

Aktionsplan invasive Arten: Machbarkeitsstudie zur Maßnahme Migrationsbarrieren in Kanälen

Julius Gorenz, Melina Klarl, Joachim Pander,
Jürgen Geist und Stefan Nehring (Hrsg.)

BfN-Schriften

704

2024





Bundesamt für
Naturschutz

Aktionsplan invasive Arten: Machbarkeitsstudie zur Maßnahme Migrationsbarrieren in Kanälen

Herausgegeben von:

Julius Gorenz

Melina Klarl

Joachim Pander

Jürgen Geist

Stefan Nehring

Impressum

Titelbild: Das Schiffshebewerk Henrichenburg überwindet den 14 Meter hohen Geländesprung zwischen Datteln und Waltrop im Verlaufe des 1899 eröffneten Dortmund-Ems-Kanal, der die Wasserscheide zwischen Rhein und Ems überbrückt (© S. Nehring)

Adressen der Herausgeberin und der Herausgeber:

M. Sc. Julius Gorenz	Technische Universität München, School of Life Sciences Weihenstephan,
M. Sc. Melina Klarl	Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie, Mühlenweg 22, 85354 Freising
Dr. Joachim Pander	E-Mail: julius.gorenz@tum.de
Prof. Dr. Jürgen Geist	E-Mail: melina.klarl@tum.de
	E-Mail: joachim.pander@tum.de
	E-Mail: geist@tum.de

Dr. Stefan Nehring	Bundesamt für Naturschutz, Fachgebiet II 1.2 „Botanischer Artenschutz“
	Konstantinstraße 110, 53179 Bonn
	E-Mail: stefan.nehring@bfn.de

Fachbetreuung im BfN:

Dr. Stefan Nehring	Bundesamt für Naturschutz, Fachgebiet II 1.2 „Botanischer Artenschutz“
	Konstantinstraße 110, 53179 Bonn

Förderhinweis:

Gefördert durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) (FKZ: 3521 82 0100).

Diese Veröffentlichung wird aufgenommen in die Literaturdatenbank „DNL-online“ (www.dnl-online.de).

BfN-Schriften sind nicht im Buchhandel erhältlich. Eine pdf-Version dieser Ausgabe kann unter www.bfn.de/publikationen heruntergeladen werden.

Institutioneller Herausgeber: Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstr. 110
53179 Bonn
www.bfn.de

Der institutionelle Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des institutionellen Herausgebers übereinstimmen.



Diese Schriftenreihe wird unter den Bedingungen der Creative Commons Lizenz Namensnennung – keine Bearbeitung 4.0 International (CC BY - ND 4.0) zur Verfügung gestellt (creativecommons.org/licenses).

Druck: Druckerei des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV)

Gedruckt auf 100% Altpapier

ISBN 978-3-89624-466-6

DOI 10.19217/skr704

Bonn 2024

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
Abstract	6
1 Übergreifende Einführung und Fragestellung zur Maßnahme Migrationsbarrieren in Kanälen	
Stefan Nehring, Julius Gorenz, Melina Klarl, Joachim Pander und Jürgen Geist	7
2 Recherche und Analyse zum aquatischen Faunen- und Florenttransfer durch Kanäle	
Stephanie Rüegg, Julius Gorenz, Sebastian Beggel, Andreas Dobler, Philipp Hoos, Melina Klarl, Markus Hoffmann, Joachim Pander und Jürgen Geist	12
2.1 Einführung ins Thema	12
2.2 Methodische Grundlagen	14
2.2.1 Begriffsklärung / Definitionen.....	14
2.2.2 Erläuterung des Auswahlprinzips der Kanäle.....	15
2.2.3 Aquatische taxonomische Gruppen.....	15
2.2.4 Recherche und Analyse	16
2.3 Allgemeine Erkenntnisse zum Faunen- und Florenttransfer durch Kanäle	16
2.4 Erkenntnisse zum Faunen- und Florenttransfer durch Kanäle in Europa	19
2.5 Erkenntnisse zum Faunen- und Florenttransfer durch Kanäle in Deutschland	21
2.5.1 Verantwortliche Pfade und Verkehrswege.....	21
2.5.2 Spezifische Erkenntnisse zu taxonomischen Gruppen.....	27
2.6 Resümee.....	45
2.7 Wissenslücken	57
2.8 Quellen	59
3 Recherche und Analyse zu Maßnahmen als Migrationsbarrieren in Kanälen	
Julius Gorenz, Melina Klarl, Joachim Pander und Jürgen Geist	76
3.1 Einführung ins Thema	76
3.2 Methodische Grundlagen	77
3.3 Maßnahmen zur Verhinderung oder Minimierung des Transfers von Organismen in Kanälen	77
3.3.1 Physikalische Maßnahmen.....	77
3.3.2 Chemische Maßnahmen	92
3.4 Resümee.....	97
3.5 Quellen	101

4	Recherche und Analyse zu Kenndaten und Priorisierung von Kanälen in Deutschland	
	Julius Gorenz, Melina Klarl, Joachim Pander, Jürgen Geist und Stefan Nehring	111
4.1	Einführung ins Thema	111
4.2	Steckbriefe der Kanäle Deutschlands	112
4.2.1	Dortmund-Ems-Kanal	115
4.2.2	Elbe-Lübeck-Kanal	120
4.2.3	Elbe-Seitenkanal	124
4.2.4	Ems-Jade-Kanal	128
4.2.5	Finowkanal	131
4.2.6	Oder-Havel-Kanal	135
4.2.7	Küstenkanal	140
4.2.8	Main-Donau-Kanal	143
4.2.9	Mittellandkanal	148
4.2.10	Nord-Ostseekanal	152
4.2.11	Oder-Spree-Kanal	157
4.3	Priorisierungskonzept für Kanäle	161
4.3.1	Grundkriterien	162
4.3.2	Hauptkriterium mit Priorisierungsstufen	163
4.3.3	Sortierung innerhalb der Priorisierungsstufe	165
4.4	Priorisierung der deutschen Kanäle	165
4.4.1	Priorität 1	167
4.4.2	Priorität 2	167
4.4.3	Priorität 3 und Priorität 4	169
4.6	Quellen	170
5	Prüfung der Machbarkeit von Maßnahmen als Migrationsbarrieren in Kanälen	
	Julius Gorenz, Melina Klarl, Joachim Pander, Jürgen Geist und Stefan Nehring	174
5.1	Einführung ins Thema	174
5.2	Prüfung der Machbarkeit von Maßnahmen als Migrationsbarrieren in Kanälen ..	174
5.2.1	Physikalische Maßnahmen	175
5.2.2	Chemische Maßnahmen	180
5.3	Resümee	184
5.4	Quellen	185
6	Empfehlungen zur Vorbereitung und Umsetzung der zweiten Aktionsphase	
	Stefan Nehring, Julius Gorenz, Melina Klarl, Joachim Pander und Jürgen Geist	190
	Literaturverzeichnis	193

Zusammenfassung

Im Rahmen des durch Deutschland erstellten Aktionsplans der Verordnung (EU) Nr. 1143/2014 sind Maßnahmen für 14 prioritäre Pfade festgelegt worden, die die nicht vorsätzliche Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten verhindern sollen. Unter den prioritären Pfaden tragen Schifffahrtskanäle wesentlich zur Ausbreitung gebietsfremder aquatischer Arten bei, da sie auf natürliche Weise voneinander getrennte Einzugsgebiete von Gewässern künstlich verbinden und terrestrische Ausbreitungsgrenzen auflösen. Da bisher in Deutschland keine hinreichenden Erfahrungen vorliegen, wie eine selbständige Ausbreitung von gebietsfremden aquatischen Arten wirksam verhindert werden kann, wurde im Aktionsplan als erste umzusetzende Maßnahme die Erstellung einer Machbarkeitsstudie zu Migrationsbarrieren und technischen Absperrungen in Schifffahrtskanälen festgeschrieben.

In der vorliegenden Machbarkeitsstudie wurden auf Basis einer umfassenden Literaturrecherche und mit Hilfe von Experteninterviews die wesentlichen Erkenntnisse zum Floren- und Faunentransfer durch Kanäle sowie zu weltweit eingesetzten und potentiell möglichen Technologien zur Verhinderung oder Minimierung des Transfers recherchiert, analysiert und bewertet. Darüber hinaus wurde ein Priorisierungskonzept für Kanäle erarbeitet und in Anwendung gebracht, um die deutschen Schifffahrtskanäle zu benennen, in denen eine Installation dieser Technologien fachlich besonders sinnvoll wäre.

Die Ergebnisse zeigen, dass die unabsichtliche Ausbreitung gebietsfremder und insbesondere invasiver Arten durch Schifffahrtskanäle die biologische Vielfalt in deutschen Gewässern stark gefährdet. Es sind schon heute Technologien verfügbar, die insbesondere bei Fischen die Migration stark einschränken, sogar ganz verhindern können. Es wird empfohlen, mindestens diese Technologien im Rahmen von Pilotvorhaben u.a. im als prioritär bewerteten Main-Donaukanal zu testen und mit entsprechender Grundlagenforschung zu begleiten. Barrieretechnologien, die auch bei anderen Organismengruppen wirksam wären, benötigen vor einem zielführenden Einsatz in Kanälen noch weitergehende Forschung, vor allem im Freiland und Anwendungsmaßstab. Zusätzlich müssen vor einer Maßnahmenumsetzung die erforderlichen rechtlichen Rahmenbedingungen hinreichend geprüft und mögliche Konflikte zwischen verschiedenen Sektoren und Zielvorstellungen frühzeitig erkannt und gelöst werden.

Die Machbarkeitsstudie zeigt auf, dass die Umsetzung technischer Maßnahmen in Schifffahrtskanälen schon jetzt möglich und unabdingbar zur Prävention biologischer Invasionen in Deutschland ist.

Abstract

As part of the action plan drawn up by Germany under Regulation (EU) No. 1143/2014, measures have been defined for 14 prioritized pathways to prevent the non-intentional introduction and spread of invasive alien species. Among the prioritized pathways, shipping canals contribute significantly to the spread of aquatic alien species, as they artificially connect naturally separated catchment areas of water bodies and dissolve terrestrial dispersal barriers. As there is not yet sufficient experience in Germany of how the independent spread of aquatic alien species can be effectively prevented, the first measure to be implemented regarding to the action plan, is the preparation of a feasibility study on technical migration barriers in shipping canals.

In this feasibility study, the main findings on flora and fauna transfer through canals and on technologies to prevent or minimize organism transfer, either used worldwide or potentially possible were researched, analyzed, and evaluated on the basis of a comprehensive literature review and with the help of expert interviews. In addition, a prioritization concept for canals was developed and applied in order to identify the German shipping canals in which the installation of these technologies would be most efficient.

The results show that the unintentional spread of alien and, in particular, invasive species through shipping canals poses a serious threat to biodiversity in German waters. Technologies are already available today that can severely restrict or even completely prevent migration, particularly in the case of fish. It is recommended that at least these technologies be tested as part of pilot projects, in particular in the Main-Danube Canal, which has been assessed as a priority, and accompanied by appropriate basic research. Barrier technologies that would also be effective against other groups of organisms than fish require further research, especially on a field- and application scale, before they can be used in canals. In addition, the necessary legal framework must be adequately examined and possible conflicts between different sectors and objectives must be identified and resolved at an early stage before any measures are implemented.

The feasibility study shows that the implementation of technical measures in shipping channels is already possible and indispensable for the prevention of biological invasions in Germany.

1 Übergreifende Einführung und Fragestellung zur Maßnahme Migrationsbarrieren in Kanälen

Stefan Nehring¹, Julius Gorenz², Melina Klarl², Joachim Pander² und Jürgen Geist²

¹ Bundesamt für Naturschutz, Bonn

² Technische Universität München, Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie, Freising

Schutz der biologischen Vielfalt

Mit der fortschreitenden Globalisierung der Märkte und der Zunahme des weltweiten Handels sowie des Fernreiseverkehrs treten Arten zunehmend außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes auf. Angesichts der prognostizierten Klimaerwärmung ist zukünftig mit einer weiteren Verstärkung dieser Dynamik zu rechnen. Im Naturschutz unterliegen diejenigen gebietsfremden Arten einer besonderen Beachtung, die relevante ökologische Schäden verursachen und daher als invasiv angesehen werden (CBD 2002). Invasive Arten können zudem Ökosystemdienstleistungen sowie ggfs. die menschliche Gesundheit und die Wirtschaft nachteilig beeinflussen (Vilà et al. 2010). Invasiven Arten kommt laut einer aktuellen Studie des Weltbiodiversitätsrates IPBES eine Schlüsselrolle beim weltweiten Biodiversitätsverlust zu (IPBES 2019). Prävention ist daher der beste Schutz gegen invasive Arten und nicht nur aus ökologischer Sicht sinnvoll, sondern auch kostenwirksamer als nachträgliches Handeln (Nehring 2015).

Die Vorsorge ist auch ein wesentlicher Schwerpunkt der am 1. Januar 2015 in Kraft getretenen Verordnung (EU) Nr. 1143/2014 über die Prävention und das Management der Einbringung und Ausbreitung invasiver Arten. Sie enthält Verbote und Beschränkungen u.a. zu Einfuhr, Handel, Besitz, Haltung und Zucht von invasiven Arten, um eine vorsätzliche Einbringung dieser Arten zu verhindern. Darüber hinaus wird in der Verordnung in Art. 13 auch die unbeabsichtigte Einbringung und Ausbreitung von invasiven Arten in der EU adressiert, um z.B. den Transport als unentdeckter Passagier mit Gütern oder das ungewollte Entkommen aus einer Haltung zu verhindern. In der Verordnung ist hierzu vorgesehen, dass jeder Mitgliedsstaat einen Aktionsplan für die Pfade entwickelt und in Kraft setzen soll, entlang derer ein Großteil der invasiven Arten jeweils eingeführt und ausgebracht wurden und sich ausgebreitet haben. Wegen der bisher relativ begrenzten Erfahrungen auf diesem Gebiet soll eine stufenweise Herangehensweise bei der Entwicklung von Maßnahmen verfolgt werden. Der Aktionsplan ist mindestens alle sechs Jahre zu überarbeiten, wobei in Deutschland das Bundesumweltministerium gemäß Bundesnaturschutzgesetz verantwortlich für die Erstellung des deutschen Aktionsplans ist.

Der erste deutsche Aktionsplan

Der erste deutsche Aktionsplan für die Pfade der nicht vorsätzlichen Einbringung und Ausbreitung invasiver Arten wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz entwickelt (F+E-Vorhaben FKZ 3518 82 0600) und durch das Bundesumweltministerium mit Bekanntmachung vom 21. Juni 2021 im Bundesanzeiger am 9. August 2021 veröffentlicht (BMU 2021).

Der Aktionsplan stützte sich auf eine vorangegangene Analyse, in der ermittelt wurde, welche Einbringungs- und Ausbreitungspfade invasiver gebietsfremder Arten für Deutschland als prioritär anzusehen sind (Rabitsch et al. 2018). Für jeden prioritären Pfad erfolgte eine Literatur-

recherche nach möglichen Maßnahmenvorschlägen, die mithilfe bilateraler Gespräche mit Expertinnen und Experten aller verantwortlichen Sektoren weiterentwickelt, gewichtet und konkretisiert wurden (Mayer et al. 2023a,b, 2024). Anhand eines Kriterienkatalogs wurden insgesamt 24 Maßnahmen für den Aktionsplan ausgewählt. Die Schwerpunkte dieser Maßnahmen sind es, die Öffentlichkeit und betroffene Fachkreise zu sensibilisieren sowie die Kontamination bspw. von Gütern, Fahrzeugen und Geräten durch invasive gebietsfremde Arten zu minimieren. Die Maßnahmenentwürfe durchliefen einen mehrstufigen Beteiligungs- und Abstimmungsprozess mit einer Länderanhörung, einer Öffentlichkeitsbeteiligung und einem Einvernehmen mit dem Bundesverkehrsministerium sowie dem Bundeslandwirtschaftsministerium, was eine breite Akzeptanz der Inhalte des Aktionsplans sicherstellte. Durch den Aktionsplan werden die jeweils für das Management der Pfade zuständigen Akteure in die Lage versetzt, die Bestimmungen des Art. 13 der Verordnung (EU) Nr. 1143/2014 umsetzen zu können.

Der prioritäre Pfad Kanäle

Im Rahmen der Priorisierung der Pfade nicht vorsätzlicher Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten in Deutschland wurde der Pfad „Eigenständige Bewegung entlang von Kanälen oder Wasserstraßen“ als prioritär eingestuft (Rabitsch et al. 2018). Dieser Pfad bezieht sich auf die selbständige Bewegung gebietsfremder Arten innerhalb oder entlang der Kanäle und Wasserstraßen, während die Verbringung mit „Ballastwasser“ bzw. „Bewuchs/Anlagerung am Schiffsrumpf“ als eigenständige Pfade betrachtet werden (vgl. BMU 2021).

Das deutsche Binnenwasserstraßennetz umfasst rund 7.476 Kilometer (ohne Seeschiffahrtsstraßen an den Küsten), wovon etwa 75 % auf Flüsse und 25 % auf Kanäle entfallen (DWSV 2023). Es wird als Verkehrsinfrastruktur für den internationalen Handel von Gütern (rund 4.800 km) und in geringerem Umfang für Erholung und Tourismus genutzt. Für die Nutzung relevant sind zudem verschiedene Anlagen (z.B. Schleusen, Wehre, Kanalbrücken, Häfen). Durch das Binnenwasserstraßennetz werden ursprünglich voneinander getrennte, benachbarte Flusseinzugsgebiete miteinander verbunden. Das europäische Wasserstraßennetz hat durchgängig befahrbare Wasserstraßen zwischen dem Schwarzen Meer und der Nord- und Ostsee sowie zwischen dem Mittelmeer und der Nordsee geschaffen. Von besonderer Bedeutung ist die Verbindung von Rhein und Donau seit der Öffnung des Main-Donau-Kanals im Jahr 1992. Auch wenn pontokaspische Arten aus dem Einzugsgebiet des Schwarzen Meeres, soweit es sich um in der EU einheimische Arten handelt, gemäß EU-VO Art. 4 Abs. 3 lit. a nicht für die Aufnahme in die Unionsliste in Frage kommen, sind zahlreiche invasive aquatische Arten auf diesem Pfad unabsichtlich nach Deutschland gelangt (Nehring et al. 2015, Rabitsch & Nehring 2017), und Maßnahmen könnten gemäß Artikel 11 (Invasive Arten von regionaler Bedeutung) oder Artikel 12 (Invasive Arten von Bedeutung für den Mitgliedstaat) umgesetzt werden.

