geeignet erwies sich hier die Verwendung von mineralischem Bentonit-Substrat. Allerdings trat auch dabei nach einigen Tagen eine Partikelaggre-gation auf, wahrscheinlich induziert durch die Bildung von Biofilmen.

Die Einstellung und der Erhalt definierter Trübungswerte über einen längeren Zeitraum erwiesen sich insgesamt als schwierig und trotz hohen Aufwands als nur eingeschränkt umsetzbar. Mess- und Regeltätigkeiten für mögliche Folgeuntersuchungen wären deshalb in einem engen zeitlichen Inter-vall vorzusehen bzw. soweit wie möglich zu automatisieren. Trotz der relativ großen Amplitude der

Trübung im Zeitverlauf (s. Kap. 3.2.2.1) lagen die absoluten Werte der verschiedenen eingestellten Trübungen in einem Rahmen, wie er auch im Elbästuar auftritt. Mit Blick auf den zeitlichen Verlauf von Phasen mit hoher und niedrigerer Trübung zeigen sich dagegen deutlichere Unterschiede zwischen dem tidezyklischen Ablauf im Ästuar und der Versuchsanlage. In der Versuchsanlage ergab sich die zeitliche Trübungsamplitude durch den Ablauf der Pflegetätigkeiten: So traten niedrige Werte über Nacht und während der Wasserwechselphasen auf. Eine exaktere Übertragung der Verhältnisse im Elbästuar (zeitliche Amplitude) ließe sich nur mit einem sehr hohen zeitlichen und technischen Aufwand realisieren.

Schlupfrate auf verschiedenen Sedimenten

Die Ergebnisse zeigen eindeutig, dass eine erfolgreiche Entwicklung von Stinteiern auf überwiegend schlickigen Substraten nicht zu erwarten ist. In drei Aquarien, die mit Schlicksubstrat bestückt waren, trat keinerlei Schlupf auf. Es ist anzunehmen, dass die Eier aufgrund ihres relativ hohen spezifischen Gewichts in das feine Sediment eingesunken sind und damit eine ausreichende Sauerstoffversorgung nicht mehr gewährleistet war, durch fehlende Umspülung und möglicherweise auch Zehrungsprozessen der organischen Bestandteile im Schlick. Die Gründe für die erfassten Unterschiede der mittleren Schlupfrate zwischen Sand- und Glasboden (Sand: 95%, Glas 73%, s. Kap.3.2.3) lassen sich dagegen nicht eindeutig benennen, möglicherweise hat aber das feine Porensystem des Sandes eine insgesamt etwas bessere Umspülung der Eier gewährleistet und die Ausbreitung eines geschlossenen Biofilms im Auflagebereich der Eier gedrosselt, so dass hier die mittlere Schlupfrate etwas höher war als bei den Eiern auf Glasboden.

Die Ergebnisse machen plausibel, dass ästuarine Bereiche mit schlickiger Sohle nicht als Laichgebiet geeignet sind (u.a. tideoffene Hafenbecken und Seitenbereiche). Ob und in welchem Umfang eine temporäre Sedimentation von Schwebstoff während der Kenterphasen auf sandigen Substraten auch zu einer Reduzierung der Schlupfraten führt, sollte untersucht werden.

Erhöhte Trübung während des Dottersackstadiums

Die Ergebnisse liefern keine erkennbaren Hinweise darauf, dass die verwendeten Schwebstoffkonzentrationen zu einer Schädigung der Stintlarven im Dottersackstadium geführt haben. Der Befund ist allerdings nur eingeschränkt aussagekräftig, da die Anzahl von eingesetzten Stintlarven in den einzelnen Parallelen über einen volumenbasierten Ansatz durchgeführt wurde, der zu gewissen nicht quantifizierten Ungenauigkeiten mit Blick auf die tatsächliche Larvendichte geführt hat. Hierbei wurde aus einem Hälterungsbecken mit hoher Larvendichte ein definiertes Volumen entnommen und zu gleichen Teilen auf die Untersuchungsaquarien verteilt vor dem Hintergrund der Annahme, dass die Larven durch das vorhergehende Aufwirbeln des Wasserkörpers, gleichmäßig verteilt sind. Auf Basis der Auszählung von Kontrollproben zeigte sich aber, dass je entnommener Volumeneinheit eine sehr hohe Spannbreite enthaltener Larven möglich ist (s. Kap. 3.1.3 & 3.2.4). Aus diesem Grund sind auch deutlichere Abweichungen der tatsächlich eingesetzten gegenüber den rechnerisch ermittelten Larvenanzahlen pro Untersuchungsaquarium nicht auszuschließen. Die hier gemachte Beobachtung, dass erhöhte Schwebstoffkonzentrationen nicht zu einer Schädigung der Entwicklung von Dottersacklarven zu führen scheinen, müsste ggf. über einen angepassten Versuchsaufbau mit einer exakteren Quantifizierung der eingesetzten Larvenzahl je Aquarium bestätigt werden.