Die Maßnahme Migrationsbarrieren in Kanälen

Im Rahmen des prioritären Pfades „Eigenständige Bewegung entlang von Kanälen oder Wasserstraßen“ sind im ersten deutschen Aktionsplan drei eigenständige Maßnahmen festgelegt worden (BMU 2021). Neben Anpassung des Managements des Uferbegleitgrüns ist auch eine Überprüfung und ggf. Weiterentwicklung von Fachdokumenten zur Unterhaltung von Bundeswasserstraßen hinsichtlich fach- und sachgerechtem Umgang mit gebietsfremden Tier- und Pflanzenarten vorgesehen. Die dritte Maßnahme greift das Problem auf, dass es bisher nur wenige Erkenntnisse darüber gibt, wie eine selbständige Ausbreitung von invasiven aquatischen Arten entlang von Kanälen und Wasserstraßen wirksam verhindert werden kann. Daher sollen im Rahmen der Maßnahme „Forschung zu Migrationsbarrieren und technischen

Absperrungen in Schifffahrtskanälen“ theoretische Grundlagen und Konzepte zur Verhinderung der selbständigen Ausbreitung invasiver Arten entlang von Schifffahrtskanälen erarbeitet werden. Die Maßnahme soll zur festgeschriebenen Minimierung der Kontaminierung in Bezug auf die Beförderung invasiver gebietsfremder Arten aus Drittländern gemäß EU-VO Art. 13 Abs. 4 lit. b beitragen. In der ersten Aktionsphase ist unter Federführung des Bundesamtes für Naturschutz eine entsprechende Machbarkeitsstudie durchzuführen und als Forschungsbericht zu veröffentlichen (BMU 2021). Hierbei sollen in Kooperation mit verschiedenen Sektoren (u.a. Schifffahrt, Fischerei) spezifische Grundlagen erarbeitet werden. Hierzu sind insbesondere verschiedene technische Maßnahmen (z.B. Feinrechen, Elektrosperren, Luftblasenvorhänge, Lichtblitze, akustische Signale, Reinigung von Schiffsrümpfen) auf Machbarkeit zu prüfen. Aus den Ergebnissen sollen anschließend in einer zweiten Aktionsphase Konzepte und Empfehlungen zur Errichtung von Barrieren und Absperrungen in Schifffahrtskanälen erarbeitet werden. Zielgruppe sind potenziell zukünftig Betreiber von Schifffahrtskanälen. Natürliche Gewässer sind hier vom Anwendungsbereich explizit ausgenommen (vgl. BMU 2021), da dort eine ungehinderte Durchgängigkeit für die natürlich vorkommende Flora und Fauna naturschutzfachlich geboten ist.

Die vorliegende Machbarkeitsstudie wurde im Rahmen des Ressortforschungsplans des Bundesumweltministeriums durch das Bundesamt für Naturschutz konzipiert und nach Ausschreibung als F+E-Vorhaben an die Technische Universität München, Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie vergeben. Das Vorhaben umfasste verschiedene Inhalte und Arbeitsschritte:

Recherche und Analyse zum Faunen- und Florentransfer durch Kanäle (siehe Kap. 2)

- Durchführung von Recherchen in Fachliteratur und durch Expertenbefragungen zu Ergebnissen und Erkenntnissen zum Vorkommen, zur Einbringung und zum Transfer von Organismen für deutsche (schiffbare und nicht schiffbare) Kanäle sowie zum Transfer von Organismen für (schiffbare und nicht schiffbare) Kanäle in anderen Staaten (EU- und weltweite Ebene), um einen umfassenden Überblick über den Stand des Wissens zu erlangen.
- Analyse der Rechercheergebnisse und Erkenntnisse zum Ausmaß der Einbringung und des Transfers von Organismen unter Berücksichtigung von Kanaltypen (u.a. Schiffbarkeit, Lebensraum), Organismengruppen (unter Nutzung sinnvoller taxonomischer Ebenen), verantwortlichen Pfaden sowie weiteren sinnvollen Parametern.

Recherche und Analyse zu Maßnahmen in Kanälen (siehe Kap. 3)

- Durchführung von Recherchen in Fachliteratur und durch Expertenbefragungen zu vorhandenen und möglichen technischen Maßnahmen (Einzel- und Kombinationssysteme) zur Verhinderung oder Minimierung der Einbringung und des Transfers von Organismen in (schiffbaren und nicht schiffbaren) Kanälen weltweit, um einen umfassenden Überblick über den Stand des Wissens zu erlangen.
- Analyse der Rechercheergebnisse und Erkenntnisse zu den Maßnahmen mit Beurteilung der Effektivität für einzelne Organismengruppen (unter Nutzung sinnvoller taxonomischer Ebenen) in Verbindung mit den jeweils verantwortlichen Pfaden.

- Auf Grundlage der Beurteilungen Prüfung auf weitergehende Erfordernisse zur Verhinderung oder Minimierung des Faunen- und Florentransfers durch Kanäle und Erarbeitung von Vorschlägen zur möglichen Steigerung der Effektivität unter Berücksichtigung von technischen und nicht technischen Maßnahmen.

Analyse und Priorisierung von Schifffahrtskanälen in Deutschland (siehe Kap. 4)

- Erarbeitung relevanter Kenndaten zur technischen Beschreibung eines Kanals sowie von Kriterien, die eine Priorisierung der Kanäle hinsichtlich ihrer Bedeutung für den Faunen- und Florentransfer ermöglichen. Zur Darstellung der Kenndaten und Kriterien ist ein entsprechendes Steckbriefformat zu entwickeln.
- Recherche zu den Kenndaten und Kriterien für die Schifffahrtskanäle, die in Deutschland mindestens zwei Flusseinzugsgebiete (Donau, Eider, Elbe, Ems, Maas, Oder, Rhein, Schlei/Trave, Warnow/Peene) verbinden, mit Erstellung entsprechender Steckbriefe.
- Analyse der Kenndaten und Kriterien mit Priorisierung der recherchierten Schifffahrtskanäle, für die Maßnahmen zur Verhinderung oder Minimierung des Faunen- und Florentransfers ergriffen werden sollten.

Prüfung der Machbarkeit von Maßnahmen in Kanälen (siehe Kap. 5)

- Unter Verwendung der erarbeiteten Ergebnisse, Erkenntnisse und Vorschläge Prüfung der Machbarkeit der technischen und nicht technischen Maßnahmen in deutschen Schifffahrtskanälen zur Verhinderung oder Minimierung des Faunen- und Florentransfers in Verbindung mit den jeweils verantwortlichen Pfaden, der Umweltauglichkeit, der Auswirkungen auf einheimische Arten, hinsichtlich von Aspekten des Tierschutzes sowie der wirtschaftlichen Beeinträchtigung von betroffenen relevanten Nutzern (z.B. Sport- und Berufsschifffahrt, Fischerei).
- Ergänzend sind bilaterale Gespräche mit Vertretern aller potenziell betroffenen Sektoren auf Ebene von Bundes- und Landesbehörden, Betreibern, Nutzern und weiteren Dritten zu führen, um dort vorliegendes Wissen zur möglichen Umsetzung der Maßnahmen in Schifffahrtskanälen bestmöglich verfügbar zu machen.

Empfehlungen zur Vorbereitung und Umsetzung der zweiten Aktionsphase (siehe Kap. 6)

- Auf Grundlage der vorliegenden Ergebnisse und Erkenntnisse Erarbeitung von Empfehlungen zur Vorbereitung und Umsetzung der nachfolgenden zweiten Aktionsphase (2024-2029), in der Konzepte und Empfehlungen zur Entwicklung von Maßnahmen zur Verhinderung oder Minimierung des Faunen- und Florentransfers in den einzelnen prioritären Schifffahrtskanälen erarbeitet werden sollen.

Das F+E-Vorhaben wurde während der Laufzeit durch die Einrichtung einer Projektbegleitenden Arbeitsgruppe (PAG) mit Vertreterinnen und Vertretern aus Bundes- und Landesbehörden, Verbänden, Wissenschaft und weiteren Institutionen zur sektoralen und übergreifenden Diskussion der erarbeiteten Erkenntnisse und Ergebnisse begleitet.

Danksagung

Wir danken den Teilnehmerinnen und Teilnehmern der Projektbegleitenden Arbeitsgruppe sowie den Gesprächspartnerinnen und Gesprächspartnern im Rahmen der bilateralen Gespräche für Ihr Interesse am F+E-Vorhaben und für sehr hilfreiche und konstruktive Diskussionen zum Thema und zu den Ergebnissen.

2 Recherche und Analyse zum aquatischen Faunen- und Florenttransfer durch Kanäle

Stephanie Rüegg¹, Julius Gorenz¹, Sebastian Beggel¹, Andreas Dobler¹, Philipp Hoos¹,
Melina Klarl¹, Markus Hoffmann¹, Joachim Pander¹ und Jürgen Geist¹

¹Technische Universität München, Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie, Freising

2.1 Einführung ins Thema

Der Transfer von gebietsfremden Arten ist seit Beginn der Menschheitsgeschichte durch Entwicklungen der Demografie, Landwirtschaft, des Handels und der Industrie gegeben und hat in den letzten Jahrzehnten durch die Ära der Globalisierung ein neues Ausmaß erreicht (Galil et al. 2007, Seebens et al. 2017). Klare Zusammenhänge bestehen zwischen dem Transfer von gebietsfremden Arten und den globalen Handels- und Transportrouten, wobei Einkommenswachstum und Bruttoinlandsprodukt als wichtigste Einflussgrößen identifiziert werden konnten und mit dem Ausmaß an gebietsfremder Flora und Fauna korrelieren (García-Berthou et al. 2005, Hulme 2009b). Im Zuge der Globalisierung und der Entwicklung neuer Technologien wurde das Tempo, mit dem Organismen (absichtlich oder unabsichtlich) weltweit verbracht werden, beschleunigt. Durch anthropogene Einflüsse (Klima- und Lebensraumveränderungen) wird die Wahrscheinlichkeit für die Etablierung gebietsfremder Arten deutlich erhöht (Meyerson & Mooney 2007). Das anhaltende Wachstum des weltweiten Schiffsverkehrs wird voraussichtlich zu einer Zunahme schiffahrtsbedingter Neueinführungen von gebietsfremden und invasiven Arten nach Europa und einer beschleunigten Ausbreitung innerhalb Europas führen (Seebens et al. 2017).

Die Erforschung der Antriebsfaktoren, Einbringungspfade sowie geeigneter Gegenmaßnahmen ist von entscheidender Bedeutung, wenn es um die mögliche Eindämmung des Invasionsgeschehens geht (Essl et al. 2015). Die Sammlung und Analyse von Invasionsprozessen in zahlreichen, teils internationalen Datenbanken ist bereits sehr umfangreich und hat im Bereich der aquatischen Organismen in den letzten Jahrzehnten, verglichen mit terrestrischen Ökosystemen, immer mehr an Bedeutung gewonnen (Twardochleb et al. 2013, Olden et al. 2021). Aquatische Ökosysteme sind besonders von negativen Effekten durch Invasionen betroffen und wurden auch bereits durch verschiedenste taxonomische Gruppen tiefgreifend verändert (Strayer 2010, Frederico et al. 2019, Jeschke et al. 2022a). Da Gewässerlebensräume mit am stärksten von anthropogenen Veränderungen betroffen sind, haben gebietsfremde Arten ein hohes Potenzial für eine Etablierung in solchen „gestörten“ Systemen (Pyšek et al. 2020 und Quellen darin). Die negativen Folgen solcher aquatischen Invasionen sind nicht nur von ökologischer, sondern auch von ökonomischer Bedeutung. Invasive Fischarten haben seit den 1960er Jahren weltweit Kosten in Höhe von mindestens 37,08 Milliarden US Dollar verursacht, wobei Europa nach Amerika die zweithöchsten Kosten zu verzeichnen hatte (Hau-brock et al. 2022). Der internationale Schiffsverkehr, gefolgt von der Aquakultur, nehmen eine entscheidende Rolle ein, wenn es um den Transfer, vor allem von marinen Arten geht (Molnar et al. 2008). Im Jahr 2006 wurden mehr als 90 % des Welthandels auf dem Seeweg abgewickelt mit einer Flotte von über 50.000 Schiffen, die mehr als 1 Million Tonnen Tragfähigkeit transportierten (IMO 2008 zitiert in Hulme 2009b).

Eine Studie von Seebens et al. (2013) kombinierte Daten über das Netzwerk der weltweiten Schiffsbewegungen mit den Umweltbedingungen in den Häfen und der Biogeografie, um die

Wahrscheinlichkeit neuer Invasionen, verursacht durch die Einleitung von Ballastwasser, vorhersagen zu können. Als Ergebnis konnten risikoreiche Invasionsrouten, Hotspots der Bioinvasion und wichtige Herkunftsregionen identifiziert werden, aus denen die Bioinvasionen auch in Zukunft wahrscheinlich erfolgen. Die Ausbreitung fremder Arten durch den Schiffsverkehr kann mittels des Modells mit einer Wahrscheinlichkeit von 76 % für marine Arten vorhergesagt werden (Seebens 2016). Die Invasionswahrscheinlichkeit ist generell bei mittleren geografischen Entfernungen zwischen Geber- und Empfängerhäfen am höchsten und alle identifizierten Invasions-Hotspots sind durch eine hohe Schifffahrtsintensität gekennzeichnet. Die wichtigsten Invasionspfade entsprechen den häufig genutzten Schifffahrtsrouten Asien-Europa und Asien-Nordamerika. Im Allgemeinen steigt das Invasionsrisiko mit der Zahl der Schiffsankünfte (Seebens et al. 2013). Seit dem Ende des 20. Jahrhunderts ist ein neuer globaler Korridor entstanden – die klimawandelbedingte ständige Öffnung des Arktischen Ozeans ermöglicht zunehmend den Austausch von Arten (vermutlich sowohl mariner als auch terrestrischer Arten) zwischen dem Atlantik und dem Pazifik (Pyšek et al. 2020).

Neben dem Schiffsverkehr haben insbesondere Kanäle (vor allem interozeanische Kanäle wie der Suez- und der Panamakanal) entscheidend dazu beigetragen, einst getrennte biogeografische Regionen (Flusseinzugsgebiete oder Meere) miteinander zu verbinden. Diese Kanäle bieten nun viele Möglichkeiten für die unabsichtliche eigenständige Ausbreitung und den schifffahrtsvermittelten Transport von gebietsfremden und invasiven Arten in neue Regionen (Galil et al. 2007, Pyšek et al. 2020). Invasive gebietsfremde Arten verbreiten sich auch zunehmend ohne direktes menschliches Zutun von einer Region, in die sie eingeführt wurden, in andere. Vor allem anthropogene Einflüsse auf Fließgewässer, wie die Begradigung von Flüssen und der Ausbau von Kanälen für die Schifffahrt und die Energiegewinnung durch Wasserkraft, haben zu einer strukturellen Homogenisierung der Umwelt und zu einer erleichterten Ausbreitung vieler invasiver Arten geführt (Olden et al. 2004, Borchering et al. 2013). Durch den Bau von Kanälen und die Verbindung von verschiedenen Flusssystemen wurden natürliche Barrieren aufgelöst und weitere Pfade für die Ausbreitung gebietsfremder Arten geschaffen (Galil et al. 2007).

Es wurden durch Hulme et al. (2008) sechs allgemeine Mechanismen beschrieben, durch die gebietsfremde Arten in eine neue Region eingebracht werden können: 1) absichtliche Freisetzung 2) Entkommen aus der Gefangenschaft 3) Verunreinigungen von Gütern 4) blinde Passagiere auf Transportvektoren 5) über anthropogene Korridore und 6) Ausbreitung ohne Hilfe des Menschen aus anderen bereits besiedelten Regionen. Die vorsätzlichen Ausbreitungswege "Entkommen" und "Freisetzung" sind für Pflanzen und Wirbeltiere am wichtigsten, während bei Wirbellosen Tieren, Algen, Pilzen und Mikroorganismen die unbeabsichtigten Transportwege "Verunreinigung" und "blinde Passagiere" überwiegen. Diese Wege unterscheiden sich nur geringfügig zwischen Meeres-, Süßwasser- und terrestrischen Umgebungen (Saul et al. 2017). In der Regel sind die gebietsfremden Arten mit den größten negativen Auswirkungen mit mehreren Pfaden verbunden (Pergl et al. 2017).

Dieses Kapitel beinhaltet Ergebnisse und Erkenntnisse einer umfassenden Recherche in der Fachliteratur und aus Expertenbefragungen zu Nachweisen, Mechanismen und Prozessen des Vorkommens, der Einbringung und des Transfers von gebietsfremden Organismen für (schiffbare und nicht schiffbare) Kanäle in der Bundesrepublik Deutschland sowie in anderen Staaten (Europa und weltweit). Die Ergebnisse sind nach sinnvollen taxonomischen Organismengruppen gegliedert. Die verantwortlichen Pfade werden, soweit bekannt, benannt.

2.2 Methodische Grundlagen

2.2.1 Begriffsklärung / Definitionen

In der Invasionsökologie wird der Invasionsverlauf üblicherweise als schrittweiser Prozess beschrieben, der in mehrere Abschnitte unterteilt werden kann: 1) Transport / Transfer in das Bezugsgebiet, 2) Ausbringung in die freie Natur und 3) Etablierung und Ausbreitung (Blackburn et al. 2011, Jeschke et al. 2013). Die Arten erreichen fremde Gebiete über verschiedene Wege (Einführungspfade), gelangen in die freie Natur (Ausbringungspfade) und breiten sich anschließend aus (Ausbreitungspfade), was zu einer Erweiterung oder Verschiebung der Vorkommensgebiete führen kann (Rabitsch et al. 2018). Folgende Begriffe und ihre Definitionen werden in Bezug auf alle hier erwähnten Arten und Szenarien angewandt:

Gebietsfremd (allochthon)

Gebietsfremde Arten sind Tier-, Pilz- oder Pflanzenarten, die aus ihrem natürlichen Ausbreitungsgebiet, unter direkter oder indirekter Mitwirkung des Menschen, eingebracht wurden, überleben und sich anschließend fortpflanzen können. Dies schließt auch Teile, Gameten, Samen, Eier oder Propagationsformen dieser Arten sowie Hybriden, Sorten oder Rassen mit ein (entsprechend § 3 Nr. 1 der EU-VO 1143/2014, CBD 2000, 2002, Kowarik & Starfinger 2003, Nehring et al. 2015a). Damit sind auch Arten als gebietsfremd definiert, welche auf natürliche Weise in ein bestimmtes Areal gelangen, ihr direkter Herkunftsort sich aber in einem Gebiet befindet, in welches sie zuvor durch den Menschen eingebracht wurden (Nehring et al. 2015a). Andere wissenschaftliche Definitionen beschreiben zum Beispiel auch Begriffe wie „nicht einheimisch“ oder „exotisch“ (siehe Mandak & PySek 1998, Richardson et al. 2000).

Einheimisch (autochthon)

Arten die von Natur aus in einem Gebiet vorkommen, d.h. ohne das Zutun des Menschen (= indigene bzw. autochthone). Sie haben sich in dem Gebiet ohne menschlichen Einfluss evolutionär gebildet oder sind ohne menschlichen Einfluss dort eingewandert (einschließlich natürlicher Arealerweiterung, z.B. im Zuge natürlicher Klimaänderungen). Diese müssen zu Beginn ihres Einwanderungsprozesses noch nicht fest etabliert (= eingebürgert) sein, sondern können zuerst nur unbeständig auftreten (Klingenstein et al. 2005).

Invasiv

Invasive Arten im Sinne der Biodiversitätskonvention und der EU-Verordnung 1143/2014 sind Arten, die in ihrem neuen Areal die Biodiversität (Vielfalt der Lebensräume, Arten und Gene) und damit verbundene Ökosystemleistungen gefährden oder nachteilig beeinflussen (CBD 1992, 2000, 2002, EU-VO 2014, Nehring et al. 2015a).

Damit wird das Gefährdungs- bzw. Schadpotenzial einer gebietsfremden Art im Naturschutz ausschließlich auf naturschutzrelevante Auswirkungen bezogen. Andere Verwendungen des Begriffs im Zusammenhang mit invasionsbiologischen Prozessen (Richardson et al. 2000) werden hier nicht gesondert behandelt.

Alle in diesem Vorhaben erwähnten gebietsfremden und invasiven Arten wurden bereits im geschilderten Sinne als gebietsfremd oder invasiv identifiziert, entweder über die Aufnahme in spezifische Listen invasiver Arten (Nehring et al. 2010, Rabitsch et al. 2013, Nehring & Skowronek 2020) oder in entsprechenden Datenbanken (z.B. Global Invasive Species Database GISD, Compendium Invasive Species CABI, Global Register of Introduced and Invasive Species GRIIS, Inventory of alien invasive species in Europe DAISIE).