Erhöhte Trübung nach dem Dottersackstadium

Die Ergebnisse zeigen, bei relativ hoher Variabilität der Überlebensraten zwischen den Aquarien innerhalb der einzelnen Ansätze (ein Ansatz= 4 Aquarien je Trübungsstufe), erstaunlich ähnliche Befunde zwischen den Ansätzen. Das gilt sowohl beim Vergleich der Ansätze innerhalb der beiden Durchläufe als auch zwischen den beiden Durchläufen (Weser-/Elbstinte).

Die mittlere Überlebensrate lag bei allen Ansätzen zwischen 52 und 66% (eine Ausnahme bildet die „Kontrollgruppe Elbstinte“ mit einer mittleren Überlebensrate von nur 4% (in den einzelnen Aquarien 0 - 15%), der hier -wie oben bereits angemerkt- nicht berücksichtigt wird; s. Kap. 3.2.5). Da für den Besatz in den einzelnen Aquarien reife Eier kurz vor dem Schlupf verwendet wurden (500 je Aquarium), war eine exakte Zählung möglich, hierdurch war gewährleistet, dass die einzelnen Versuchsaquarien quantitativ gleich besetzt waren.

Die eher geringen Unterschiede zwischen den Ansätzen waren statistisch nicht signifikant (Kruskal Wallis $p < 0.1$) und geben keine plausiblen Hinweise auf mögliche Auswirkungen hoher Trübung auf die Überlebensraten nach der Dottersackphase, also wenn eine aktive Nahrungsaufnahme der Larven bereits erforderlich ist. Es sei jedoch darauf verwiesen, dass sowohl aufgrund der Spreizung der hier ermittelten Ergebnisse innerhalb der Ansätze (s.o.) und auch der Problematik der Aufrechterhaltung der angestrebten Schwebstoffgehalte dennoch gewisse Unsicherheiten der Aussagekraft verbleiben. Für eine Absicherung der Befunde sind weitere Untersuchungen notwendig, die die Datenbasis durch eine entsprechende Anzahl von Versuchsdurchläufen weiter vergrößern.

Bezüglich des Einflusses von verschiedenen Trübungswerten auf Stintlarven liegt mittlerweile eine weitere aktuelle Studie von Illing *et al.* (2024) vor. Die Versuche wurden ebenfalls im Jahr 2022 durchgeführt, sie bestanden aus vier Durchläufen für die jeweils unterschiedlich alte Larven verwendet wurden (18, 19, 25 und 26 Tage nach Schlupf). In jedem der vier Durchläufe wurden Larven in 2-Liter-Hälterungsbecher mit 5 verschiedenen Trübungsstufen (100, 200, 300, 400 & 500 NTU) + einer Kontrollgruppe für jeweils 4 Stunden eingesetzt, nachdem sie vorher für 14 Stunden ohne Futter gehalten wurden um sicher zu stellen, dass sie zu Versuchsbeginn keine Nahrung im Verdauungstrakt haben. Die Trübung wurde, wie auch bei den im vorliegenden Bericht dargestellten Versuchen, mit Bentonit hergestellt. Je Versuchsdurchlauf wurden 4 Hälterungsbecher je Trübungsstufe + 4 Hälterungsbecher für die Kontrollgruppe verwendet, die mit jeweils 20 Larven bestückt wurden.

Die Auswertung der Versuchsergebnisse ergaben laut Illing *et al.* (2024), dass eine akute Exposition gegenüber hoher Trübung (≥ 300 NTU) sich negativ auf den Beutekonsum (Fraßerfolg) von Stintlarven auswirkt. Ein Optimum der Nahrungsaufnahmerate wurde bei einer Trübung zwischen 100 und 200 NTU ermittelt, was nach Aussage der Autoren beweist, dass sich eine mäßige Trübung positiv auf die Beuteaufnahme auswirkt. Ab Trübungswerten von > 300 NTU zeigten sich laut Illing *et al.* (2024) neben einer geringeren Aufnahmerate von Nährtieren auch verminderte Überlebensraten der Larven. Für jüngere Larven (18 und 19 Tage nach Schlupf) zeigte sich hierbei über eine Analyse mittels eines statistischen Modells (predicted Bayesian posterior distributions) ein deutlicher Zusammenhang zwischen abnehmender Überlebensrate und erhöhter Trübung von etwa 1% je Trübungsstufe (300, 400 und 500 NTU). Für etwas ältere Larven (25 und 26 Tage nach Schlupf) geben Illing *et al.* (2024) an, dass es zwar Hinweise auf leicht erhöhte Mortalität mit steigender Trübung ab 300 NTU gibt, sich die Gesamtüberlebensrate aber nicht Unterschied zwischen den verwendeten Trübungsstufen (100, 200, 300, 400 und 500 NTU).

Die in Illing *et al.* (2024) dargestellten Ergebnisse unterscheiden sich von denjenigen, die im Rahmen der hier dargestellten Versuche ermittelt wurden, letztere lieferten – wie beschrieben – keine deutlichen Hinweise auf reduzierte Überlebensraten der Stintlarven durch erhöhte Trübungswerte (auf bestehende Unsicherheiten ist hingewiesen, s.o.).