Transfer

Mit Transfer ist ein Transport einer gebietsfremden Art gemeint. Es geht dabei konkret um die Wege und Mechanismen, wie eine gebietsfremde Art transportiert bzw. freigesetzt wird. Dies kann beabsichtigt oder auch unbeabsichtigt erfolgen.

Einführung

Die Einführung beschreibt, wie eine gebietsfremde Art in das Gebiet gelangt. Die Wege und Mechanismen der Einführung werden als Einführungspfade bezeichnet (Rabitsch et al. 2018). Die „Verordnung (EU) Nr. 1143/2014 über die Prävention und das Management der Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten“ summiert Einführung und Ausbringung unter dem Begriff „Einbringung“. In der Praxis gibt es jedoch durch Interpretationsspielräume manchmal Überlappungen. Im vorliegenden Vorhaben wird, sofern möglich, zwischen Einführung, Ausbringung, Einbringung (=Einführung und Ausbringung) sowie Ausbreitung unterschieden.

Ausbringung

Die Ausbringung beschreibt wie eine gebietsfremde Art in die freie Natur (außerhalb menschlicher Obhut) gelangt (Rabitsch et al. 2018). Dies kann vorsätzlich, oder nicht vorsätzlich geschehen. Die möglichen Wege und Mechanismen werden als Ausbringungspfade bezeichnet. Die EU-Verordnung 1143/2024 summiert Einführung und Ausbringung unter dem Begriff „Einbringung“ (Rabitsch et al. 2018).

Ausbreitung

Die Ausbreitung einer Art beschreibt, wie es zu einer Erweiterung oder Verschiebung des Ausbreitungsgebietes der gebietsfremden Arten kommt. Die möglichen Wege und Mechanismen (Ausbreitungspfade) können vorsätzlich und nicht vorsätzlich geschehen. Eine Art kann sich auch selbstständig ausbreiten, dann ist der Pfad als „Eigenständig“ beschrieben. Wenn eine Art etabliert ist, bedeutete das, dass sich eine Population dieser Art in der Natur oder naturnahen Lebensräumen, ohne menschlichen Einfluss fortpflanzen und dauerhaft halten kann (Rabitsch et al. 2018).

2.2.2 Erläuterung des Auswahlprinzips der Kanäle

Kanäle und Wasserstraßen von globaler, internationaler sowie nationaler Bedeutung, welche verschiedene Ozeane oder Flusseinzugsgebiete (FGE) miteinander verbinden, spielen bei der Ausbreitung von invasiven gebietsfremden Arten welt-, europa- und deutschlandweit, eine entscheidende Rolle (Nehring 2005, Gollasch et al. 2006, Galil et al. 2007).

2.2.3 Aquatische taxonomische Gruppen

Die vorliegende Recherche integriert Ergebnisse zu Transfer, Ausbreitung und Vorkommen der wichtigsten europa- und weltweit vorkommenden taxonomischen Gruppen. Der Fokus dieser Studie liegt auf den aquatischen Taxa, die als relevant erachtet werden und im weiteren Verlauf des Projektes in bundesweite Managementmaßnahmen einbezogen werden können. Das bedeutet, die hier aufgeführten Gruppen und Taxa sollten einerseits ein signifikantes invasives Potenzial aufweisen, d.h. eine Invasivitätsbewertung mit entsprechendem Ergebnis durchlaufen haben, oder in spezifischen Listen genannt sein. Andererseits sollen auch neue, potenziell invasive Arten erwähnt werden, die ein relevantes Gefährdungspotenzial aufweisen (siehe dazu auch Roy et al. 2019). Die beschriebenen Gruppen bzw. Taxa sollten bereits relativ

gut erforscht sein, um die verschiedenen Lebenszyklen in die Maßnahmen miteinbeziehen zu können. Die im Folgenden dargestellten Gruppen bzw. Taxa sollten auch im Sinne der Maßnahmen in den Kanälen erreichbar sein, sprich in den aquatischen Lebensräumen der Kanäle vorkommen, d.h. der Einbezug von invasiven am Wasser lebenden Organismen wie Vögel (z.B. Nilgans, *Alopochen aegyptiaca*), Amphibien (z.B. Nordamerikanischer Ochsenfrosch, *Lithobates catesbeianus*), Reptilien (z.B. Buchstabenschmuckschildkröte, *Trachemys scripta*) oder Säugetieren (z.B. Nutria, *Myocastor coypus*) wird hiermit ausgeschlossen.

Die Erwähnung der gebietsfremden und invasiven Arten in Deutschland in dieser Studie orientiert sich vor allem auch an der Einbeziehung bestimmter Gruppen bzw. Taxa aus der Unionsliste sowie aus den Listen der Invasivitätsbewertungen des Bundesamtes für Naturschutz (Nehring et al. 2010, Nehring & Skowronek 2020).

2.2.4 Recherche und Analyse

Die Literaturrecherche wurde mit den gängigen Suchmaschinen „Web of Science“ (WoS) bzw. „Web of Knowledge“ oder „Google Scholar“ durchgeführt. Es wurde eine Suchanfrage mit verschiedenen Schlagwörtern und Kombinationen kreiert, welche die wichtigsten Begriffe beinhalten. Die Ergebnisse wurden weiter gefiltert, nach den passenden Kategorien (z.B. Ecology) und Fachrichtungen (z.B. Biology) auf Relevanz überprüft und in einer Literaturdatenbank (EndNote) eingepflegt. Wo es möglich war, wurde der Eintrag in die Literaturdatenbank immer mit dem Originaltext der Veröffentlichung ergänzt.

Beispiel Suchanfrage WoS (> 500 Treffer):

(invasive OR alien OR non-native OR exotic OR non-indigenous) AND (canal OR pathway OR corridor OR freshwater OR aquatic) AND Germany AND (transfer OR spread OR distribution)

Suchanfrage Google Scholar (145 Treffer):

Ausbreitung AND Neobiota AND Kanal AND Deutschland AND invasive

Als Grundlage dienten vor allem auch die hier zitierten Skripten des Bundesamtes für Naturschutz. Weitere relevante Literatur wurde im Verlauf der Recherche durch sogenanntes „snowballing“ (Durchsuchen der Literaturverzeichnisse relevanter Artikel) recherchiert.

2.3 Allgemeine Erkenntnisse zum Faunen- und Florenttransfer durch Kanäle

Weltweit gesehen sind Korridore (Kanäle) nach der Schifffahrt (69 %) und der Aquakultur (41 %) der dritthäufigste Eintragungspfad für marine Arten (17 % der Fälle) (Molnar et al. 2008). Die Situation in Europa weicht von der globalen Situation ab, wo Meeres- und Binnenkorridore, nach der Schifffahrt (40,5 % der Arten), die zweithäufigsten Einführungswege (40,3 % der Arten) sind, gefolgt von Aquakultur (16,4 % der Arten) und Aquarienhandel (2,8 %). Diese Beobachtungen sind in erster Linie auf den Suez-Kanal und seine Rolle als Korridor für die Verbringung thermophiler Arten indopazifischen Ursprungs in das Mittelmeer zurückzuführen (Katsanevakis et al. 2013). Nach seinem Bau 1869 sind schätzungsweise über 300 Tier- und Pflanzenarten in den Mittelmeerraum eingewandert (Kowarik & Starfinger 2003), nach Einschätzung von Wolfgang Rabitsch (UBA Österreich) bis heute sogar über 500 Arten.

Eine der umfassendsten Studien von Katsanevakis et al (2013), die auf dem größten bisher für Europa zusammengetragenen Datensatz basiert (1369 gebietsfremde marine Arten), bestätigt, dass der Transport durch Ballastwasser oder Bewuchs der Schiffsrümpfe die wichtigsten Vektoren für die Invasion gebietsfremder Organismen in den europäischen Meeren (und den

meisten anderen Meeren darstellt). Mehr als die Hälfte (51,9 %) der bis dahin nachgewiesenen gebietsfremden Arten in den europäischen Meeren wurden wahrscheinlich durch den Schiffsverkehr eingeführt (Katsanevakis et al. 2013). Die Gesamtzahl der durch Schiffe eingeführten gebietsfremden Arten in europäische Meere nimmt weiter zu, mit 147 Neueinführungen zwischen 2001 und 2010 (Katsanevakis et al. 2013). Kombinierte Datensätzen aus den wichtigsten Invasionsdatenbanken in Europa zeigen, dass die unbeabsichtigten Pfade "Flucht" und "Freisetzung" bei Pflanzen und Wirbeltieren am wichtigsten sind, während bei Wirbellosen, Algen, Pilzen und Mikroorganismen die unbeabsichtigte Einschleppung überwiegt (Saul et al. 2017). Speziell bei den limnischen Arten sind nach Saul et al. (2027) der unbeabsichtigte Transport (als Blinder Passagier bzw. durch Verunreinigung transportierter Güter) sowie der Transfer über Korridore (Kanäle) die wichtigsten unabsichtlichen Einbringungspfade (Abb. 1).

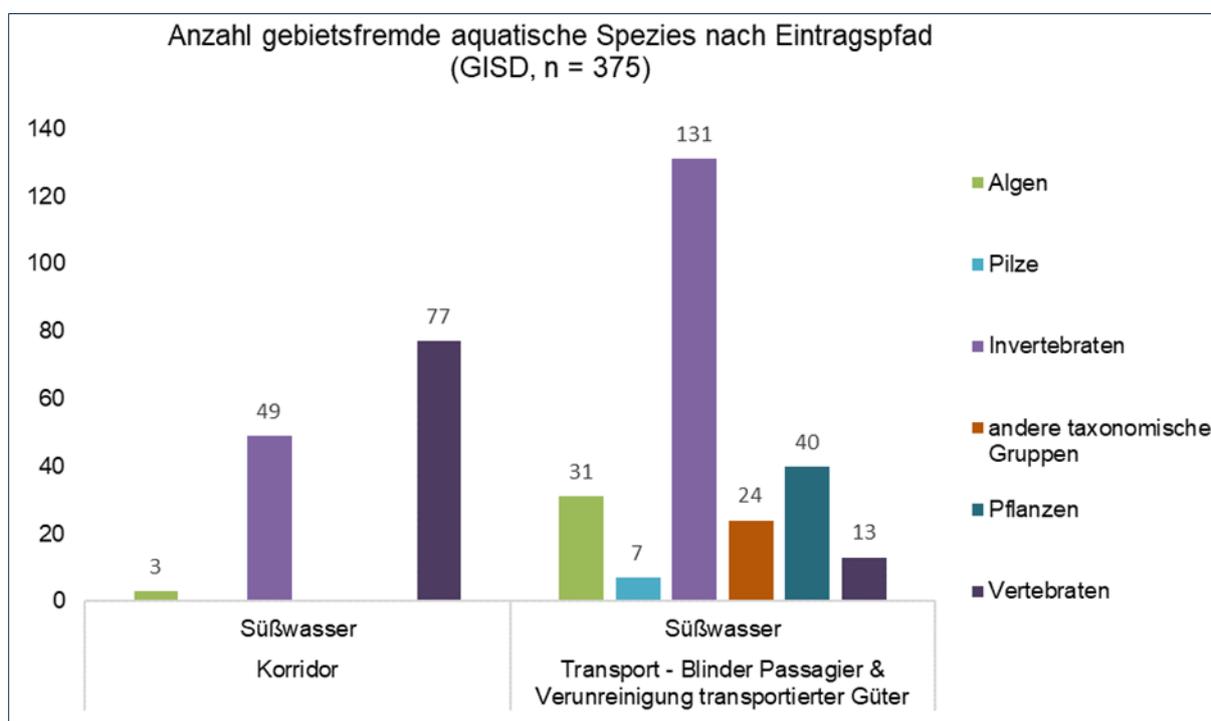


Abb. 1: Einführungsweise gebietsfremder aquatischer Arten aus den taxonomischen Gruppen der Algen, Pilze, Invertebraten (Wirbellose), Pflanzen, Vertebraten (Wirbeltiere) und anderen Taxa, differenziert nach den unabsichtlichen Einbringungspfaden „Korridor“ und „Transport als blinder Passagier & mit Verunreinigung transportierter Güter“. Eigene Darstellung, Daten nach Saul et al. (2017) aus kombinierten Datensätzen (Global Invasive Species Database (GISD) und European Invasive Alien Species Gateway (DAISIE)). Mehrfachnennungen sind möglich da manche Arten über beide Pfade ausgebreitet werden, Anzahl Taxa = 375.

Weltweit sind der Suez-Kanal und der Panamakanal von größter Bedeutung, nicht nur was das Transportgeschehen, sondern auch was die Invasionsgeschichte angeht. Die beiden Kanäle sind wichtige Beispiele für die weltweit größten Abkürzungen zwischen den wichtigsten Handelsrouten und den am dichtesten befahrenen Schifffahrtsstraßen der Welt. Etwa 6 % bzw. 3,4 % der weltweiten Seefracht passieren den Suez-Kanal und den Panamakanal (Gollasch et al. 2006). So sind auch die Ausmaße der Invasionen durch den Suez-Kanal und den Panamakanal von weltweiter Bedeutung und sehr komplex, wobei bestehende und zukünftige Effekte teils ausführlich untersucht und beschrieben wurden (Gollasch 2006, Gollasch et al. 2006, Galil et al. 2007, Muirhead et al. 2015). Die Eröffnung des Suez-Kanals verursachte eine Migration

vom Roten Meer zum Mittelmeer (selten in die entgegengesetzte Richtung, da das Rote Meer salziger und nährstoffärmer ist als das Mittelmeer bzw. der Atlantik), auch bekannt als Lesepssche Invasion (Spanier & Galil 1991). Im Gegensatz dazu wanderten relativ wenige Arten durch den Panamakanal, der den Atlantischen mit dem Pazifischen Ozean verbindet, was allerdings eher auf zufällige Umstände, wie natürliche Ausbreitungsbarrieren, als auf vorsichtige Planung zurückzuführen ist (Galil et al. 2007). Der aus einem Süßwasser See (Gatúnsee) gespeiste Panamakanal bildet eine wirksame Barriere gegen den direkten Austausch und die selbstständige Ausbreitung vieler mariner Organismen. Dennoch wird die geplante Ausweitung des Panamakanals zu Verlagerungen der kommerziellen Schifffahrt führen und sich vor allem auf die anthropogen verursachten Artenübertragungen in Meeres- und Ästuar-Ökosystemen auswirken. Die potenziellen Folgen dieser Erweiterung sind wahrscheinlich artspezifisch für die Invasionsdynamik, vor allem für Bewuchsarten des Schiffsrumpfes, welche aber bisher noch relativ unerforscht sind (Muirhead et al. 2015).

Die Kanäle und Wasserstraßen, die die Einzugsgebiete des Mississippi und der Großen Seen in den Vereinigten Staaten von Amerika verbinden, stellen nach Patel et al. (2011) das größte Risiko für einen Austausch von Arten zwischen diesen beiden natürlicherweise getrennten Einzugsgebieten dar. Es wurden mindestens 32 potenzielle hydrologische Verbindungspunkte identifiziert, an denen die Wahrscheinlichkeit für eine Übertragung einer invasiven aquatischen Spezies zwischen den Einzugsgebieten durch einen Kanal oder eine Wasserstraße besteht. Das „Chicago Area Waterway System“ (CAWS) und der „Illinois Waterway“ werden als die größten Risikofaktoren für einen potenziellen Austausch aquatischer invasiver Arten angesehen, da diese von Menschenhand geschaffenen Kanäle die einzige bekannte dauerhafte und kontinuierliche hydrologische Verbindung zwischen den Wassereinzugsgebieten des Mississippi und der Great Lakes bilden. Andere Verbindungen entstehen größtenteils durch vorübergehende Überflutungen. Zu diesem System gehört auch der Chicago Sanitary and Ship Canal (CSSC), der eine direkte Verbindung zum Michigansee hat. Zahlreiche invasive Spezies, allen voran die Wandermuschel (*Dreissena polymorpha*) und die Schwarzmundgrundel (*Neogobius melanostomus*) haben sich bereits über dieses Kanalsystem ausgebreitet (Mackie 1991, Glassner-Shwayder 1996). Seit 1990 ist die Gefahr einer Invasion asiatischer Karpfen, wie Graskarpfen (*Ctenopharyngodon idella*), Silberkarpfen (*Hypophthalmichthys molitrix*) und Marmorkarpfen (*Hypophthalmichthys nobilis*), aus den Flüssen Mississippi und Illinois in den Michigansee und das Einzugsgebiet der Great Lakes bekannt und stellt eine ökologische und wirtschaftliche Bedrohung für die Region der Great Lakes dar (Patel et al. 2011, Jacobs & Keller 2017 und Quellen darin). Die Einbürgerung der invasiven asiatischen Karpfenarten soll deshalb verhindert werden. Dazu wurde der CSSC mit einer elektrischen Fisch-Barriere ausgestattet (Moy et al. 2011).

2017 wurden im Nord-Ostsee-Kanal 29.202 Schiffe registriert; fast genauso viele, wie im Suez-Kanal (16.833) und im Panama-Kanal (13.114) zusammen. Bei Tonnagen-basierten Vergleichen führt der Suez-Kanal mit knapp 823 Millionen Tonnen vor dem Panama-Kanal (ca. 327 Millionen Tonnen) und dem Nord-Ostsee-Kanal (ca. 84 Millionen Tonnen). Dies liegt vor allem an den unterschiedlichen Schiffsgrößen, die für die jeweiligen Kanäle zugelassen sind. Der Suez-Kanal besitzt keine Schleusen und Schiffe sind lediglich durch einen maximalen Tiefgang von ca. 20 Meter beschränkt (BMBF 2017). Eine initiale Einbringung gebietsfremder und invasiver Arten in die Nord- bzw. Ostsee findet im Allgemeinen nicht über den Nord-Ostseekanal statt, sondern durch andere bekannte Routen und Korridore wie z.B. den nördlichen und den zentralen Korridor, sowie durch transatlantische und Nordseeschifffahrtswege (siehe Kap. 2.4

und Kap. 4). So spielt, trotz der hohen Frequenz an Schiffen, der Nord-Ostsee-Kanal keine entscheidende Rolle für das Invasionsgeschehen in deutschen Gewässern, da durch ihn lediglich bereits in Ost- und Nordsee vorhandene gebietsfremde und invasive Arten ausgetauscht werden. Es wurden bis 2006 insgesamt 62 gebietsfremde Taxa in den deutschen Küstengewässern der Nordsee nachgewiesen (davon 49 etablierte Arten) und 34 Taxa in der Ostsee (davon 28 etablierte Arten) (Gollasch & Nehring 2006). Bis 2022 haben sich die Zahlen deutlich erhöht, was einerseits auf früher übersehene Nachweise und andererseits insbesondere auf kontinuierliche Neueinschleppungen beruht. So sind nach Lackschewitz et al. (2022) an der deutschen Nordseeküste 98 und an der Ostseeküste 65 gebietsfremde Taxa bislang nachgewiesen worden.

Wasserumleitungen mittels Kanäle, ohne dass sie einem Transportzweck dienen, sind weltweit zur Linderung der physischen Wasserknappheit in Planung (z.B. Süd-Nord-Wassertransferprojekt in China). Zhan et al. (2015) weist darauf hin, dass die Umleitung von Wasser, die zu einer alltäglichen von den Regierungen vorgeschlagenen Lösung gehört, negative Auswirkungen wie zum Beispiel den Verlust von Lebensräumen und die Verlagerung von Schadstoffen zu Folge hat. Solche Folgen werden bei der Planung dieser Vorhaben meist berücksichtigt, jedoch wird häufig übersehen, dass bei der Durchführung solcher Projekte auch Invasionskorridore für gebietsfremde Arten entstehen können, wenn Wasserumleitungen unterschiedliche biogeographische Regionen miteinander verbinden (Zhan et al. 2015). Diese "Invasionsautobahnen" können die Ausbreitung einer Reihe gebietsfremder und invasiver Arten erleichtern, was an vielen Beispielen bereits nachgewiesen wurde. Diese Erkenntnisse werden nach Zhan et al. (2015) von den Regierungen bei der Lösung von Wasserknappheitsproblemen weitgehend ignoriert.