Die Gründe für die unterschiedlichen Befunde der jeweiligen Versuche lassen sich hier nicht klären, da die Versuchsaufbauten unterschiedlich waren, Tab. 5 zeigt die entsprechenden Eckdaten der beiden Versuchsreihen. Möglicherweise spielt die sehr unterschiedliche Expositionsdauer eine Rolle (14 Tage vs. 4 Stunden). Die Versuche und die entsprechenden statistischen Modellierungen von Illing *et al.* (2024) zeigten vor allem für jüngere Larven einen deutlicheren Zusammenhang zwischen erhöhter Mortalität und höherer Trübung; bei älteren Larven gab es zwar Hinweise, aber die Gesamtüberlebensrate unterschied sich laut Illing *et al.* (2024) nicht zwischen den Trübungsstufen (s.o.). Im Rahmen unserer Versuche wurde die Mortalitätsrate für die beiden Durchläufe jeweils erst nach 14 Tagen Exposition ermittelt, ob eine erhöhte Sterblichkeit hierbei eher zu Beginn des Versuches unter den noch sehr jungen und damit möglicherweise noch empfindlicheren Larven auftrat, lässt sich nicht beantworten.

Ähnlich wie bei Illing *et al.* (2024) beschrieben, zeigen sich allerdings Hinweise, dass bei einer „moderaten“ Trübung die Überlebensrate (wohl in Abhängigkeit von der Nahrungsaufnahme) gegenüber „hoher“ und „keiner“ Trübung am günstigsten sein könnte; so lag der Mittelwert der Überlebensrate in den Aquarien mit mittlerer Trübung (ca. 300 NTU) in beiden Durchläufen unserer Versuchsreihe über dem jeweiligen Mittelwert der Aquarien mit hoher Trübung (ca. 600 NTU) und den Aquarien ohne Schwebstoffzugabe. Die Unterschiede waren aber gering und statistisch gesehen nicht signifikant (s. Kap.3.2.5 und Abb. 15).

Tab. 5: Rahmendaten der jeweiligen Versuchsreihen von Illing *et al.* und Bioconsult im Jahr 2022.

Versuchsreihe und Jahr der Durchführung	Parallelen/Durchlauf	Durchläufe	Exposition (h)/Durchlauf	Ind./Parallele	Ind./Durchlauf	Ind./ges.
Illing <i>et al.</i> , 2022	6 (NTU: 100, 200, 300, 400, 500 & Kontrolle)	4	4	80	480	1.920
BioConsult, 2022	3 (NTU: 300, 600 & Kontrolle)	2	336	500	1.500	3.000

Wie bereits oben erwähnt, sind für eine Absicherung der Befunde zur Auswirkung von Trübung auf Stintlarven weitere Untersuchungen notwendig, die die Datenbasis durch eine entsprechende Anzahl von Versuchsdurchläufen weiter vergrößern. In diesem Zusammenhang ist auch eine Weiterentwicklung der Versuchsansätze sinnvoll, um mit möglichst standardisierten Methoden und reproduzierbaren Versuchsbedingungen belastbare Ergebnisse erzielen zu können. Hier ist vor allem darauf zu achten, dass weitere wichtige Einflussfaktoren, wie z.B. die Nährtierdichte in der Versuchsanlage (s. hierzu nächsten Absatz), oder der Einfluss des Ernährungszustandes der Tiere zu Beginn der Versuche, entsprechend mit untersucht und möglichst kontrollierbar gestaltet werden.

Die Nährtierdichte ist als bedeutsamer Faktor anzusehen. Der Zielwert für die Nährtierdichte in den Versuchsaquarien lag entsprechend des Verfahrens von McCarthy *et al.* (2020) bei 5 - 10 Ind./ml (bzw. 5.000 bis 10.000 Ind./l), in unserem Fall wurde hierfür das Süßwasserrädertierchen *Brachionus calyciflorus* verwendet, im Verlauf des Wachstums der Stintlarven ergänzt durch eine sparsame Zugabe von *Artemia*-Nauplien (Zielwert < 300 Nauplien/l). Diese Werte stellen eine sehr gute Versorgungsgrundlage dar. Ein direkter Vergleich mit den Zooplanktondichten der Elbe ist hierbei schwierig, da die Planktondichte sehr starken saisonalen Varianzen unterliegt und auch zwischen einzelnen Jahren und räumlich innerhalb des Ästuars deutliche Unterschiede auftreten können. Insgesamt ist die zur Verfügung stehende Datengrundlage begrenzt. Hinweise ergeben sich aber aus den Arbeiten von Matthiesen (2019) und der Auswertung von Daten der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) die im Rahmen dieses Projektes im Teilbericht „Untersuchungen zur Abundanzdynamik des Stints 2000 bis 2023“ und der möglichen Ursachen“ (BioConsult 2025) betrachtet wurden. Aus den BfG-Daten zu den Planktondichten in 15-Tageszeiträumen für die Monate April bis Juni wird ersichtlich, dass im Langzeitmittel (2003 - 2020) die mittlere Zooplanktondichte (Crustacea + Rotifera) im April über 300 Ind./l liegt. Die geringsten Durchschnittswerte wurden mit < 100 Ind./l im Juni erfasst. Die saisonale Verteilung zeigt den typischen Peak des Zooplanktons im Frühjahr. In Matthiesen (2019) wurden Ergebnisse von Zooplanktonuntersuchungen an 5 Stationen aus dem Jahr 2018 ausgewertet. Die Dichteverteilung des Zooplanktons zeigte räumlich und saisonal sehr große Unterschiede.

Ein Vergleich der Befunde aus der Elbe mit den Bedingungen in der Versuchsanlage zeigt, dass die mittleren Futtertierdichten während der Aufwuchszeit der Stintlarven in der Elbe deutlich niedriger sind, als diejenigen die im Rahmen der Versuche verwendet wurden. Hierbei sei aber darauf hingewiesen, dass die Stintlarven positiv phototaktisch reagieren und tendenziell die oberen Wasserschichten aufsuchen. Selbiges Verhalten trifft auch auf einen größeren Teil des Zooplanktons zu, so dass davon auszugehen ist, dass im Freiland aufgrund der Verhaltensbiologie der Stintlarven diejenigen Zonen aufgesucht werden in denen typischerweise lokal höhere Zooplanktondichten auftreten. Zudem sei angemerkt, dass die in der Elbe vorkommenden Nährorganismen, hier v.a. die Copepoden und insbesondere *Eurytemora affinis*, einen höheren Nährwert besitzen als Rädertierchen (Rotifera) und die Biomasse der einzelnen Individuen zudem im Schnitt deutlich über demjenigen der Rotifera liegt. Letztlich bleibt jedoch offen, ob niedrigere Futtertierdichten in der Versuchsanlage zu stärkeren Effekten der eingestellten Trübungswerte auf die Überlebensraten geführt hätten.

Abschließend sei bezüglich der potenziellen Auswirkungen erhöhter Trübung erwähnt, dass eine aktuelle Auswertung zur Populationsentwicklung des Stints und möglicher Einflussfaktoren zeigt, dass seit ca. 2020 die Stintabundanz in der Elbe wieder schwach zunimmt, dieser Zunahme stehen allerdings keine abnehmenden Trübungswerte gegenüber; die Daten für 2019 - 2023 zeigen allenfalls keine weitere deutliche Zunahme der bis 2018 stark angestiegenen Trübungswerte. Aus den Entwicklungen in den letzten Jahren wird also kein direkter Zusammenhang zwischen Trübung und Stintabundanzen deutlich (BioConsult 2025). Hieraus lässt sich allerdings nicht zwangsläufig ableiten, dass die erhöhte Trübung keinen Einfluss auf den Reproduktionserfolg des Stintes haben kann, da die Kombination einer Reihe von Faktoren im Freiland immer eine große Rolle spielt.

5. Fazit

Die durchgeführte Untersuchung (Phase 1) diente der Entwicklung von Methoden zur Stützung der Population des Elbstints durch eine Larvenaufzucht in Aquakultur. Es konnte gezeigt werden, dass sich in Aquakultur aus abgestreiften Eiern Larven entwickeln und diese auch geeignetes Futter annehmen und abwachsen.

Des Weiteren diente die Untersuchung (Phase 2) der Überprüfung der Hypothese, dass die anthropogen erhöhten Schwebstoffkonzentrationen in der inneren Unterelbe möglicherweise die Reproduktion des Stints beeinträchtigen. Eine besondere Herausforderung für den Aufbau und die Durchführung der Versuche stellte die Einstellung hoher Schwebstoffkonzentrationen bei hohen Wasserwechselraten und die Simulation der für das Elbästuar charakteristischen tidebedingten Dynamik der Schwebstoffkonzentrationen dar. Sowohl die angestrebten Mittelwerte als auch die Schwankungsbreite konnte in etwa hergestellt werden, allerdings wich die zeitliche Dynamik recht deutlich ab. Zusammen mit der aufgrund des hohen erforderlichen Personaleinsatzes eingeschränkten Anzahl von Parallelen und Versuchsansätzen und verbleibenden methodischen Einschränkungen führt dies zu Einschränkungen hinsichtlich der Belastbarkeit der Ergebnisse bezüglich der Überlebensraten der Larven. Für das Eistadium zeigten die Versuche dagegen sehr eindeutig, dass eine erfolgreiche Ei-entwicklung auf weichen schlickigen Substraten nicht zu erwarten ist. Bei einer u.U. zunehmenden Verschlickung der Ästuar, könnte so die räumliche Ausdehnung geeigneter Laichhabitate des Stints reduziert werden.

Trotz der oben genannten Einschränkungen deuten die Ergebnisse auch für das Larvenstadium an, dass die erhöhten Schwebstoffkonzentrationen keinen massiven Einfluss auf die Überlebensrate der Stintlarven zu haben scheinen, sowohl im Dottersackstadium als auch in der Phase mit Nahrungsaufnahme. Es sei allerdings auch darauf hingewiesen, dass eine aktuelle Studie von Illing et al. (2024), die ebenfalls den Einfluss verschieden hoher Trübungswerte auf Stintlarven untersucht hat (s. Kap. 4), zu einem anderen Ergebnis kommt. Laut Illing et al. (2024) zeigen die Versuchsergebnisse, dass eine akute Exposition von Stintlarven gegenüber hoher Trübung (≥ 300 NTU) sich negativ auf den Beutekonsum (Fraßerfolg) von Stintlarven auswirkt und auch die Sterblichkeit mit weiter steigenden Trübungswerten zunimmt.