2.4 Erkenntnisse zum Faunen- und Florenttransfer durch Kanäle in Europa

Das europäische Wasserstraßennetz von mehr als 28.000 km Länge (in Deutschland 7.300 km Bundeswasserstraßen, davon ca. 25 % Kanäle) verbindet 37 Länder in Europa (und darüber hinaus) mit durchgängig befahrbaren Wasserstraßen zwischen dem Schwarzen Meer und der Nord- und Ostsee sowie zwischen dem Mittelmeer und der Nordsee (GDWS 2024, Galil et al. 2007). Vor allem durch seine Lage hat es hier schon seit Beginn des Handels mittels Schiffsverkehrs und der historischen Entwicklung Invasionen durch gebietsfremde Organismen gegeben (siehe dazu auch Leppäkoski et al. 2002). Die zentrale Rolle Europas für den globalen Schiffsverkehr sowie die Errichtung des Suez-Kanals 1869, welcher das Mittelmeer für Arten aus dem Roten Meer sowie dem Indischen Ozean geöffnet hat (Lessepsche Invasion), führen in Europa zu einer besonders hohen Anzahl an gebietsfremden invasiven Arten (Galil 2006). Mehrere Invasionskorridore wurden zwischen den südlichen und nördlichen Meeren Europas nachgewiesen (Bij de Vaate et al. 2002, Ketelaars 2004, Nehring 2005, Panov et al. 2009) und viele grundlegende Transfermechanismen für gebietsfremde und invasive Arten, die im Zusammenhang mit globalen Invasionsgeschehen genannt wurden, sind auch für Europa zutreffend. Diese umfassen im Wesentlichen die Einfuhr als oder mit einer Ware, die Ankunft mit einem Transportvektor und die Ausbreitung durch die Arten selbst, entweder entlang von Infrastruktorkorridoren (z.B. Straßen, Kanäle) oder ohne fremde Hilfe (Keller et al. 2011).

Deutschland, das Vereinigte Königreich und Italien sind bislang die Haupteintragspforten für gebietsfremde limnische Arten in Europa (Nunes et al. 2015). Die Einführungen durch Binnenkanäle konzentrieren sich auf Mittel-/Nordosteuropa, während die Einführungen durch den Handel mit Heimtieren/Terrarien/Aquarien hauptsächlich in Mittel-/Westeuropa beobachtet

werden (Nunes et al 2015). Die meisten aquatischen Wirbeltierarten gelangen hauptsächlich über die drei oben genannten Vektoren nach Europa, viele gebietsfremde aquatische Krebse und Mollusken werden über die Schifffahrt (Ballastwasser, Aufwuchs an Schiffsrümpfen) und Binnenkanäle eingetragen (Nunes et al. 2015). Trotz des sehr großen Einflusses der Schifffahrt bestehen für die direkte Einfuhr von aquatischen Organismen in das Binnensystem limnische Barrieren wie z.B. Salinitätsunterschiede, die zwischen den Küstenregionen und den Binnenwasserstraßen einen Austausch von Organismen erschweren.

Die Zahl der Ersteinführungen gebietsfremder Arten in die europäischen Binnengewässer variiert erheblich zwischen den einzelnen Ländern. Deutschland ist eines der Länder mit den meisten Ersteinführungen über alle gebietsfremden Taxa (vor allem für gebietsfremde Fischarten), gefolgt von Großbritannien (Nunes et al. 2015).

In Europa gibt es 30 Hauptkanäle mit mehr als 100 Nebenkanälen und über 350 Häfen (Bij de Vaate et al. 2002, Ketelaars 2004, Galil et al. 2007). Deutschland hat daran mit ca. 1.850 Kanalkilometern einen großen Anteil (GDWS 2024). Im Folgenden werden die wichtigsten europäischen Korridore und dazugehörigen Kanäle genannt, über die aquatische Invasionen bereits nachweislich stattgefunden haben. Der überwiegende Teil Südeuropas sowie Südost- und Osteuropa entwässern zu den Binnenmeeren im Süden des Kontinents (Mittelmeer, Schwarzes Meer, Kaspisches Meer), der Rest in die Nord- und Ostsee sowie den Atlantik. Nur wenige Kanäle verbinden die beiden hydrographischen Großräume und überschreiten damit die Europäische Hauptwasserscheide. Es werden dabei verschiedene Hauptinvasionskorridore unterschieden (nach Ketelaars 2004 und Bij de Vaate et al. 2002; eine ausführliche Darstellung findet sich in Kapitel 4 „Kenndaten und Priorisierung von Kanälen“):

1. Der **nördliche Korridor**, der die Einzugsgebiete des Schwarzen Meeres, des Asowschen Meeres und des Kaspischen Meeres über den Wolga-Don-Kanal und den Wolga-Ostsee-Kanal mit dem Ostseebecken und über den Weißmeer-Ostsee-Kanal mit dem Weißen Meerbecken verbindet.
2. Der **zentrale Korridor**, der das Schwarzmeerbecken über den Dnjepr- und den Bug-Pripjat-Kanal mit dem Ostseebecken verbindet.
3. Der **südliche Korridor**, der das Schwarzmeerbecken über den Main-Donau-Kanal mit dem Nordseebecken verbindet.
4. Der **westliche Korridor** (Mittelmeerkorridor), der das Mittelmeerbecken über die Rhône und den Rhein-Rhône-Kanal mit dem Nordseebecken verbindet.

Kennzeichnend ist, dass nach Überbrückung der europäischen Hauptwasserscheide, die direkt betroffenen Becken jeweils über ein ausgedehntes Netz von Wasserstraßen bzw. über die Seeschifffahrtswege von Nord- und Ostsee miteinander verbunden sind.

Die Gewässer Mitteleuropas sind historisch von grundlegenden Veränderungen in der Wasserqualität (Nährstoffe, Chemie) und der Gewässerstruktur (Laufbegradigung, Kanalisierung, Wasserkraftnutzung) und der damit einhergehenden Veränderung der aquatischen Flora und Fauna geprägt. Tittizer et al. (2000) beschreibt das sogenannte Faunendefizit der potamalen Flussbiozönosen aufgrund hoher Gewässerverschmutzung und Eutrophierung in den 1970er Jahren und die anschließende Wiederbesiedelung durch euryöke Makroinvertebraten-Arten im Zuge der sich verbessernden Wasserqualität bis dato. Diese Umstrukturierung des Artinventars, mit zunehmendem Anteil von gebietsfremden Arten, wird neben der Schaffung flussgebietsübergreifender Korridore vor allem auch aufgrund monotoner Habitatstrukturen, die

als ideale Besiedelungsgebiete fungieren, vorangetrieben (Van der Velde & Bij de Vaate 2008). Als weiterer fortschreitender Prozess ist auch die Erwärmung der Gewässer durch den Eintrag von warmen Abwässern bzw. Kühlwasser sowie insbesondere den globalen Klimawandel zu nennen, wodurch es zu Verschiebungen der historischen Flussgebietszonierung kommt, und die Ausbreitung wärmeliebender Arten begünstigt.

2.5 Erkenntnisse zum Faunen- und Florentransfer durch Kanäle in Deutschland

2.5.1 Verantwortliche Pfade und Verkehrswege

Deutschland hat aufgrund seiner zentralen Lage in Europa einen intensiven Handel weltweit sowie mit anderen europäischen Staaten und das internationale und interkontinentale Schifffahrtsgeschehen wurde klar als einer der Haupteinführungsvektoren für gebietsfremde und invasive Arten für Deutschland benannt (Nehring 2002, 2005, Nunes et al. 2015, Rabitsch et al. 2018). Mindestens 48 gebietsfremde Arten, über alle taxonomischen Gruppen, waren 2006 bereits über See- oder Binnenschiffe in deutsche Gewässer eingebracht worden (Nehring 2003, 2005, Gollasch & Nehring 2006). Dabei spielen die über die letzten Jahrhunderte errichteten Kanäle durch die Verbindung ehemals getrennter Flusseinzugsgebiete eine Schlüsselrolle für die Einbringung invasiver Arten nach Deutschland (García-Berthou et al. 2005). Die Ausbreitung der meisten gebietsfremden Arten, vor allem aus dem pontokaspischen Raum, erfolgt nach ihrer Einschleppung in Deutschland über die Binnenschifffahrt entweder aktiv über die Kanäle der Binnenwasserstraßen oder nach Einschleppung über Häfen mit Hilfe des natürlichen Vektors Wasserströmung entlang der Gewässer (Nehring 2002).

Eine Priorisierung der Arten und der Eintragspfade ist Voraussetzung für ein effektives Management invasiver Arten (McGeoch et al. 2015) und ist für Deutschland im Rahmen der Umsetzung der EU-Verordnung 1143/2014 bereits erfolgt (Rabitsch et al. 2018, Nehring & Skowronek 2020). Von den 130 ausgewerteten Arten (37 aus der Unionsliste und 93 zusätzliche invasive und potenziell invasive Arten) sind 41 im Süßwasser lebend und 11 Arten marin (Rabitsch et al. 2018). Der Anteil aquatischer Taxa liegt somit bei 68,9 % und zeigt damit die Bedeutung dieser Organismengruppe, die auf den entsprechenden Pfaden nach Deutschland gelangen und sich ausbreiten.

Sechs verschiedene übergeordnete Pfadkategorien wurden für die nicht vorsätzlichen Einbringungspfade nach Deutschland genauer identifiziert und analysiert und in weitere Unterkategorien aufgeteilt (Rabitsch et al. 2018). Nachfolgend sind die Hauptursachen für die Einbringung gebietsfremder Arten aufgelistet:

1. Freisetzung
 - Aquaristik
 - Lebende Nahrung und Ködertiere (z.B. Angelfischerei)
2. Verunreinigung transportierter Güter
 - Besatzmaterial (in der Fischerei) oder ähnlichem
 - Mit Ködern (z.B. Angelfischerei)
3. Transport als blinder Passagier
 - Fischerei- und Angelzubehör
 - In oder auf Schiffen (exkl. Ballastwasser und am Schiffsrumpf)

- o Ballastwasser
- o Bewuchs / Anlagerung am Schiffsrumpf
- 4. Korridor (hier nur bezogen auf Kanäle)
 - o Eigenständige Bewegung entlang von Kanälen oder Wasserstraßen zwischen Flusseinzugsgebieten / Meeren
- 5. Entkommen aus Gefangenschaft
- 6. Ohne Hilfe
 - o Zutreffend für gebietsfremde Arten, die sich eigenständig aus direkt benachbarten Gebieten in das Bezugsgebiet bewegen, nachdem sie über einen der obigen Pfade in das benachbarte Gebiet eingeführt wurden

Eine Übersicht zu den relevanten Pfaden nach Rabitsch et al. (2018) mit relevanten Beispielen für aquatische Arten ist in Tabelle 1 gegeben.

Tab. 1: Übersicht zu den ausgewählten, relevanten Pfaden nach den übergeordneten Pfadkategorien für aquatische Arten (1 = Freisetzung, 2 = Entkommen aus Gefangenschaft, 3 = Verunreinigung, 4 = blinder Passagier, 5 = Korridor, 6 = Ohne Hilfe; nach Rabitsch et al. 2018).

Pfadkategorien	Pfad	Beschreibung	Beispiel
1	Aquakultur (limnisch und marin)	Einführung/Ausbringung gebietsfremder Arten aufgrund ihrer Nutzung zur Nahrungsproduktion, z.B. in Fischzuchten.	<i>Crassostrea gigas</i> (Pazifische Felse-nauster)
1	Botanischer Garten/Tierpark (Zoo, Gehege, öffentliche Aquarien)	Einführung/Ausbringung gebietsfremder Arten aufgrund ihrer Ausstellung in botanischen Gärten oder Tierparks.	
1	Heimtierhandel/Aquaristik/Terraristik	Einführung/Ausbringung gebietsfremder Arten aufgrund ihrer Nutzung als (nicht domestizierte) Heimtiere, i.d.R. innerhalb von Gebäuden (terrestrisch oder aquatisch).	<i>Procambarus fallax</i> forma <i>virginalis</i> (Marmorkrebs)
1	Tierzucht (exkl. Aquakultur und Pelztierfarmen)	Einführung/Ausbringung gebietsfremder Arten aufgrund ihrer Zucht und Nutzung als Arbeitstiere oder Nahrungsquelle.	<i>Lithobates catesbeianus</i> (Ochsenfrosch)
1	Zierarten (Tiere und Pflanzen)	Einführung/Ausbringung gebietsfremder Arten aufgrund ihrer Nutzung als Zierpflanzen und Ziertiere, i.d.R. außerhalb von Gebäuden, z.B. in öffentlichen oder privaten Parks und Gärten (inkl. Gartenteiche).	
1	Forschung und ex-situ Züchtung	Einführung/Ausbringung gebietsfremder Arten aufgrund ihrer Nutzung zu Forschungszwecken und zur ex-situ Züchtung in Laboren.	
1	Lebende Nahrung und Ködertiere	Einführung/Ausbringung gebietsfremder Arten aufgrund ihrer Nutzung als lebende Nahrung für den Menschen, Futtermittel und/oder Ködertiere (z.B. Angelfischerei).	<i>Pseudorasbora parva</i> (Blaubandbärbling)

Fortsetzung Tabelle 1

Pfadkategorien	Pfad	Beschreibung	Beispiel
2	Mit Ködern	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten im Zuge des Transports von Ködern, z.B. für die Angelfischerei, in und/oder an denen sie sich befinden.	
2	In oder an Tieren (exkl. an Biovektoren)	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten im Zuge des Transports von Tieren, in und/oder an denen sie sich befinden, z.B. Pflanzensamen (jedoch nicht als Parasit, Kommensale, Krankheitserreger in/an ihrem Wirt/Biovektor).	
2	In oder an tierischen Biovektoren	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten im Zuge des Transports von Tieren (Wirte), in und/oder an denen sie sich als Parasit, Kommensale, Krankheitserreger befinden.	<i>Anguillicoloides crassus</i> (Aal-Schwimmblassenwurm)
2	Verunreinigung von Saatgut, Vogel-Körnerfutter, Besatzmaterial (in der Fischerei) oder ähnlichem	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten im Zuge des Transports von Saatgut, in dem sie sich befinden, z.B. Samen einer anderen Pflanzenart, Verunreinigungen von Vogel-Körnerfutter, Besatzmaterial (in der Fischerei) oder ähnlichem.	<i>Perccottus glenii</i> (Amurgrundel)
3	Fischerei- und Angelzubehör	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten im Zuge des Transports von Angel-, Fischerei- und Aquakulturzubehör (z.B. Boote, Bojen), in und/oder an dem sie sich befinden, z.B. als Bewuchs.	<i>Ludwigia grandiflora</i> (Großblütiges Heusenkraut)
3	Fracht-Container	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten im Zuge des Transports von Containern (z.B. via Seehäfen, Flughäfen oder Bahnhöfen), in und/oder an denen sie sich befinden.	
3	In oder auf Schiffen (exkl. Ballastwasser und am Schiffsrumpf)	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten mit Schiffen, z.B. auf dem Schiff lebende Nagetiere, die von dort an Land gelangen.	
3	Ballastwasser	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten mit Ballastwasser (Schifffahrt).	<i>Eriocheir sinensis</i> (Wollhandkrabbe)
3	Bewuchs/Anlagerung am Schiffsrumpf	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten, die sich an Schiffsrümpfe anlagern (z.B. Muscheln, Algen).	<i>Dreissena polymorpha</i> (Wandermuschel)
3	Andere Transportmittel	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten mit anderen Transportmitteln, in und/oder an denen sie sich befinden.	
4	Eigenständige Bewegung entlang von Kanälen oder Wasserstraßen zwischen Flusseinzugsgebieten/Meeren	Bewegung/Ausbreitung gebietsfremder Arten entlang von Kanälen oder Wasserstraßen, die z.B. Flusseinzugsgebiete, Seen oder Meere miteinander verbinden.	<i>Neogobius melanostomus</i> (Schwarzmundgrundel)

Fortsetzung Tabelle 1

Pfadkategorien	Pfad	Beschreibung	Beispiel
5	Zutreffend für gebietsfremde Arten, die sich eigenständig aus direkt benachbarten Gebieten in das Bezugsgebiet bewegen, nachdem sie über einen der obigen Pfade in das benachbarte Gebiet eingeführt wurden	Bezieht sich auf gebietsfremde Arten, deren Ausbreitung im Bezugsgebiet eigenständig geschieht bzw. die sich eigenständig aus direkt benachbarten Gebieten in das Bezugsgebiet bewegen, nachdem sie über einen der obigen Pfade in ein anderes Gebiet eingeführt wurden.	
6	Unbekannt		

Die beiden Pfade „Ohne Hilfe durch den Menschen“ sowie „Eigenständige Bewegung entlang von Kanälen oder Wasserstraßen“ sind für aquatische Arten (Süßwasser & marin) mit Abstand am bedeutendsten, besonders in der Phase der Einführung. Der Pfad „Eigenständige Bewegung entlang von Kanälen oder Wasserstraßen“ bezieht sich auf die selbständige Bewegung von Organismen innerhalb oder entlang der Kanäle und Wasserstraßen und ist vor allem für die Invasionsphase der Ausbreitung von gebietsfremden invasiven Arten entscheidend, da er nur die beiden Invasionsphasen Einführung und Ausbreitung beinhaltet, in diesem Fall die Einführung auch zugleich die Ausbringung der Art in die freie Natur bedeutet (Rabitsch et al. 2018).

Schiffahrtskanäle, die die Europäischen Hauptwasserscheiden überbrücken, wie der Main-Donau-Kanal oder der Oder-Havel-Kanal, sind die wichtigsten Einbringungs- und Ausbreitungspfade für gebietsfremde aquatische Wirbeltierarten nach Deutschland (Nehring et al. 2015a). Ein Großteil der aquatischen gebietsfremden Arten (Pilze, Algen, Wirbellose Tiere) wurde unabsichtlich eingeschleppt. Als häufigster Einfuhrvektor wird die unabsichtliche Verschleppung im Ballastwasser genannt, gefolgt von der Ausbreitung und dem Transport entlang von Wasserstraßen (inkl. Kanäle) sowie der Verschleppung an Schiffsrümpfen (Rabitsch & Nehring 2017).

Das Bundeswasserstraßennetz besteht aus rund 7.350 Kilometern Binnenwasserstraßen, davon sind etwa 75 % Flüsse und 25 % Kanäle. Dabei werden Binnenschiffahrtsstraßen (ca. 6.550 km) und Seeschiffahrtsstraßen (ca. 690 km) unterschieden. 34 % der Binnenwasserstraßen sind freifließende Flussstrecken, 24 % künstliche Wasserstraßen (Kanäle) und 42 % sind staugeregelt. Der ökologische Zustand bzw. das ökologische Potenzial der Bundeswasserstraßen wird durch die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) der Europäischen Union überwacht und bewertet. Nur 8 % der deutschen Fließgewässer-Wasserkörper erreichen dabei einen guten oder sehr guten ökologischen Zustand bzw. ein gutes ökologisches Potential. Eine der entscheidenden Ursachen, warum ein besserer Zustand bislang nicht erreicht wird, ist dabei die weiterhin vorhandene hydromorphologische Degradation der Gewässer, von der zudem einige invasive Arten profitieren können (Meyerson und Mooney 2007; UBA 2021).