Um klare Ergebnisse hinsichtlich des Trübungseinflusses zu erzielen, müssten weitere umfangreiche Untersuchungen erfolgen, bevor die Hypothese einer möglichen Beeinträchtigung der Reproduktion des Stints durch anthropogen erhöhte Schwebstoffkonzentrationen zurückgewiesen werden kann. Eine aktuelle Auswertung zeigt, dass der Stintbestand der Elbe nach einem deutlichen Rückgang in den Jahren von ca. 2020 - 2023 wieder einen tendenziell positiven Entwicklungstrend aufwies (BioConsult 2025). In diesem Zusammenhang wäre zu klären, inwieweit eine höhere Trübung sich als Kofaktor im Zusammenspiel mit verschiedenen (vor allem niedrigen) Dichten von Nährtieren auf die Überlebensraten bzw. das Wachstum der Stintlarven in „schlechten Jahren“ auswirken könnte.

6. Anhang

Nebenversuch: Dauermessungen der Trübung mittels Arduino-System

Die eingesetzten Arduino-Sonden erfassen Veränderungen der Trübung als Spannungsunterschiede in Volt. Hierbei sinkt die Spannung je höher die Lichtextinktion zwischen den beiden optischen Rezeptoren der Sensoren ist, d.h. mit steigender Trübung nimmt die erfasste Spannung ab.

Eine genaue Umrechnung von Spannung zu NTU war nicht möglich, v.a. weil bei der NTU-Messung mit der Handsonde keine exakten Einzelwerte, sondern bei jeder Messung aufgrund von Wolkenbildung der im Wasser enthaltenen Partikel ein mehr oder weniger großer Schwankungsbereich erfasst wurde. Zudem kam es über die Zeit zu einer Ablagerung von Sediment an den Sensoren des Arduino-Systems, was zwischen den manuellen Reinigungen der Sensoren zu scheinbar erhöhten Trübungswerten führte; auch traten teilweise Spannungsschwankungen an den einzelnen Sensoren des Systems auf.

Mittels verschiedener Regressionsgleichungen (linear, logarithmisch, exponentiell) wurde versucht eine möglichst gute Kalibrierung zu erreichen. Die Annäherung für eine Umrechnung der Spannungswerte zu NTU unter Anwendung der Regressionsgleichungen zeigt Abb. 17.

Defizite der Anpassung zeigen sich über das gesamte Spektrum der erfassten Trübungswerte, jedoch insbesondere dort, wo mit der Handsonde hohe NTU-Werte erfasst wurden (s. Abb. 18). Die Daten liefern jedoch in Kombination mit den Sondenmesswerten generelle Hinweise zum zeitlichen Verlauf der Trübungsintensität.