Eine der wichtigsten Binnenwasserstraßen Deutschlands und Mitteleuropas ist der Rhein, auf dem sich fast 80 % des binnenschiffsgebundenen Güterverkehrs abspielt. Seine Wichtigkeit ergibt sich aus der Anbindung an die größten nordwesteuropäischen Seehäfen (z.B. Rotterdam und Amsterdam). Der Niederrhein wird jährlich von knapp 200.000 Schiffen (ca. 550 Schiffe pro Tag) befahren (BDB 2022). Elbe, Oder, Donau, Mittellandkanal und Elbe-Havel-

Oder-Wasserstraße kommen eine erhöhte Bedeutung im zusammenwachsenden Europa zu. Elbe und Donau sind gemessen am Güterverkehr allerdings nur von untergeordneter Bedeutung (BMU 2003).

Der **Main-Donau-Kanal (MDK)** liegt im Bundesland Bayern und verbindet die Flussgebietseinheit (FGE) der Donau mit der FGE Rhein, dabei überquert der Kanal die Europäische Hauptwasserscheide.

Eine der weitreichendsten europäischen Binnenwasserstraßen stellt die 3.500 km lange **Rhein-Main-Donau-Wasserstraße** dar. Über einen 171 km langen Kanal wurden die Flussgebiete Donau und Rhein und damit das Schwarze Meer und die Nordsee miteinander verbunden. Seit der Eröffnung im Jahr 1992 ist der Main-Donau-Kanal (MDK) einer der wichtigsten Invasionskorridore vor allem für pontokaspische Arten (Bij de Vaate et al. 2002, Leuven et al. 2009, Alt et al. 2019). Es gibt zahlreiche Beispiele und Untersuchungen an verschiedenen taxonomischen Gruppen aus dieser Region, die bereits nach Europa bzw. initial nach Deutschland über diesen Korridor eingebracht wurden, und nun in den drei durch den Kanal verbundenen Flussgebieten Rhein, Main und Donau nachweisbar sind. Dazu gehören vor allem Invertebraten (Van den Brink et al. 1993, Van der Velde et al. 2000, Bij de Vaate et al. 2002, Keltelaars 2004, Nehring 2006, Van der Velde et al. 2000, Lemmers et al. 2020), Muscheln (Schmidlin & Baur 2007, van der Velde & Platvoet 2007, Matthews et al. 2014), Grundeln (Brandner et al. 2013a, Reshetnikov & Schliewen 2013, Roche et al. 2013, Cerwenka et al. 2018), sowie assoziierten Parasiten (Emde et al. 2012). Derzeit ist unter den Korridoren der südliche Korridor der wichtigste Eintragungspfad für invasive Arten nach Deutschland. Der westliche Korridor (Mittelmeerkorridor) und weitere Kanalverbindungen zwischen französischen Flüssen und weitergehende Anschlüsse an das mitteleuropäische Gewässersystem scheinen für die Ausbreitung gebietsfremder Arten im Rhein nur von geringer Bedeutung zu sein (Leuven et al. 2009).

Der **Oder-Havel-Kanal (OHK)** und **Oder-Spree-Kanal (OSK)** liegen im Bundesland Brandenburg bzw. Berlin (inklusive Schiffshebewerk Niederfinow). Beide Kanäle verbinden die FGE Oder, FGE Elbe und FGE Spree über die Havel-Oder Wasserstraße (HOW) bzw. die Spree-Oder Wasserstraße (SOW). Dabei wird die Wasserscheide zwischen Nordsee- und Ostseebecken überquert.

Die **Oder** ist der sechstgrößte Fluss in Europa. Ihr Mündungsgebiet gilt als eines der am stärksten gefährdeten Gebiete für die Einschleppung gebietsfremder Arten im Einzugsgebiet der Ostsee (Cebulska & Krodkiwska 2019). Im Einzugsgebiet der Ostsee spielt sie sowohl für die See- als auch für die Binnenschifffahrt eine wichtige Rolle und gilt als bedeutendes Einfallstor für die Ausbreitung gebietsfremder Arten (Bij de Vaate et al. 2002, Galil et al. 2007, Leuven et al. 2009). Die Zahl der nachgewiesenen gebietsfremden Arten in der Oder bzw. Havel nimmt weiter zu, dies gilt insbesondere für Muscheln (Grabow 1998, Müller et al. 2007, Cebulska & Krodkiwska 2019), Makroinvertebraten (Müller et al. 2001, Bij de Vaate et al. 2002, Hohmann & Zettler 2019) und Grundeln (Schomaker & Wolter 2014).

Der **Rhein-Rhône-Kanal (RRK)** und der Rheinseitenkanal (Bundesland: Baden-Württemberg) spielen als Verbindung von FGE Rhein und FGE Rhône und somit für die Überquerung der Europäischen Hauptwasserscheide ebenfalls eine bedeutende Rolle. Es konnten jedoch nur wenig Informationen gefunden werden, was den Transfer oder das Vorkommen von invasiven Arten anbelangt.

Wichtige Binnenwasserstraßen und Kanäle, die im Zuge der Ausbreitung von invasiven Arten in Deutschland auch eine Rolle spielen, sind zudem:

Der **Mittellandkanal** ist mit 326 Kilometern die längste künstliche Wasserstraße Deutschlands. Seit 2003 ist auch der Ausbau des östlichen Mittellandkanals und des Elbe-Havel-Kanals mit Kanalbrücke und Schiffshebewerk bei Magdeburg abgeschlossen. Damit kann die Ost-West-Verbindung im Bereich zwischen Hannover und Berlin besser genutzt werden (Löttgers et al. 2022). Nachweise zu gebietsfremden invasiven Arten gibt es hier für Grundeln (Matteikat et al. 2016), Makrozoobenthos (Martens et al. 1999) und Muscheln (Grabow & Martens 1995). Brämick & Schiewe (2020) berichten von einer inzwischen flächendeckenden Ausbreitung des Wolgazanders (*Sander volgensis*) im Mittellandkanal, im Elbe Seitenkanal sowie von Nachweisen in der Weser.

Die **Elbe** weist in Deutschland nur eine Staustufe bei Geesthacht auf und ist, im Vergleich zu anderen Wasserstraßen in Deutschland (z.B. Main oder Neckar), in geringerem Maße ausgebaut. Dies schränkt ihre Befahrbarkeit während der sommerlichen Niedrigwasserperioden deutlich ein. In Westdeutschland wurde mit dem seit 1976 schiffbaren Elbe-Seitenkanal eine Alternative zum Verkehr auf der oft von Niedrigwasser betroffenen Elbe geschaffen. Damit hatte der bedeutende Seehafen Hamburg einen ganzjährigen Anschluss an das westdeutsche Binnenschiffahrtsnetz (Löttgers et al. 2022). Eine Vielzahl von invasiven Taxa ist über den zentralen Korridor in das Elbssystem eingewandert und hat sich etabliert (Bij de Vaate et al. 2002, Galil et al. 2007). Beispiele hierfür sind aus der Gruppe des Makrozoobenthos (Eggers & Anlauf 2005), der Grundeln (Buřič et al. 2015, Janáč et al. 2019, Nogueira Tavares et al. 2020) und für Phytoplankton (Quiel et al. 2011) bekannt.

Neben der Funktion als Verkehrsweg spielen die deutschen Kanäle auch für die Wasserwirtschaft eine Rolle. So wird über den Main-Donau-Kanal Altmühlwasser in das Regnitz-Main-Gebiet gepumpt. Das Westdeutsche Kanalnetz dient bei Bedarf als Fernwasserleitung, ebenso der Oder-Spree-Kanal (Löttgers et al. 2022). Das Überleitungssystem Donau-Main wird von der Wasserwirtschaft betrieben und dazu zählen auch die Anlagen an Altmühl-, Brombach- und Rothsee sowie 27 Flusswehre und fünf Wasserkraftwerke. Der Altmühl- und Brombachsee dienen zusätzlich als Hochwasserspeicher für das mittlere Altmühltal. Die Überleitung erfolgt auf zwei voneinander unabhängigen Wegen: Aus Altmühl und Donau werden über den Main-Donau-Kanal im Mittel ca. 125 Mio. m³ Wasser pro Jahr in den Rothsee gepumpt. Das Hochwasser der Altmühl fließt über den Altmühlsee und den Kleinen Brombachsee in den Großen Brombachsee. Im Mittel sind dies pro Jahr 25 Mio. m³ Wasser. In Trockenzeiten (Donau Abfluss < 140 Mio. m³/s) wird das im Rothsee bzw. Großen Brombachsee gespeicherte Wasser über die unterhalb liegenden, teilweise umgestalteten Flüsse, in das Regnitz-Main-Gebiet abgegeben (Wasserwirtschaftsamt Ansbach pers. Mitt., StMUV 2018).

Der Rothsee dient somit als Reservoir für das Überleitungswasser und ist bereits bekannt für das Vorkommen zahlreicher invasive Arten, wie zum Beispiel der Chinesischen Teichmuschel - *Sinanodonta woodiana* (Dobler et al. 2022), der Wandermuschel - *Dreissena polymorpha*, der Körbchenmuschel - *Corbicula fluminea* und diversen Fischarten: Blaubandbärbling (*Pseudorasbora parva*), Schwarzmundgrundel (*Neogobius melanostomus*), Marmorierte Grundel (*Proterorhinus semilunaris*) und Kesslergrundel (*Ponticola kessleri*) (Müller et al. 2020). Die hohen Bestandszahlen von *D. polymorpha* werden mit Absenkung des Wasserstandes im Winter versucht zu verringern. Einheimische Muscheln werden abgesammelt und wieder ins Wasser eingebracht, während die Wandermuscheln die winterlichen Temperaturen nicht überleben (Wasserwirtschaftsamt Ansbach pers. Mitt.). Hierbei handelt es sich auf Grund der

flächendeckenden Verbreitung von *D. polymorpha* jedoch lediglich um eine Managementmaßnahme zur Bestandsreduktion und nicht um eine Maßnahme zur Verhinderung der Ausbreitung.

Die pumpenbetriebene Scheitelhaltung des Wasserstandes in den 15 Schleusen des Main-Donau-Kanals führt sehr wahrscheinlich auch zur Ansiedlung von zahlreichen Makroinvertebraten aus dem Pontokaspischen Meer zwischen Donau und Rhein und ist zu einem sehr kleinen Teil auch für den Transfer von jungen Grundeln verantwortlich (Roche et al. 2013). Eine Ausbreitung von invasiven gebietsfremden Arten ist durch Kanäle, die der Wasserüberleitung dienen, sehr wahrscheinlich, aber nur in wenigen Fällen nachgewiesen. Vorkommen der Körbchenmuschel sind bereits seit 1992 für den Main bekannt (Schleuter 1992).

Für die Ausbreitung und die Vorkommen invasiver gebietsfremder Arten sind nicht schiffbare und freizeitlich genutzte Kanäle in der Recherche von untergeordneter Rolle, da es wenig Informationen dazu gibt und Nachweise invasiver Taxa eher auf zufälligen Fundmeldungen beruhen. Ihre Rolle ist nicht zu unterschätzen, da in Seitenkanälen oder Überleitungskanälen eine Ausbreitung invasiver Taxa unbemerkt stattfinden und sich unbemerkt ausweiten kann. Als Beispiel ist der Mittlere Isarkanal in Bayern zu nennen. Er ist an eine Reihe von Speicherseen und Fischteiche angeschlossen, die sich mit einer Fläche von 1009,56 ha seit 1962 zu einem Vogelschutzgebiet mit Brut-, Nahrungs-, Mauser-, Überwinterungs- und Durchzugsgebieten von internationaler Bedeutung entwickelt haben (Ismaninger Speichersee und Fischteiche, Natura 2000 Gebiete in Deutschland, EU-Vogelschutzgebiet - 7736-471).

2.5.2 Spezifische Erkenntnisse zu taxonomischen Gruppen

Im Rahmen der naturschutzfachlichen Invasivitätsbewertungen durch das BfN wurden 83 gebietsfremde aquatische Arten als invasiv oder potenziell invasiv bewertet (12 Algen, 3 Pilze, 35 Wirbellose Tiere, 21 Wirbeltiere, 12 Pflanzen), d.h. es ist belegt oder es ist wahrscheinlich, dass sie eine Gefährdung der biologischen Vielfalt darstellen (Nehring et al. 2013, Nehring et al. 2015b, Rabitsch & Nehring 2017, 2022). Die Gefährdung kann verschiedene Ursachen haben. Bei den Wirbellosen Tieren, den Wirbeltieren und den Gefäßpflanzen ist meistens eine interspezifische Konkurrenz mit einheimischen Arten gegeben. Häufige Gefährdungsursachen bei Wirbeltieren sind auch Prädation, Herbivorie und Hybridisierung. Das bedeutet, einheimische Arten werden durch einen gebietsfremden Fressfeind oder durch genetische Vermischung gefährdet (Nehring et al. 2015a). Bei den Wirbellosen Tieren und den Pflanzen sind vor allem auch negative ökosystemare Auswirkungen der Grund für ihre Invasivität. Die gebietsfremden Arten verändern die Ökosystemeigenschaften (z.B. Vegetationsstrukturen) oder ökosystemare Abläufe (z.B. Nährstoffdynamik) eines Lebensraumes so grundlegend, dass von einer Gefährdung einheimischer Arten auszugehen ist.

2.5.2.1 Mikroorganismen – Pilze, Algen, Protozoen und Bakterien

Geschätzt werden pro Ballasttankladung 2,7 Millionen marine Organismen (ohne Bakterien) pro Tag nach Deutschland transportiert, davon 250 verschiedenen Protozoenarten (Gollasch et al. 2002, Hülsmann & Galil 2002). Als grundlegende Einheiten der Nahrungsnetze können sie selbst als harmlose Spezies einen profunden Effekt auf Habitate haben. Darüber hinaus besitzen viele Protozoa auch selbst Eigenschaften, die sie gefährlich für ihre Umwelt machen, z.B. als Toxin-Bildner oder als Träger von endosymbiontischen pathogenen Erregern.

Pilze

Bei den aquatischen Pilzen wurden für Deutschland mehrere gebietsfremde Arten identifiziert. Der als invasiv und etabliert eingestufte marine Purpurbraune Mutterkornpilz (*Claviceps purpurea* var. *spartinae*) besiedelt Gefäßpflanzen. Der Schleimpilz *Labyrinthula zosterae*, der vor allem Seegräser im Meer befällt, wurde als kryptogen bewertet, d.h. der Ursprung (einheimisch oder gebietsfremd) ist noch zu klären. Im Süßwasser kommen zwei invasive gebietsfremde Pilzarten vor. Beide leben auf tierischen Wirten: der Chytridpilz auf Amphibien (*Batrachochytrium dendrobatidis*), die Krebspest auf Krebstieren (*Aphanomyces astaci*, zählt jedoch zu den Scheinpilzen (Oomyceten)) und haben negative Auswirkungen auf Flusskrebse und Amphibien (Rabitsch & Nehring 2017). Die ursprünglichen Einfuhrvektoren für die beiden limnischen Pilzarten sind über den Besatz oder durch Entkommen der assoziierten Wirtsorganismen (Biovektoren) aus Gefangenschaft (für die Krebspest) und über Forschung und Zierhandel von Amphibien (Chytridpilz) geschehen. Die weitere Ausbreitung geschieht vor allem durch die anthropogene Ausbringung infizierter Überträgerarten, aber auch durch Transport von Sporen (unter anderen mit Angelzubehör und Schiffen) und durch die natürliche Fernausbreitung (Transport von Sporen mit Wasserströmung und Biovektoren). Alle drei gebietsfremden Pilzarten sind in Deutschland großräumig verbreitet (Rabitsch & Nehring 2017).

Algen / Bakterien

37 gebietsfremde Algenarten wurden identifiziert, die in deutschen Gewässern derzeit wildlebend vorkommen, wobei insgesamt sieben Arten als invasiv und fünf als potenziell invasiv bewertet wurden. Ein Großteil der gebietsfremden Algenarten bilden die Kieselalgen (Ochromphyta) und die Rotalgen (Rhodophyta), die alle im Meer oder Brackwasser vorkommen und über Aquakultur, Biovektoren (Schalentiere oder Muscheln) sowie über Aufwuchs am Schiffsrumpf und Ballastwasseraustausch verbreitet werden. Für die Ostseeküste sind aktuell nur zwei gebietsfremde Kieselalgen-Arten dokumentiert. Beide wurden zuerst in die Nordsee über Ballastwasser eingeschleppt und haben sich von dort mit der natürlichen Wasserströmung über das Kattegat bis in die westliche Ostsee ausgebreitet (Nehring 2003). Aufgrund der marinen Lebensweise ist eine Ausbreitung über die deutschen Binnenkanäle eher unwahrscheinlich. Einen Sonderfall unter den Algen stellen die Blaualgen (Cyanobakterien) dar, die zu den Bakterien gezählt werden und mit zahlreichen Arten in den deutschen Gewässersystemen (Binnen und Marin) vertreten sind (Ruber et al. 2018). Es wurden keine gebietsfremden Arten für deutsche Gewässer identifiziert (Rabitsch & Nehring 2017), jedoch gab es bereits Einzelnachweise von *Cylindrospermopsis raciborskii* in Seen in Brandenburg (Fastner et al. 2003). *C. raciborskii* ist eine in fast allen europäischen Ländern vorkommende, invasive Cyanobakterienart, die durch Toxinbildung, gekoppelt mit klimatischen Veränderungen zu Algenblüten und gesundheitlichen Problemen führen kann (Wiedner et al. 2007, Antunes et al. 2015). Dieses Phänomen ist jedoch auch immer häufiger bei einheimischen Cyanobakterien zu beobachten (Bauer et al. 2020).

Phyto- und Zooplankton

An der deutschen Nordseeküste sind bis heute sieben Arten des Phytoplanktons bekannt, deren Vorkommen auf eine anthropogene Einschleppung zurückzuführen sind. Im Phytoplankton des Süßwassers ist bisher keine gebietsfremde Art nachgewiesen worden (Nehring 2003).

Unter dem Zooplankton ist bisher der planktische Ruderfußkreb (Copepoda) *Acartia tonsa* an der Nordseeküste sowie in der Ostsee als gebietsfremde Art dokumentiert. In beiden Gebieten kommt seit den 1970er Jahren auch eine zweite gebietsfremde Art vor, das ebenfalls aus

Nordamerika stammende Kriebstier *Ameira divagans*. In den Binnengewässern sind verschiedene „exotische“ Daphnia-Arten nachgewiesen worden, deren aktueller Status aber nicht hinreichend bekannt ist (Nehring 2003).

Da die beiden Gruppen sowohl planktisch als auch benthisch vorkommen sind primär das Ballastwasser und das Ballastsediment als Transfervektoren in der Seeschifffahrt verantwortlich. Beides wird in einem separaten Maßnahmenkatalog im Rahmen des Aktionsplans und durch bereits bestehende Regelwerke beschrieben (z.B. durch das im September 2017 in Kraft getretene Ballastwasser-Übereinkommen, IMO 2004). Dennoch erfolgt eine passive Ausbreitung bereits eingeführter Arten über Kanäle durch Strömung oder durch aktive anthropogen verursachte Ausbreitung (z.B. durch Transport im Bilgenwasser). Inwieweit eine Ausbringung von Mikroorganismen durch Maßnahmen direkt in den Kanälen verhindert werden kann, ist fragwürdig und bleibt im nächsten Projektschritt zu prüfen.