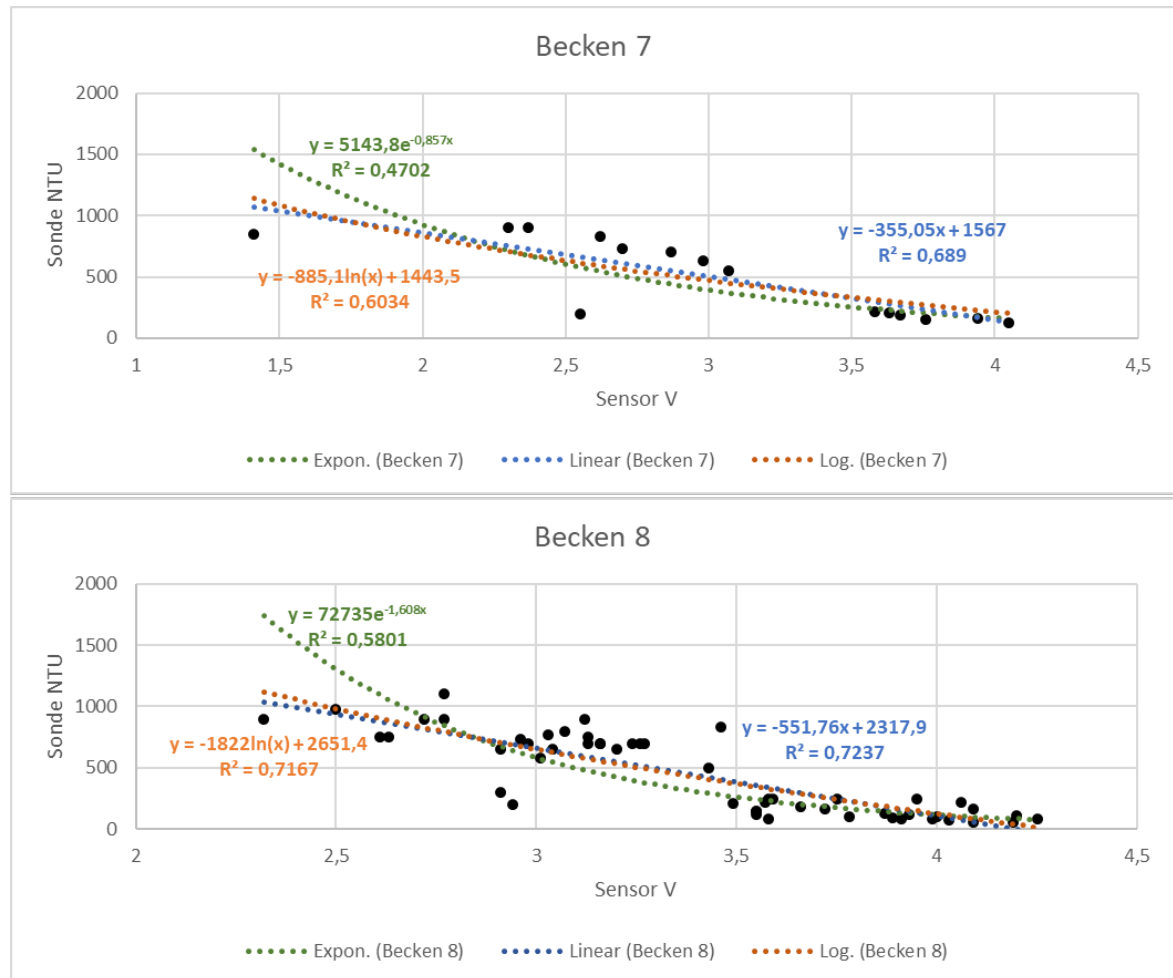


Abb. 17: Umrechnungsansätze von Spannung (Arduino- Sensoren) in NTU über verschiedenen Regressionsgleichungen (linear, exponentiell, logarithmisch).

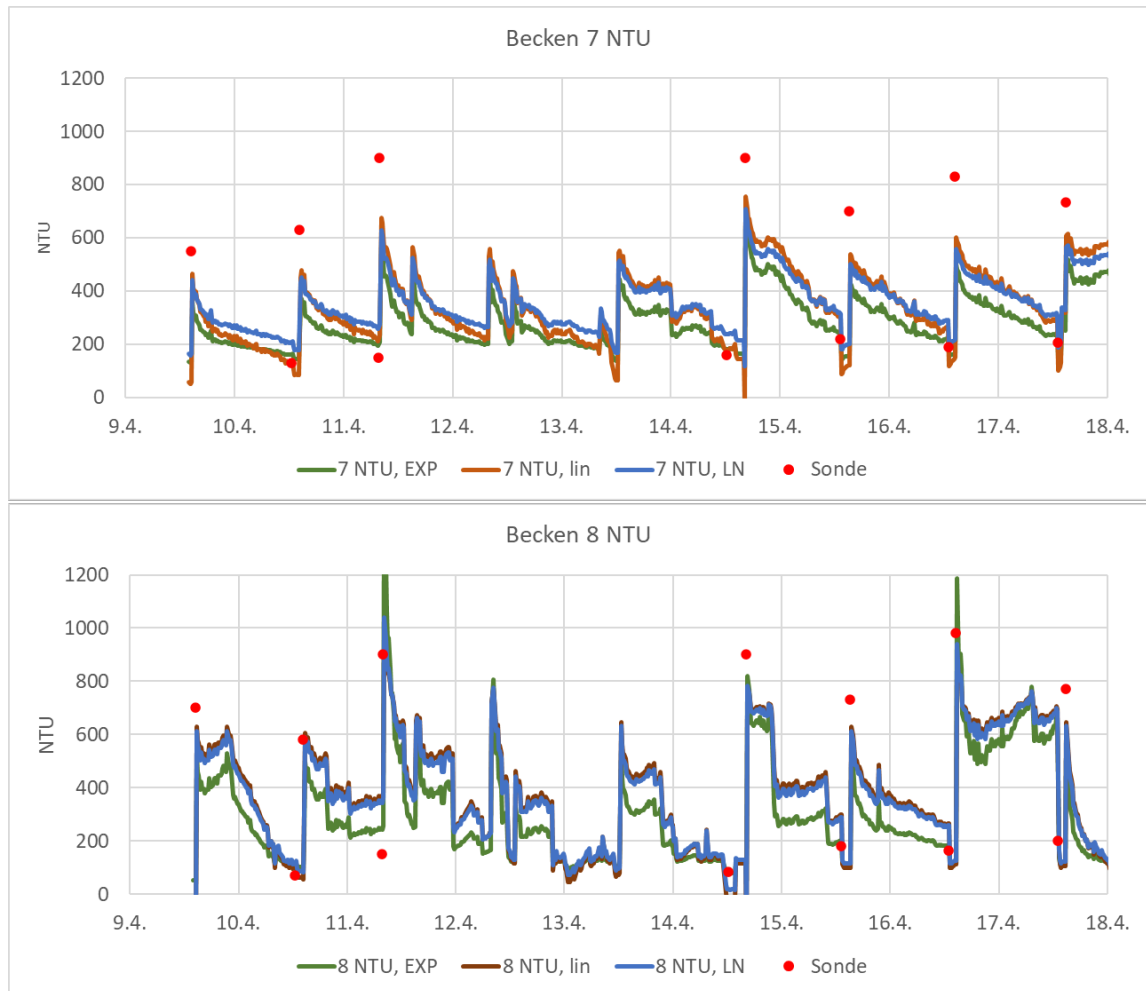


Abb. 18: Ergebnisse der Anwendung verschiedener Regressionsgleichungen (linear, exponentiell, logarithmisch), exemplarisch für 2 Sensoren.