2.5.2.2 Aquatische Pflanzen (Makrophyten)

In Europa haben sich innerhalb der letzten 150 Jahren 96 gebietsfremde aquatische Pflanzenarten (Makrophyten) ausgebreitet (Hussner 2012). Ein Großteil dieser aquatischen gebietsfremden und invasiven Arten wurde absichtlich als Zierpflanzen für den Teichbau und die Aquaristik eingeführt (GBIF/DAISIE/EASIN Datenbank). Ein geringer Anteil der gebietsfremden Makrophyten, wie zum Beispiel Wasserpest- (*Elodea*) und Tausendblattarten (*Myriophyllum*), wurden ursprünglich zum Zweck der Forschung oder als Ausstellungsobjekte für botanische Gärten importiert (Nehring et al. 2013). Vor allem die Wasserpestarten sind nicht nur in Europa invasiv (Andelkovic et al. 2016), sondern verursachen mittlerweile auch in anderen Teilen der Welt negative ökologische sowie ökonomische Effekte (z.B. in Australien und Neuseeland als Hindernis in Bewässerungskanälen, Bowmer et al. 1995).

Deutschlandweit sind 27 verschiedene gebietsfremde aquatische Pflanzen nachgewiesen worden (Hussner 2012). Von den eingewanderten Arten konnten sich 16 dauerhaft etablieren, wobei 14 dieser gebietsfremden Arten als invasiv eingestuft werden. Im Bereich Brackwasser und Marin hat sich bislang nur das invasive Salz-Schlickgras (*Spartina anglica*) etablieren können, die übrigen 15 etablierten aquatischen Arten kommen im Süßwasser vor (Nehring et al. 2013). Der Anteil der gebietsfremden Wasserpflanzen am Artenbestand der aquatischen Gefäßpflanzenflora in Deutschland beträgt 8 % (Nehring et al. 2013). Die meisten der etablierten Arten sind auf wenige kleinräumige Bestände begrenzt, nur die beiden Wasserpestarten *Elodea nuttallii* (Schmalblättrige Wasserpest) und *Elodea canadensis* (Kanadische Wasserpest) konnten sich deutschlandweit ausbreiten und entwickeln großflächige Massenbestände in Fließgewässern und Seen. *Elodea nuttallii* ist seit 2017 als invasiver Neophyt von unionsweiter Bedeutung eingestuft (Nehring & Skowronek 2017) und ist auf Grund ihrer Ausbreitung und Bestandsgröße die wichtigste Vertreterin der invasiven aquatischen Neophyten in Deutschland. Eine weitere Art, die sich erfolgreich in Deutschland etablierte und bekannt ist großflächige Bestände zu bilden, ist die Schwimmblattpflanze *Azolla filiculoides* (Großer Algenfarn). Wie die Wasserpestarten wurde auch *Azolla filiculoides* ursprünglich für botanische Gärten importiert (Bernhardt 1991) und lange Zeit als Teich- und Aquariumpflanze verkauft (Brunel 2009). Von insgesamt 88 Arten, die derzeit auf der Unionsliste geführt werden (Stand 31.03.2024), zählen 13 Arten zu den aquatischen Pflanzen (submerse Makrophyten inklusive Sumpfpflanzen (Helophyten) und Schwimmpflanzen). 12 dieser Arten wurden bereits von Hussner (2012) dokumentiert. Sechs davon sind in Deutschland bereits als etabliert eingestuft (Nehring & Skowronek 2023).

Transfer und Ausbreitung

Die Ersteinbringung in Deutschland erfolgte für beide *Elodea* Arten im Rahmen von Forschungs- und Bildungsmaßnahmen an Universitäten und botanischen Gärten (Bolle 1865, Wattendorf 1964). Bis zum Handelsverbot mit invasiven Arten in der Europäischen Union war der größte Einbringungsvektor für *Elodea nuttallii* der Vertrieb als Zier- und Zuchtpflanzen für den Teichbau und Aquarienhandel (Brunel 2009). Eine wichtige Rolle spielte hierbei der zunehmende Onlinehandel (Humair et al. 2015) und Versand von Pflanzen (Brunel 2009). Ein unbeabsichtigter Einbringungsvektor ist der Transport von Wasserpestfragmenten im Gefieder von Wasservögeln (Josefsson 2011) oder als Anhaftung an Schiffsrümpfen bzw. in Ballasttanks (Hussner et al. 2010, Nehring et al. 2013). Weitere Faktoren wie Eutrophierung (Kuntz et al. 2014) oder unpassende Managementmethoden (Nino et al. 2005, Zehnsdorf et al. 2015) können die Ausbreitung der Wasserpestarten (*Elodea nuttallii*, *Elodea canadensis*) und Tausendblattarten (*Myriophyllum aquaticum*, *Myriophyllum heterophyllum*) zusätzlich fördern. In schiffbaren Kanälen kann die Intensität der Befahrung einen Einfluss auf die Ausbreitung der Neopyhten haben. Die hohe Toleranz von *Elodea*-Arten gegenüber Beschädigung und Trübung erlaubt es der Art sich auch in stark frequentierten Wasserwegen zu etablieren bzw. einheimische Arten in weniger frequentierten Kanälen zu verdrängen (Murphy & Eaton 1983, Nino et al. 2005). Inwieweit das auch auf deutsche Kanäle zutrifft, ist unbekannt.

Die ungewollte Einbringung des großen Algenfarns *Azolla filiculoides* in deutsche Ökosysteme erfolgt ebenfalls mittels Schiffstransport oder Wasservögeln. Im Gegensatz zu den *Elodea* Arten können die Sporen von *A. filiculoides* lange im Verdauungssystem von Wasservögeln überleben (Silva et al. 2021) und folglich über größere Strecken transportiert werden. Die Ausbreitung gebietsfremder Makrophyten wird zusätzlich durch hohe Wachstumsraten oder spezielle Anpassungen, wie zum Beispiel der Eigenschaft von *A. filiculoides* Stickstoff zu fixieren, gestärkt (Hussner 2010).

Von ihrem Ausbringungspunkt aus breiten sich die verschiedenen Neophyten in den Ökosystemen meist vegetativ durch das Verdriften von Pflanzenfragmenten oder Überdauerungsorganen (Turionen) aus (Nino et al. 2005, Hoffmann et al. 2014, Gross et al. 2020). In seltenen Fällen, wie bei den Gattungen *Ludwigia* und *Azolla*, erfolgt die Ausbreitung zusätzlich über Samen oder Sporen (Ruaux et al. 2009, Silva et al. 2021). Die eigenständige Ausbreitung der aquatischen Neophyten in Fließgewässern und Kanälen ist auf Grund mangelnder Mobilität nur strömungsabwärts möglich. Strömungsaufwärts liegende Bereiche können nur mit Hilfe von Schiffen oder Wasservögeln besiedelt werden (Hussner & Lössch 2005).

Der Main-Donau-Kanal wird für die aquatischen Neophyten als die Hauptaubreitungsrouten mittels Schiffen angesehen. Der Grund für diese Annahme sind die auffälligen Vorkommen von gebietsfremden Makrophyten entlang des Rheins und der Donau (Andelkovic et al. 2016, Gross et al. 2020). Zudem sind die Niederlande Europas größter Umschlagort für gebietsfremde Wasserpflanzen (Brunel 2009), mit einer großen Anzahl an Wasserpflanzenzuchten in direkter Nachbarschaft zum Rhein. Genaue Zahlen zum Transport von Neophyten in oder an Schiffen sind jedoch für keine der deutschen Wasserstraßen verfügbar. Über terrestrische Barrieren hinweg kommt es durch das Verlagern von Sportbooten oder anderen Sportgeräten zu einer ungewollten Ausbreitung der invasiven Neophyten (Buchan & Padilla 2000, Johnson et al. 2001, Rothlisberger et al. 2010).

Neben der direkten Einbringung von aquatischen Neophyten durch Schiffe und Wasservögel sind mit hoher Wahrscheinlichkeit die Einleitungen/Abwässer aus Teichen und Aquarien für

den Eintrag gebietsfremder Arten in die natürlichen und künstlichen Ökosysteme Deutschlands verantwortlich (Hussner & Lösch 2005).

Vorkommen

Elodea canadensis wurde bereits 1860 als erster invasiver aquatischer Neophyt in Deutschland nachgewiesen (Hussner et al. 2010). Erst 1899 bzw. 1900 wurden mit dem Kleinen Wasserfarn (*Azolla filiculoides*) und der Gewöhnlichen Wasserschraube (*Vallisneria spiralis*) weitere gebietsfremde Arten entdeckt. *Elodea nuttallii* hingegen konnte 1953 das erste Mal nachgewiesen werden. Als erste gebietsfremde Tausendblattart erreichte Ende der 1950er *Myriophyllum heterophyllum* die deutschen Gewässer.

Elodea nuttallii und *Elodea canadensis* zählen zu den weitverbreitetsten invasiven Makrophyten in den deutschen Kanälen und Wasserwegen. Seit Beginn der Wasserrahmenrichtlinienkartierungen wurden regelmäßig Vorkommen von mindestens einer der beiden Arten in den großen Schifffahrtswegen wie zum Beispiel dem Main-Donau-Kanal und dem Oder-Spree-Kanal nachgewiesen. Auch in den Hauptbecken der angeschlossenen Fließgewässer, Seiten- und Altarme sind Bestände der Wasserpestarten dokumentiert (Gewässerkundliche Dienste der Bundesländer, GKD). Von anderen aquatischen Neophyten, wie *Azolla filiculoides* oder *Myriophyllum heterophyllum*, sind bisher nur lokale oder kleinräumige Vorkommen in Fließgewässern und Wasserwegen bekannt. Daten aus dem europäischen Ausland zeigen jedoch, dass *M. heterophyllum* erfolgreich in Kanälen und Wasserwegen siedeln kann (Gross et al. 2020). Dies lässt die Vermutung zu, dass durch die punktuelle Kartierung für die Wasserrahmenrichtlinie mögliche Tausendblattvorkommen nicht erfasst werden. Funde von *A. filiculoides*, *Vallisneria spiralis* und *Cabomba caroliniana* (Karolina-Haarnixe) entlang der Donau (Andelkovic et al. 2016) zeigen, dass diese Neophyten mit hoher Wahrscheinlichkeit auch im Main-Donau-Kanal vorkommen oder diesen zumindest als Ausbreitungspfad nutzen.

2.5.2.3 Wirbellose Tiere (Invertebraten)

Bei den Wirbellosen Tieren finden sich invasive Arten hauptsächlich in vier Gruppen: Krebstiere, Weichtiere, Rundwürmer und Manteltiere. Von insgesamt 190 gebietsfremden aquatischen Arten, die mit Stand 2017 in deutschen Gewässern nachgewiesen werden konnten, machen die Krebstiere (Crustacea) mit 62 Arten und die Weichtiere (Mollusca) mit 26 Arten den größten Anteil an gebietsfremden Arten in Deutschland aus (Rabitsch & Nehring 2017). Dies zeigt die generell große Bedeutung der Gruppe der Wirbellosen Tiere. In Süß- und Brackwasserhabitaten werden mittlerweile 94 gebietsfremde Crustacea Arten in Deutschland gelistet (Global Register of Introduced and Invasive Species (GRIIS), Stand 2020). GRIIS listet Weichtiere (Mollusken, v.a. Schnecken und Muscheln, zusammen 40 %) und Gliederfüßer (Arthropoden, v.a. Zehnfußkrebse (Decapoden) und Flohkrebse (Amphipoden), zusammen 39 %) als dominanteste Taxagruppen.

Unter den aquatischen gebietsfremden und invasiven Arten sind Krebstiere (gemeint sind hier Höhere Krebse (Malacostraca) und Amphipoden) eine der erfolgreichsten taxonomischen Gruppen weltweit und machen mehr als die Hälfte der in europäischen Binnengewässern nachgewiesenen invasiven Arten aus (Hänfling et al. 2011). Innerhalb der taxonomischen Gruppe der Makroinvertebraten sind die Krebstiere (Crustacea) und Weichtiere (Mollusca), was den Transfer, die Einbringung und die Vorkommen in Kanalsystemen in Deutschland und Europa betrifft, als prioritär einzustufen. Nicht betrachtet wurden hier Stadien und Organismen, die als parasitär oder pathogen einzustufen sind. Dadurch, dass diese Arten oftmals mit

anderen genannten Gruppen (z.B. Fischen oder Krebstieren) assoziiert sind, könnte das Management der Wirtsarten hilfreich sein.

Zu unterscheiden sind Arten, die weiträumig etablierte Populationen bilden und solche, die nur lokal und punktuell vorzufinden sind. Erstere finden sich maßgeblich in den als Wasserstraßen genutzten großen Flusssystemen Europas und in mit diesen Flusssystemen verbundenen Seen und Stauhaltungen wieder. Zu den lokal bzw. punktuell vorkommenden Arten gehören insbesondere Arten in Aquakulturanlagen, Gräben und Zierteichen oder im Extremfall im Bereich lokaler Kühlwassereinleitungen und versalzter Gewässer. Dementsprechend sind die jeweiligen Einfuhrpfade (Transfer) für die verschiedenen taxonomischen Gruppen unterschiedlich ausgeprägt, ebenso wie das weitere Ausbreitungspotential innerhalb oder zwischen diesen Systemen.

Transfer und Ausbreitung

Die wichtigsten Einfuhrpfade für Makroinvertebraten sind der Schiffstransport (Gollasch et al. 2002, Gollasch 2006, Ricciardi 2006), die Ausbreitung über Kanalsysteme (Bij de Vaate et al. 2002) und die absichtliche Einführung in der Aquakultur (Gherardi 2006, Savini et al. 2010). Die Schifffahrt gilt dabei als der primäre Pfad für den unbeabsichtigten Transfer dieser Arten, die im Ballast- und Kühlwasser von Schiffen oder an Schiffsteile und Fracht geheftet über weite Distanzen transportiert werden (Reinhold & Tittizer 1999, Gollasch et al. 2002). Dies trifft für die meisten der Organismengruppen zu. Weitere unbeabsichtigte Einträge erfolgen über Fischbesatz, Drift von Pflanzenmaterial und sonstigen besiedelten Oberflächen (z.B. Plastikmüll), Angelköder oder potenziell auch durch Wasservögel.

Die absichtliche Einführung neuer Arten erfolgte in erster Linie durch Aquakultur und Aquarienhandel. Von diesen absichtlich eingeführten Arten sind neben Garnelen, Schnecken und einzelnen Amphipodenarten vor allem die Zehnfußkrebse ökosystemar relevant (Rabitsch & Nehring 2017). Indirekt betrifft dies auch Schnecken (Gastropoda) und Ringelwürmer (Annelida). Neben Zehnfußkrebse (Decapoda) ist die Einführung von Flohkrebse (Amphipoda) und Schwebgarnelen (Mysida) in der Aquakultur von Bedeutung. Beginnend in den 1960er Jahren wurden in den Staaten der ehemaligen Sowjetunion (Baltikum) Höhere Krebse (Malacostraca) pontokaspischen Ursprungs zur Verbesserung der Fischproduktion eingeführt (Arbaciauskas 2002, Gherardi 2007). Viele Arten haben sich sehr erfolgreich akklimatisiert, darunter z.B. *Obesogammarus crassus*, *Echinogammarus ischnus*, *Pontogammarus robustoides* und *Hemimysis anomala*. Aufgrund der erhöhten Salztoleranz dieser Arten (Euryhalinie) ist die Ansiedelung entlang der baltischen Flusssysteme oder auch der Küstengewässer möglich. Beispielsweise liegen für *Obesogammarus crassus* Nachweise aus Polen (Weichsel) und der polnischen Seite des Oder-Haffs seit 1999 vor (Jazdzewski & Konopacka 2002) vor. Erste Nachweise in Deutschland folgten in der Havel und in der mittleren Elbe 2003 (Eggers & Anlauf 2005). Für *Echinogammarus ischnus* ist eine Ausbreitung entlang von Kanalsystemen bis in den Rhein beschrieben (Van den Brink et al., 1993). *Pontogammarus robustoides* verbreitete sich ebenfalls über den Mittellandkanal in Richtung Rhein (Martens et al. 1999).

Eine absichtliche Einführung in Deutschland ist für die Nordamerikanische Amphipodenart *Gammarus tigrinus* beschrieben. Hintergrund war hier der Besatz mit dieser Art, um durch Salzverschmutzung verschwundene einheimische Flohkrebse zu ersetzen (Weser, Werra, Elbe, Ems und Schlei). Durch sich verbessernde Wasserqualität ist diese Art in Deutschland nur noch lokal vertreten, bildet aber in anderen europäischen Bereichen stabile Populationen aus (z.B. Ijsselmeer, Niederlande, Holdich & Pöckl 2007).

Diese Beispiele zeigen, dass nach absichtlicher Einbringung und Etablierung lokaler Populationen sowohl ein weiterer Transfer, z.B. durch Schiffe als auch eine aktive Migration in verbundene Habitats, stattfindet. Darüber hinaus ist für andere Artengruppen von einer Einbringung über den Aquarienhandel (angeheftet an Aquariumpflanzen, Entsorgung von Aquarieninhalten) für den Großteil der Gastropoden und Anneliden auszugehen, sowie indirekt über Fischbesatz. Neben den Decapoda sind besonders die Vertreter der Amphipoda hochmobil, was sich an der aktiven Ausbreitung verschiedener Arten zeigt. Für die meisten Amphipoden wie *Dikerogammarus haemobaphes* und *Dikerogammarus villosus* (Schleuter et al. 1994, Bij de Vaate & Klink 1995), *Echinogammarus ischnus*, *Echinogammarus berilloni*, *Chelicorophium curvispinum*, *Pontogammarus robustoides* und zunehmend auch *Obesogammarus obesus* kann dies beobachtet werden (Weinzierl et al. 1996).

Flohkrebse (Amphipoda)

Vorkommen

Dikerogammarus haemobaphes wurde bereits in den 1960er Jahren in der österreichischen Donau nachgewiesen (Vornatscher 1965) und ab 1992 in den bayerischen Bereichen der Donau (Tittizer 1996). Typisch für Amphipoden aus dem pontokaspischen Artkomplex ist die Etablierung hoher Abundanzen in Blocksteinschüttungen und steinigen Habitats zur Uferbefestigung (Pöckl 2009). Die Besiedelung des Rhein durch *D. haemobaphes* erfolgt erstmals durch den südlichen Korridor über den Main-Donau-Kanal (Schleuter et al. 1994). *D. villosus*, wurde 1995 im Rhein nachgewiesen (Bij de Vaate & Klink 1995) und verbreitete sich von dort aus erfolgreich auch im nördlichen Teil Deutschlands und in Richtung Osten. 2001 wurde *D. villosus* als die dominante Amphipodenart in der Oder beschrieben (Müller et al. 2001). Eine südwestliche Ausbreitung ist beschrieben über den Meuse-Waal-Kanal (Liefveld et al. 2001, Vanden Bossche 2002) als auch über den Rhein-Rhône-Kanal (Devin et al. 2009). Vor der Öffnung des Main-Donau-Kanals 1992 gibt es keine Nachweise in den deutschen Teilen der Donau, während die Art zum heutigen Zeitpunkt diesen Bereich dominiert. Eine weitere aktive Ausbreitung jenseits der Schifffahrtsstraßen ist für die Donau (Pander et al. 2016) und den Rhein beschrieben (Rey et al. 2005). Der große Höckerflohkrebs, *D. villosus* zeichnet sich als hochkompetitiv gegenüber anderen Amphipodenarten aus, was das Verschwinden der übrigen Arten zeigt, sobald *D. villosus* in einem System etabliert ist. Dick & Platvoet (2000) gehen von einem starken Rückgang der Amphipodendiversität verursacht v.a. durch *D. villosus* aus. Dieses Phänomen wurde in fließenden sowie stehenden Gewässern nachgewiesen, zum Beispiel für den Bodensee (Gergs & Rothhaupt 2015).