Typische Tagesverläufe der Trübungsintensität zeigt exemplarisch Abb. 19. Auf Basis der Messungen lassen sich charakteristische Phasen erkennen. Im Vergleich relativ niedrige Trübungswerte wurden plausibler Weise während der Nachtphase erreicht, da aufgrund des „langen“ Zeitraumes ohne Sedimentzugabe/-aufmischung die Sedimentation zu einer deutlichen Abnahme der Schwebstoffgehalte im Wasser führte. Eine schnelle und starke Zunahme der Trübung wurde bei der Aufmischung und der Zugabe von Sediment erkennbar. Während der Wasserwechselphase ergab sich dagegen ein charakteristischer Verlauf bei dem es zu einer deutlichen und relativ schnellen Abnahme der Trübung kam. Zum Ende der Wasserwechselphase wurden, wie auch morgens vor der ersten Sedimentaufmischung, die im Vergleich geringsten Tageswerte der Trübung erfasst.

Des Weiteren traten Effekte auf, die nicht vom tatsächlichen Schwebstoffgehalt abhingen. So zeigte sich in der Tendenz eine gegen Abend/Nacht scheinbar zunehmende Trübung, die vermutlich durch zwei Faktoren beeinflusst war, erstens einer abnehmenden Lichtintensität durch die automatische Dimmphase der Beleuchtung und zweitens einer Sedimentablagerung an den Sensoren. In mehreren Datensätzen wurde um den Zeitpunkt der vollständigen Abschaltung der Beleuchtung eine schnelle und deutliche Zunahme der Spannung verzeichnet (scheinbare Abnahme der Trübung), bevor diese ebenfalls schnell und deutlich wieder abfällt (scheinbare Zunahme der Trübung). Die kurzfristige

Zunahme der Spannung lässt sich nicht plausibel erklären, hängt aber sicherlich nicht von der tatsächlichen Trübung ab.

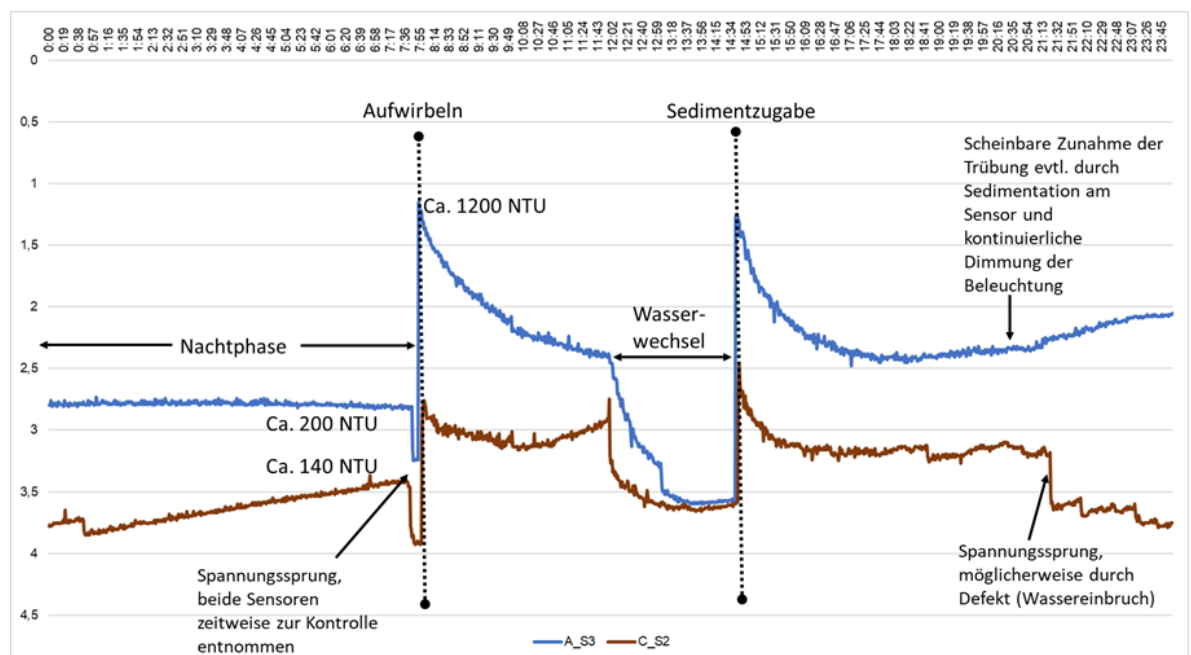
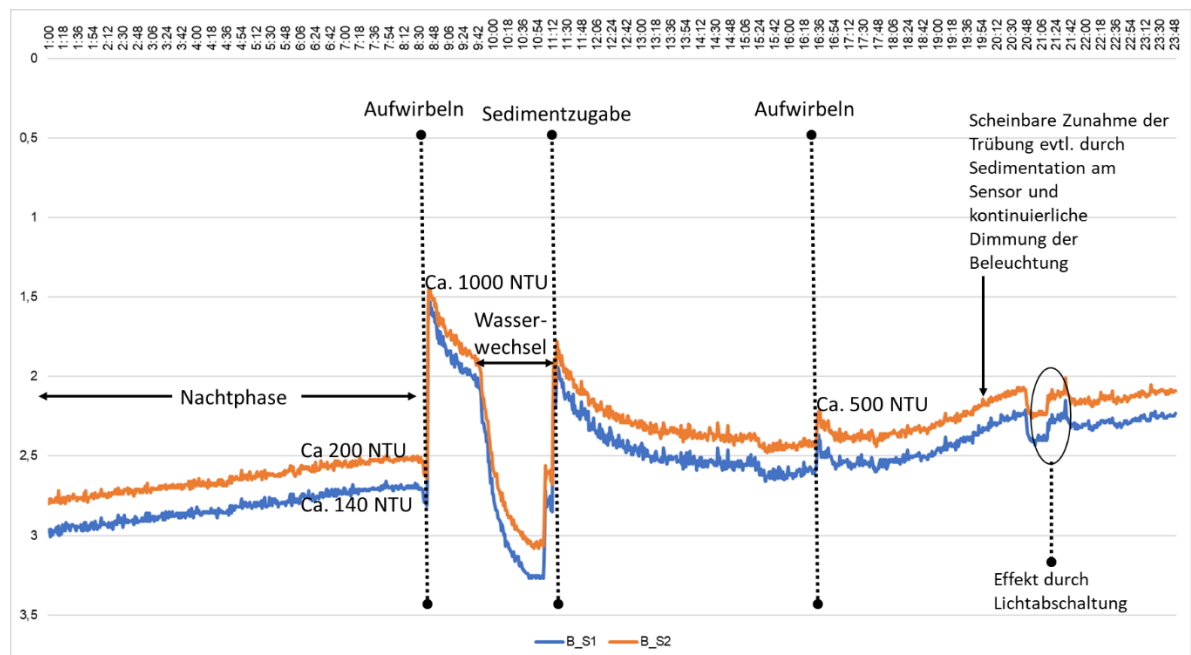