Für *Echinogammarus ischnus* sind, wie bei *D. villosus*, zwei initiale Ausbreitungsgebiete bekannt. Einmal im Bereich unterer Rhein (1991) und über die bayerische Donau durch den Main-Donau-Kanal (Van der Velde et al. 1998). *E. ischnus* kommt ebenfalls in hohen Abundanzen in steinigen Habitats vor, kann sich aber nicht gegenüber *D. villosus* durchsetzen.

Chelicorophium curvispinum wanderte vermutlich erstmals über die Flüsse Dnjepr, Pripjet, Bug, Weichsel, Warthe und weiterführende Kanäle nach Deutschland ein (Pinkster 1978, Pligin & Yemel'yanova 1989). Eine zweite Einwanderungswelle erfolgte über die Donau (Eggers & Martens 2008). Für eine aktive eigenständige Ausbreitung spricht die bis zum heutigen Zeitpunkt andauernde Besiedelung von Fließgewässern und Kanälen in Mitteleuropa (Eggers & Martens 2009). Initiale Transfers erfolgten für diese Art über Ballastwasser oder im Aufwuchs von Binnenschiffen. Eine aktive Wanderung in Flüssen und Kanälen ist als Ausbreitungsursache darüber hinaus nicht auszuschließen (Reinhold & Tittizer 1997). Ebenfalls über

Kanalsysteme verbreitet ist die auf der Iberischen Halbinsel beheimatete Amphipodenart *Echinogammarus berilloni*, welche über Frankreich und Belgien in deutsche Gewässer gelangte (Holdich & Pöckl 2007). Am Beispiel dieser fortschreitenden Ausbreitung gebietsfremder Amphipoden wird die Bedeutung von Kanalsystemen und Wasserstraßen als Transportpfade deutlich.

Die nach der initialen Einbringung eigenständige Ausbreitung der Arten ist jedoch stark art-spezifisch und von der jeweiligen Lebensstrategie und Habitatpräferenz abhängig. Am Beispiel der erfolgreichen Arten *Echinogammarus ischnus*, *Pontogammarus robustoides*, *Obesogammarus crassus*, *Dikerogammarus haemobaphes* und *Dikerogammarus villosus* wird deutlich, dass eine Kombination bestimmter Eigenschaften den Invasionserfolg kennzeichnen. Dies sind in der Regel Eigenschaften typischer r-Strategen und Generalisten, mit hoher Anzahl an Nachkommen und mehrfacher jährlicher Reproduktion zusammen mit erhöhter Toleranz gegenüber abiotischen Faktoren (z.B. Salinität, Trübung und eventuell auch bestimmte Umweltchemikalien = Euryökie, sowie hohe Toleranz gegen Wellenschlag und Sunk- und Schwallströmungen, Gabel et al. 2012) und geringen Ansprüchen an strukturelle Diversität. Künstliche Habitate wie Schifffahrtskanäle oder degradierte Habitate bieten dabei ideale Initialhabitate für diese Arten, in denen sie oft in massiven Abundanzen und minimalen Individualabständen siedeln (Rey et al. 2005). Neben den genannten Amphipoden weisen auch andere erfolgreiche Taxa bestimmte Eigenschaften auf (r-Strategen, euryöke Generalisten), wie beispielsweise *Procambarus* sp., *Hypania invalida*, *Jaera istri*, *Corbicula* spp. und *Dreissena polymorpha*. Darüber hinaus sind Interaktionen beschrieben, bei denen die Verdrängung einheimischer Arten durch das gemeinsame Auftreten gebietsfremder Arten verstärkt wird, wie beispielsweise das Feindvermeidungsverhalten von *Dikerogammarus villosus* in Kombination mit dem Prädationserfolg von Fischarten wie *Neogobius melanostomus* (Beggel et al. 2016).

Historisch ist die einheimische Makroinvertebraten-Fauna der europäischen Binnengewässer durch einen hohen Anteil an aquatischen Insekten geprägt (Hänfling et al. 2011), während Bereiche mit hohem Anteil an gebietsfremden Arten von Krebs- und Weichtieren dominiert werden. Die Habitatstrukturen und die individuellen Lebensstrategien der erfolgreichen Arten in Kombination führt dabei zu einer Verschiebung der Artenzusammensetzung. Anthropogene Faktoren, wie die Veränderung der Wasserqualität, die Kanalisierung von Fließgewässern, Schifffahrt und monotone Uferbefestigungen sowie absichtliche Einbringung und Transport mittels Ballastwasser, verstärken diese Verschiebung. Einmal in Bereichen außerhalb der natürlichen Ausbreitung angekommen, führt die Eigenschaft der aktiven selbstständigen Wanderung (z.B. aktive Wanderung entgegen Strömung oder entlang Uferstrukturen) zusätzlich dazu, dass gebietsfremde Arten auch Bereiche mit geringerer anthropogener Überprägung erreichen (Ketelaars 2004).

Grenzen für die Ausbreitung könnten Gradienten in der Wasserqualität darstellen, beispielsweise sind für die Arten *Obesogammarus crassus*, *Hypania invalida* und *Atyaephyra desmarestii* Vorkommen im Mittellandkanal beschrieben, wobei eine Besiedelung der anschließenden Elbe bislang nicht großflächig bekannt ist. Die spezifischen Bedingungen im Kanalsystem (Temperatur, Leitfähigkeit, Habitatstruktur) scheinen daher die Besiedelung zu begünstigen, wobei für *O. crassus* die Ausbreitung in die Elbe bereits beschrieben wurde (Eggers & Anlauf 2005).

Höhere Krebse (Decapoda)

In Europa hat die Anzahl der gebietsfremden invasiven Krebsarten (vor allem Zehnfußkrebse, Decapoda) inzwischen die der einheimischen übertraffen (Kouba et al. 2014). Es wird vorhergesagt, dass die invasiven Flusskrebse innerhalb der nächsten zwei Jahrzehnte die europäischen Gewässer weiterhin dominieren werden, wenn nichts gegen ihre Ausbreitung unternommen wird (Holdich et al. 2009). Als langlebige und omnivore Organismen können sie Gewässerökosysteme auf verschiedenen trophischen Ebenen beeinflussen und die physischen Habitatstrukturen verändern, sie gelten auch als Schlüsselarten sogenannte „keystone species“ (Dorn & Wojdak 2004, Twardochleb et al. 2013). Die Vorkommen von einheimischen Flusskrebsen in Europa werden durch mehrere Faktoren beeinflusst, unter anderem von negativen anthropogenen Einflüssen wie Wasserverschmutzung und Habitatveränderungen. Vor allem aber beeinflusst die vorsätzliche Einbringung gebietsfremder Krebsarten durch den Menschen die einheimischen Artbestände am nachhaltigsten durch einen weiteren invasiven blinden Passagier. Im 19. Jahrhundert wurde mit den Krebsarten versehentlich die Krebspest eingeführt. Die Krebspest ist eine Krankheit, die durch den Scheinpilz *Aphanomyces astaci* ausgelöst wird und verheerende Auswirkungen auf die einheimischen Flusskrebsarten auf dem gesamten Kontinent hatte, wohingegen die gebietsfremden Krebse aus Nordamerika immun dagegen sind (Edgerton et al. 2004). Weltweit erfolgte dieser Transfer gebietsfremder Flusskrebsarten und der Krebspest über eine Vielzahl von Wegen. Dies geschah entweder zufällig (mit Ballastwasser oder über Kanäle) oder wahrscheinlich im deutlich größeren Maße, absichtlich zu Zwecken der Aquakultur, des Besatzes, des Handels mit Lebendfutter, des Aquarien- und Teichhandels sowie des Handels mit Lebendködern (Holdich et al. 2009). Darüber hinaus führt die einfache weltweite Verfügbarkeit lebender Exemplare, die als Delikatessen oder Ziertiere verkauft werden sollen, zu einem raschen Anstieg ihrer Ausbreitung. Die Krebse sind sehr konkurrenzstark durch Prädation, Herbivorie, Veränderung der Nahrungsnetze und der Lebensraumstruktur bei hohen Abundanzen, schnelleres Wachstum und eine sehr effiziente Fortpflanzungsweise (Guan & Wiles 1999, Nyström et al. 2003, Paglianti & Gherardi 2004, Gherardi & Acquistapace 2007, Usio et al. 2009, zu Ermgassen & Aldridge 2010, Dobler et al. 2022).

Eine weitere Krebsart, die zu den echten Krabben (Brachyura) gehört, hat ebenfalls eine hohe internationale Bedeutung, wenn es um invasive Wirbellose Tiere geht. Die Chinesische Wollhandkrabbe (*Eriocheir sinensis*), einheimisch im Nordwestpazifik, lebt die meiste Zeit ihres Lebens im Süßwasser, vermehrt sich aber im Meer. Sie wandert aktiv über die Mündungsgebiete in die Flüsse ein. Sie wird über das Ballastwasser von Schiffen verbreitet und ist in den USA, in Südwest- und Nordeuropa als gebietsfremde Art weit verbreitet (Cohen & Carlton 1995, GBIF 2021). Es wird vermutet, dass mehrere unabhängige Einfuhreignisse für das europäische Festland stattgefunden haben, wo sie wahrscheinlich über den Ballastwassertransport mehrfach eingeführt wurde (Bentley 2011). In den Niederlanden und in Deutschland (Flusssystem Aller) wurde sie Anfang des 20. Jahrhunderts das erste Mal nachgewiesen (Peters 1933, Van der Velde et al. 2000), breitete sich schnell über ganz Europa aus und drang auch in die Rhein-Maas-Mündungen ein. Ihr bevorzugter Lebensraum sind Wattenmeere, Ästuar und Binnengewässer (Peters 1933). Von den Flussmündungen aus wandern die Tiere weit stromaufwärts. Im deutschen Wasserstraßennetz sind sie schon in zahlreichen Flusssystemen etabliert (z.B. Havel, Spree, Oder) (Nehring 2016). Sie wurden im Rhein weit stromauf nördlich von Basel nachgewiesen (Tittizer 1996). Die Krabben sind Allesfresser und bilden manchmal sehr dichte Populationen, wobei sie dann mit Fischen um Nahrung konkurrieren. Die Art ist salztolerant

und eurythermisch (Tittizer 1996) und ist vor allem durch ihre negativen ökonomischen Effekte in der Fischerei (beschädigen Stellnetze, fressen Köder, gefangene Fische und Fischlaich), sowie Wasserwirtschaft (Erosion in Uferböschungen, verstopfen Rechen an Wasserversorgungsleitungen) bekannt (Webster et al. 2015). Zudem ist sie auch ein zweiter Zwischenwirt für einen parasitären Lungentrematoden, den Orientalischen Leberegel (*Paragonimus westermanii*) (Rabitsch & Nehring 2017). Die Ausbreitung erfolgte vor allem durch Schiffe in den Kanälen (Bewuchs am Schiff, im Ballastwasser) und natürlich über die aktive katadrome Wanderungen adulter Tiere in Gewässern, die sogar streckenweise über Land wandern können (Herborg et al. 2005). Insgesamt liegen 361 Meldungen in Deutschland vor, mit starken Ausbreitungen an der Nord- und Ostsee (GBIF 2021). Für die großen deutschen Flusssysteme gibt es am meisten Nachweise in Elbe (bis Dresden), Ems und Weser, gefolgt vom Rhein (bis in die Schweiz) bis in den Main (bei Frankfurt). Die Gewässer Oder, Weichsel und Havel sind ebenso betroffen (Otto & Brandis 2011). Einzelfunde liegen auch für Berlin und Leipzig vor. Europaweit betrachtet liegt das Hauptverbreitungsgebiet der Wollhandkrabbe derzeit in den in die Küstengewässer mündenden Flüssen von Deutschland, Großbritannien, Frankreich, Belgien, Niederlande und Portugal (GBIF 2021).

Transfer

Sechs gebietsfremde und teilweise invasive Krebsarten sind in Deutschland bekannt (Rabitsch & Nehring 2017, Nehring & Skowronek 2023): Roter Amerikanischer Sumpfkrebs (*Procambarus clarkii*), Marmor Krebs (*Procambarus virginalis*), Galizischer Sumpfkrebs (*Astacus leptodactylus*), Kalikokrebs (*Orconectes immunis*), Kamberkreb (*Orconectes limosus*) und Signalkrebs (*Pacifastacus leniusculus*).

Alle Arten, abgesehen von Marmor- und Kalikokrebs, wurden absichtlich, in erster Linie in der Aquakultur zu Speisezwecken gegen Ende des 19. bzw. Anfang des 20. Jahrhunderts, nach Europa bzw. Deutschland eingeführt. Ihre Einfuhr geschah teilweise auch über die Aquaristik als Ziertiere oder sogar als Angelköder. Sie stehen in direkter Konkurrenz zu einheimischen Krebsarten wie dem Edelkreb (*Astacus astacus*) oder dem Steinkreb (*Austropotamobius torrentium*) (Holdich et al. 2009, Chucholl 2016, Rabitsch & Nehring 2017) und stellen als Überträger der Krebspest eine zusätzliche Gefährdung für einheimische Krebsbestände dar. Die meisten dieser gebietsfremden Arten stammen aus dem Norden der USA oder dem nordamerikanischen Kontinent (Signalkrebs, Kamberkreb, Roter Amerikanischer Sumpfkrebs, Marmorkreb, Kalikokrebs). Der Galizische Sumpfkrebs stammt als einziger Vertreter aus der pontokaspischen Region Südosteuropas und ist im Gegensatz zu den anderen Arten phänotypisch sehr variabel, was eine taxonomische Unterscheidung oft schwierig macht (Maguire et al. 2014). In Zukunft könnten die Vorkommen des Roten Amerikanischen Sumpfkrebs häufiger werden, da die Art vom Klimawandel begünstigt wird (Gherardi 2007).

Ausbreitung

Die Ausbreitung der gebietsfremden und invasiven Krebsarten geschieht in den meisten Fällen entweder aktiv und durch den Menschen über den Handel und die Verwendung als Angelköder oder als ausgesetzte Aquarientiere (Troschel & Dehus 1993, Chucholl & Dehus 2011). Ebenso ist eine aktive eigenständige Ausbreitung über die Kanäle gegeben. Die natürliche Fernausbreitung ist ebenfalls über die Kanäle möglich, sowie die aktive terrestrische Wanderung der Tiere, entlang der Gewässer, oder auch zur Überwindung von Barrieren innerhalb der Gewässer.

Vorkommen

2009 wurden für Deutschland, auf der Grundlage des Vorkommens in 10 × 10 km großen Quadraten, folgende Krebsbestände berichtet: Die am weitesten verbreiteten und häufigsten Arten waren einheimische Edelkrebse, *A. astacus* (Die allermeisten Bestände von *A. astacus* sind mittlerweile erloschen) und gebietsfremde Kamberkrebse (*O. limosus*). Der Galizische Sumpfkrebs (*A. leptodactylus*) ist aus 67 Quadraten bekannt, der Rote Amerikanische Sumpfkrebs (*P. clarkii*) aus 15, der Kalikokrebs (*O. immunis*) aus 11, der Marmorkrebs (*Procambarus sp.*) aus mindestens zwei (Holdich et al. 2009). Generell kommen fast alle Arten in den größeren Flusssystemen wie Rhein, Donau und Elbe vor und Signalkrebs und Kamberkrebs sind mit Abstand am stärksten in Europa und Deutschland vertreten, am seltensten sind momentan noch der Kalikokrebs und der Marmorkrebs (GBIF 2021).

Die Vorkommen der meisten bereits als invasiv eingestuften Krebsarten (vgl. Nehring & Skowronek 2023) sind in Europa und Deutschland stark expansiv (Tittizer 1996, Chucholl 2012, Nehring 2016), wobei es teils zu Verschiebungen der Arten kommt, entweder aus Konkurrenz- oder aus Anpassungsgründen (z.B. an den Klimawandel). Kamberkrebse sind zum Beispiel gut an Verschmutzung und niedrige Sauerstoffkonzentrationen angepasst. Die Art ist euryökisch und salztolerant und obwohl sie auch in Seen vorkommen kann, ist sie bevorzugt in Kanälen und Flüssen des Flachlandes (z.B. dem Rhein) anzutreffen (Tittizer 1996, Chucholl & Dehus 2011). Es wurde jedoch beobachtet, dass der Kamberkrebs z.B. im Rhein vom Kalikokrebs verdrängt wird (Chucholl et al. 2008). Die Vorkommen des Galizischen Sumpfkrebs scheinen hingegen stabil zu sein (Chucholl & Dehus 2011).

In den Vereinigten Staaten gehören fünf verschiedene Krebsarten zu den wichtigsten Eindringlingen in Bezug auf ökologische und ökonomische Auswirkungen vor allem in der Region der Great Lakes (Glassner-Shwayder 1996, Olden et al. 2006). Dazu zählen unter anderen der Amerikanischer Rostkreb (*Faxonius rusticus*) und der Kentucky Flusskreb (*Faxonius juvenilis*). Zusammen mit dem, in den Great Lakes einheimischen Viril-Flusskreb (*Faxonius virilis*), werden diese seit 2013 auf der Warnliste in Deutschland noch nicht vorkommender invasiver Tiere geführt (Rabitsch et al. 2013). Alle drei Flusskrebarten werden ähnlich zu den bereits etablierten invasiven Krebsarten über die Larvalphase mit der Strömung passiv, oder anthropogen mit dem Handel bzw. der Verwendung als Angelköder sowie durch die aktive Wanderung der adulten Tiere ausgebreitet. Bisher kommen alle drei Arten nur in Nachbarländern von Deutschland wie z.B. Frankreich, Niederlande oder Großbritannien vor (Chucholl & Daudey 2008). Nur der Viril-Flusskreb hat bis jetzt in Europa nachgewiesene, wildlebende Bestände gebildet (Niederlande, Soes & Koese 2010; Großbritannien, Ahern et al. 2008). Experteneinschätzungen sowie die expansiven Vorkommen in den Niederlanden deuten auch auf das große invasive Potenzial des Viril-Flusskrebes hin (C. Chucholl pers. Mitt.).

Weichtiere (Mollusca)

Einige Vertreter aus der Klasse der Muscheln (Bivalvia) zählen zu den am weitesten verbreiteten gebietsfremden Arten in Süßwasserökosystemen weltweit. Mehrere Arten aus den Gattungen der Dreikantmuscheln (*Dreissena*), mit mehreren aus der pontokaspischen Region stammenden Arten, zählen zu den erfolgreichsten Invasoren für Süßwasserökosysteme weltweit. Zwei Vertreter aus der Gattung der Körbchenmuscheln (*Corbicula*), mit zwei ursprünglich in Asien und Afrika vorkommenden Arten, sind auf fast allen Kontinenten und vor allem in Südwesteuropa weit verbreitet und kommen stellenweise in extrem hohen Abundanzen vor.

Allen Muscheln gemein ist der große Effekt ihrer Lebensweise, den sie als Filtrierer auf die Ökosysteme haben.

In der Gruppe der Süßwassermuscheln hängt der Eintragungspfad stark von der jeweiligen Biologie der Muscheln ab. Allerdings eröffnet auch hier der Ausbau von Schifffahrtswegen und die damit einhergehende Verbindung von bisher voneinander getrennten Gewässersystemen gebietsfremden Muschelarten neue Möglichkeiten der Ausbreitung. Bei Arten, die sich über eigeständig lebensfähige, planktonische und pediveliger (kriechendes Larvenstadium) Larven fortpflanzen, wie die invasiven Dreikant- (*Dreissena*) und Körbchenmuscheln (*Corbicula*), findet ein Transfer überwiegend über Ballastwasser statt (Karatayev et al. 2006, Sousa et al. 2008, Karatayev & Burlakova 2022). Hier sind als initiale Einfuhrmöglichkeiten die transatlantische Schiffsroute sowie der südliche Korridor über die Donau und den MDK zu nennen (Lee et al. 2005, Galil et al. 2007). Seit 2003 breitet sich *Corbicula* auch in der Oder aus (Cebulska & Krodkiewska 2019).