Abb. 19: Dauermessung, exemplarischer Verlauf der Trübungsentwicklung über 24 Stunden am Beispiel zweier Tagesgänge (oben: 06.04.2022, unten 20.04. 2022) Y-Achse ist in Volt angegeben. Sensoren A_S3 & B_S1 in Becken des Ansatzes 1 „hohe Trübung“, Sensoren B_S2 & C_S2 in Becken des Ansatzes 2 „mittlere Trübung“. Angaben der NTU-Bereiche aus Messungen mit der Handsonde.

Literatur

- BIOCONSULT, 2020: Analyse längerfristiger Daten zur Abundanz verschiedener Altersklassen des Stints (*Osmerus eperlanus*) im Elbästuar. Teil 2: Mögliche Einflussfaktoren. Im Auftrag der Stiftung Lebensraum Elbe, Hamburg.
- BIOCONSULT, 2021: Untersuchung zu möglichen Ursachen des aktuellen Rückgangs des Stints in der hamburgischen Unterelbe. Teil 3: Labor- und Freilanduntersuchungen sowie Datenanalysen, Zwischenbericht 2. Im Auftrag der Stiftung Lebensraum Elbe, Hamburg.
- BIOCONSULT (2025): Untersuchungen zur Abundanzdynamik des Stints 2000 bis 2023 und der möglichen Ursachen. Studie im Auftrag der Stiftung Lebensraum Elbe.
- ILLING B., SEHL D., REISER S., 2024: Turbidity effects on prey consumption and survival of larval European smelt (*Osmerus eperlanus*). *Aquatic Sciences* (2024) 86:84, <https://doi.org/10.1007/s00027-024-01103-9>.
- MATTHIESEN, L. A., 2019: Abundanzen, Wachstum und Nahrungsökologie von Stintlarven in der Tide Elbe. Masterarbeit, Universität Hamburg, 90 S.
- McCarthy, I.D., Ian D., N. J. E. Jones, D.M. Moore, D. L. Berlinsky, 2020: Determining the optimum temperature and salinity for larval culture, and describing a culture protocol for the conservation aquaculture for European smelt *Osmerus eperlanus* (L). *Journal of Applied Ichthyology*, DOI:10.1111/jai.13992.
- PASPARAKIS C., LOHROFF, T., BIEFEL, F., COCHERELL, D.E., CARSON, E.W., HUNG, T.C., CONNON, R.E., FANGUE, N.A. & AND A. TODGHAM, 2023: Effects of turbidity, temperature and predation cue on the stress response of juvenile delta smelt. *Conservation Physiology*, Vol. 11, 16 p.