Bei den beiden Dreikantmuscheln (*Dreissena polymorpha* und *Dreissena rostriformis bugensis*) ist nicht ganz klar, wie die initiale Einschleppung erfolgte. Es wird jedoch vermutet, dass bereits vor über 200 Jahren über Kanäle die Öffnung der südöstlichen Ostsee eine mögliche Einschleppung von *D. polymorpha* aus den Ursprungsregionen des Schwarzen Meeres und der Kaspischen Senke nach Westeuropa erfolgte (Karatayev & Burlakova 2022). Für *D. polymorpha* ist der Erstnachweis für Deutschland aus der Havel aus dem Jahr 1824 bekannt (Thienemann 1950). Nach Marescaux et al. (2016) sind für *Dreissena r. bugensis* zwei verschiedene initiale Einschleppungswege möglich: einmal durch den südlichen Korridor (über Donau, Main-Donau-Kanal in Main und Rhein) und durch den Transport aus Nordamerika durch den transatlantischen Schiffsverkehr in die westeuropäischen Häfen (Bij de Vaate et al. 2002). Für den Transport ergeben sich generell drei Möglichkeiten: entweder über den Ballastwassertransport von Larven aus dem Schwarzen Meer oder den nordamerikanischen Häfen in den Hafen von Rotterdam oder Hollandsch Diep oder über den Transport erwachsener Muscheln an den Rümpfen von Binnenschiffen (Heiler et al. 2013).

Da sich beide *Dreissena* Arten vorwiegend mit ihren Byssusfäden an einen harten Untergrund anheften, ist auch eine weitere Ausbreitung über Wasserfahrzeuge, -anhänger sowie andere Ausrüstung (Sportfischerausrüstung, etc.) möglich (Karatayev & Burlakova 2022). *Dreissena polymorpha* scheint hierbei allerdings einen klaren Vorteil gegenüber *D. bugensis* zu haben, da sie aufgrund höherer Byssalproduktion sowie größerer Anhaftungsstärke eine bessere Abriebresistenz aufweist (Mackie 1991, Peyer et al. 2009). Die Ausbreitungsmöglichkeit über Wassersportgeräte und Ausrüstung ist auch für die Körbchenmuscheln (*Corbicula*, bilden als Juvenile lange Byssusfäden aus) dokumentiert (McMahon 2002, Lee et al. 2005). Des Weiteren kann eine Ausbreitung der Larven und Jungtiere sowohl von *Corbicula* als auch von *Dreissena* über den Transport durch Wasservögel, über deren Füße oder Gefieder, erfolgen (Prezant & Chalermwat 1984, McMahon 2002, Pollux et al. 2010), auch wenn dieser Vektor zumindest für die *Dreissena* Arten als sekundär einzustufen ist (Karatayev et al. 2003, Karatayev & Burlakova 2022). Bei anderen Arten, die zu Beginn ihrer Lebensphase auf Wirtsfische angewiesen sind, wie z.B. bei *Sinanodonta woodiana*, findet der unabsichtliche Haupteintragungspfad über den Besatz mit infizierten Wirtsfischen statt (Bouchet 1997, Paunovic 2006, Dobler et al. 2022). Neben den Einbringungen von *Dreissena* und *Corbicula*, die in der Regel nur unbeabsichtigt in die Gewässer eingebracht werden, wird die Einbringung von *S. woodiana* wahrscheinlich vielfach absichtlich vollzogen, da diese Art auch im Zoo- und Gartenfachhandel zum Kauf angeboten wird und dabei teilweise sogar als einheimische Art deklariert wird

(Schoolmann et al. 2006, Bahr & Wiese 2018, Urbańska & Andrzejewski 2019). Aus den gebietsfremden aquatischen Schnecken sind in Deutschland lediglich zwei Arten als potenziell invasiv eingestuft. Die Amerikanische Pantoffelschnecke *Crepidula fornicata* und die Neuseeländische Zwergdeckelschnecke *Potamopyrgus antipodarum* (Rabitsch & Nehring 2017).

Ausbreitung

Neben den o.g. Eintragspfaden, die auch zu einer weiteren sprunghaften Ausbreitung beitragen, ist für fast alle hier genannten Muschelarten eine diffuse, sowohl aktive als auch passive, Ausbreitung von adulten Tieren und/oder Larven hauptsächlich durch Schifffahrt, Sportgeräte, Sportfischausrüstung beschrieben (z.B. *Dreissena bugensis*; Heiler et al. (2012)). Als Ausbreitungspfade für *Corbicula* sind vor allem die anthropogen bedingte Ausbreitung durch Handel, Wasserpflanzen, Boot- und Angelzubehör, aber auch die Verwendung als Köder, die Nutzung als Nahrungsquelle, die Freisetzung durch Aquarianer und die Neugierde der Touristen zu nennen (McMahon 1982, Cebulska & Krodkiewska 2019). So findet neben der anthropogenen Ausbreitung von *Corbicula* eine weitere Fernausbreitung der Larven mit Wasserströmungen auch auf natürlichem Wege statt. Durch die hohe Mobilität der Larven und juvenilen Individuen kann sich *Corbicula* nach Einbringung in ein Gewässer sehr schnell mit der Strömung ausbreiten. Das Expansionspotenzial wird durch die hohen Fortpflanzungsraten, die Fähigkeit zur Selbstbefruchtung, schnelles Wachstum und frühe Geschlechtsreife noch erhöht (Sousa et al. 2008).

Vorkommen

Eine Population von *Corbicula fluminalis* in den Niederlanden wurde erstmals von Bij de Vaate & Greijdanus-Klaas (1990) im unteren Einzugsgebiet des Rheins gemeldet. Seit 1987 wird jedoch das Vorkommen von zwei Formen oder Arten im Rhein gemeldet (Kinzelbach 1992). Eine Ausbreitung in die Nebengewässer, wie dem Main, war länger schlecht untersucht, ist jedoch nach anfänglichen Einzelfunden zum jetzigen Zeitpunkt hoch (Schleuter 1992, Jueg & Zettler 2004). Die beiden morphologisch ähnlichen Arten befinden sich weiter in Ausbreitung und kommen in vielen Flüssen und Schifffahrtskanälen Süd- und Westdeutschlands vor (Neckar, Rhein, Main, Donau; Tittizer & Taxacher 1997, Galil et al. 2007), wobei *C. fluminalis* erfolgreicher zu sein scheint als die Schwesterart *C. fluminea*. Erstfunde von *C. fluminea* 1983 / 1987 sind, ähnlich wie bei der Schwesterart, aus den Flusssystemen Weser und Rhein bekannt (Bij de Vaate & Greijdanus-Klaas 1990). Seitdem ist die Art im gesamten Rheinsystem bis hin zum Bodensee (Werner & Mörtl 2004) sowie weiteren Tieflandseen in der Schweiz verbreitet (Schmidlin et al. 2012). In östlicher Richtung schien die Ausbreitung von *C. fluminea* lange Zeit zu stagnieren (Schöll et al. 2012). Als mögliche Ausbreitungsbarriere in Richtung Osten werden langanhaltend niedrige Temperaturen in den Wintermonaten, wie sie für kontinental geprägtes Klima typisch sind, diskutiert (Grabow 1998). *C. fluminea* gelangte über den Mittellandkanal in das Flusssystem der Elbe (Grabow & Martens 1995, Schöll 1998) wo sie sich auch rasch bis Hamburg ausbreitete (Jueg & Zettler 2004). Generell ist zu erwähnen, dass aufgrund einer fehlenden systematischen Erhebung, Informationen zu den genauen Vorkommen von invasiven Muschelarten in Deutschland überwiegend auf einzelnen Fundmeldungen basieren. Zudem ist die taxonomische Zuordnung der beiden Schwesternarten durch morphologische Überlappungen schwierig, was zu einer Unterschätzung der jeweiligen aktuellen Bestände führen kann.

Dreissena polymorpha und *Corbicula* spp. sind im gesamten Netz der deutschen Bundeswasserstraßen verbreitet (Tittizer et al. 2000). *Dreissena bugensis* hat sich mittlerweile über das

gesamte Rheingebiet sowie seine Zuflüsse ausgebreitet. Zudem wurde sie auch in der Donau, im Main sowie als Einzelfund im Neckar nachgewiesen (Schöll et al. 2012). Für eine erfolgreiche Etablierung in einem Gewässer sowie für eine weitere Ausbreitung haben beide *Dreissena* Arten sehr ähnliche ökologische Grenzen. Karatayev & Burlakova (2022) haben diese in einer Tabelle zusammengestellt: Die obere Salinitätsgrenze liegt für *D. polymorpha* bei 6 ‰ und für *D. bugensis* bei 3-4 ‰. Die Temperaturlimits sind für beiden Arten ähnlich (0-33°C *D. polymorpha*; 0-31°C *D. bugensis*), wobei *D. polymorpha* für eine erfolgreiche Reproduktion eine wesentlich höhere Mindestwassertemperatur von 12-15°C im Vergleich zu 5-7°C bei *D. bugensis* benötigt. Weitere Mindestwerte sind für pH (pH 7,3-7,5 für *D. polymorpha*; keine Angaben für *D. bugensis*), für Kalzium (23-28 mg L⁻¹ für *D. polymorpha*; 22 mg L⁻¹ für *D. bugensis*) sowie für gelösten Sauerstoff bei 20°C Wassertemperatur (1,8-2,4 mg L⁻¹ für *D. polymorpha*; 1,5 mg L⁻¹ für *D. bugensis*) angegeben. Allerdings unterscheiden sich beide Arten in den Ansprüchen an das Gewässersubstrat. *Dreissena polymorpha* ist überwiegend auf hartes Substrat angewiesen, an das sie sich anheften kann, wohingegen *D. bugensis* auch Feinsedimente besiedeln kann (Karatayev et al. 2015).

Für die Habitatbedingungen der *Corbicula* Arten geben Karatayev et al. (2006) folgende Bereiche an: Mit bis zu 24 ‰ zeigt *C. fluminalis* eine höhere Toleranz gegenüber Salinität als *C. fluminea* (14-17 ‰). Das tolerierbare Temperaturspektrum liegt für *C. fluminea* zwischen 0 und 37°C. Für die Reproduktion benötigt *C. fluminea* eine Mindesttemperatur von 15°C, *C. fluminalis* 6°C. Für *C. fluminea* ist ein minimaler pH-Wert von 5,6 und eine minimale Sauerstoffkonzentration von 1-3 mg L⁻¹ bei 25-30°C genannt. Im Gegensatz zu *Dreissena* kann *Corbicula fluminea* auch in Gewässern mit wesentlich niedrigeren Calciumgehalten (min. 3 mg L⁻¹) vorkommen. Ihre Toleranz gegenüber den vorherrschenden Substrat- und Strömungsbedingungen ermöglicht es *Corbicula* unterschiedlichste Bereiche zu besiedeln (McMahon 2002, Sousa et al. 2008).

Zu *Sinanodonta woodiana* ist nur wenig über ihre tatsächliche Ausbreitung bekannt. Eine aktuelle Studie aus Bayern lässt allerdings vermuten, dass sich diese Art unbemerkt schon in vielen Gewässern angesiedelt hat (Dobler et al. 2022). In der Donau wurde sie bereits 1990 erstmals in Serbien entdeckt (Sárkány-Kiss et al. 2000). Seither hat sie sich sowohl flussabwärts als auch weiter flussaufwärts bis nach Österreich ausgebreitet (Sárkány-Kiss et al. 2000). Ein neu entdecktes Vorkommen im mittelfränkischen Rothsee lässt auch vermuten, dass diese Art in diesem Gewässersystem bereits bis in den Main-Donau-Kanal vorgedrungen ist (Dobler et al. 2022).

2.5.2.4 Wirbeltiere (Vertebraten)

Fische (Pisces)

Die Verbesserung der Wasserqualität bei gleichzeitiger Beibehaltung von Modifizierungen, wie Uferbefestigung durch Blocksteinschüttungen, haben zu einer verstärkten Besiedlung durch invasive aquatische Arten geführt (Leuven et al. 2009). In Europa sind Süßwasserfische die am häufigsten absichtlich eingeführten aquatischen Arten (García-Berthou et al. 2005, Clusa & García-Vázquez 2018), wobei viele Fischarten nur für die Freizeitfischerei eingeführt wurden (Rabitsch et al. 2013). In Deutschland sind 14 der 93 jemals registrierten gebietsfremden Süßwasser- und Wanderfischarten heute etabliert, weitere sechs sind möglicherweise etabliert, acht Arten haben sich nicht etabliert, und die restlichen waren lediglich Einzelnachweise (Wolter & Röhr 2010). Unter den 48 gebietsfremden Wirbeltierarten in Deutschland, sind 21 Fischarten gelistet, von denen acht als invasiv gelten. Zu den invasiven als auch

potenziell invasiven gehören laut Bewertung sechs verschiedene Grundelarten, die größtenteils aus dem pontokaspischen Bereich stammen und vor allem über Kanäle nach Deutschland gelangt sind. Nur insgesamt drei, für die Ausbreitung über Kanäle relevante Fischarten (*Pseudorasbora parva*, *Lepomis gibbosus* und *Percottus glenii*) sind bislang in der Unionsliste aufgeführt (Nehring & Skowronek 2023). Dies liegt allerdings daran, dass pontokaspische Arten aus dem Einzugsgebiet des Schwarzen Meeres gemäß EU-VO Artikel 4 Abs. 3a nicht für die Aufnahme in die Unionsliste in Frage kommen, da diese Arten in Teilen der EU als einheimisch gelten.

Transfer

Vor allem die Schifffahrt gilt als einer der wichtigsten Pfade für die Ausbreitung invasiver und gebietsfremder Fischarten. Dabei können Fische als Larven oder Eier im Ballastwasser von Schiffen oder an Schiffsteile geheftet über weite Distanzen transportiert werden (Wonham et al. 2000, Galil et al. 2007, Stemmer 2008, Buřič et al. 2015). Aber auch der Ausbau von Kanälen begünstigt ein selbstständiges Einwandern invasiver Arten sowie deren Ausbreitung aus benachbarten Gebieten. Dadurch, dass die Einzugsgebiete vieler Flüsse durch zahlreiche Kanäle verbunden sind, können die Fische entweder aktiv wandern oder passiv durch die Strömung verbreitet werden (Holm et al. 2014). Weitere mögliche Pfade für die Ausbreitung invasiver Arten sind der Transport von Jungfischen oder befruchteten Eiern im Gefieder von Vögeln (für die bekannten Arten untergeordnet), aber auch durch Angler, die gebietsfremde Fische als Köder verwenden, oder die Einführung durch den Aquarienhandel (Buřič et al. 2015, Holm et al. 2017).

Die Ausbreitung der Arten ist jedoch stark artspezifisch und von der jeweiligen Autökologie abhängig. Nicht alle Arten können eine lange Zeit im Ballastwasser von Schiffen überleben oder ihre Gelege an Schiffsrümpfe heften. Einige Arten wurden jedoch absichtlich mit dem Ziel eingeführt, rückläufige Populationen einheimischer Arten zu ersetzen oder für die Erzeugung von Speise- und Zierfischen (de Groot 1985). Vor allem Fische aus den gemäßigten Zonen Nordamerikas und Chinas wurden durch den Aquarienhandel eingeführt (Freyhof & Korte 2005), wohingegen Arten aus dem pontokaspischen Raum vor allem durch die Schifffahrt verbreitet werden (Bij de Vaate et al. 2002, Alt et al. 2019).

Arten wie der ostasiatische Schlammpeitzger (*Misgurnus anguillicaudatus*), der Zwergwels (*Ameiurus melas*) und der Sonnenbarsch (*Lepomis gibbosus*), die auch alle in der Liste invasiver Fische Deutschlands geführt werden (Nehring et al. 2010), wurden ursprünglich für den Aquarienhandel bzw. die Fischerei in Deutschland eingeführt und sind heute in geringen Zahlen in Flüssen und Kanälen vorhanden (Freyhof & Korte 2005, Oliva-Paterna et al. 2005, Musil et al. 2008). Andere Arten wie der Dreistachlige Stichling (*Gasterosteus aculeatus*) werden als regionale Neozoen eingestuft (Wiesner et al. 2010). Dieser ist in weiten Teilen Deutschlands einheimisch, gilt aber beispielsweise in der oberen Donau als gebietsfremd (Wiesner et al. 2010). Haft- und Höhlenlaicher wie die Schwarzmundgrundel (*Neogobius melanostomus*), die ihre Eier an feste Strukturen wie Bootsrümpfe heften, können durch die Schifffahrt über weite Strecken transportiert werden und bevorzugen die in vielen Kanälen zur Uferbefestigung verbaute Blocksteinschüttung als Habitat (Brandner et al. 2013a, Holm et al. 2017). So wurde die Schwarzmundgrundel bereits Ende der 1980er Jahre durch die Schifffahrt in den Golf von Gdan'sk in Polen oder Anfang der 1990er in die Laurentian Great Lakes in Nordamerika eingeschleppt (Jude et al. 1992, Sapota 2004). Die Ausbreitung vieler Arten aus dem pontokaspischen Raum begann bereits im 17. Jahrhundert mit der Verbindung von Flusseinzugsgebieten, wobei der 1992 fertig gestellte Main-Donau-Kanal heute als eine der Hauptausbreitungs-

routen gilt (Bij de Vaate et al. 2002). Auch Deutschland und Österreich erleben daher seit den 1990er Jahren eine Invasion verschiedener Grundelarten aus dem Schwarzen und Kaspischen Meer, welche allgemein als „Schwarzmeergrundeln“ zusammengefasst werden (Holm et al. 2014). Heute sind bereits mehrere Vertreter der Schwarzmeergrundeln in vielen Kanälen und Flusssystemen wie der Donau, Elbe, Rhein, Main und Oder nachgewiesen (Borcherding et al. 2011, Brandner et al. 2013a, Buřič et al. 2015, Hempel et al. 2016). Neben der Schwarzmundgrundel sind auch weitere Arten aus dem pontokaspischen Raum wie die Kesslergrundel (*Ponticola kessleri*), die Marmorierte Grundel (*Proterorhinus seminalaris*), die Flussgrundel (*Neogobius fluviatilis*) und die Nackthalsgrundel (*Babka gymnotrachelus*) vertreten. Vor allem der Nachweis der Flussgrundel im Rhein belegt die Bedeutung der Binnenschifffahrt als Transportweg für gebietsfremde Arten, da sich die nächste etablierte Population in der Weichsel in Polen befindet (Wolter & Röhr 2010). Roche et al. (2013) konnten die Frachthäfen von Wien, Duisburg und Rotterdam als wichtige Ausbreitungszentren identifizieren.

Einbringung

Seit ihrer Einführung haben sich die Marmorierte Grundel, die Kesslergrundel und die Schwarzmundgrundel im Rhein, entlang der Donau sowie in angrenzenden Flüssen ausgebreitet (Roche et al. 2013). Bisher sind zwei Hauptausbreitungsrouten für diese Grundelarten bekannt. Ein Korridor führt von der Ostsee, wo die Grundeln bereits etabliert sind, entlang der Küste und über das Binnengewässersystem in den Rhein und ein Korridor führt vom Schwarzen Meer über die Donau, in den Main-Donau-Kanal und schließlich in den Rhein (Roche et al. 2013). Die Marmorierte Grundel konnte in Deutschland das erste Mal bereits im Jahr 1985 in der Donau bei Vilshofen und 1997 im Lohbach nachgewiesen werden, der in den Main entwässert und zum Teil mit Wasser aus dem Main-Donaukanal gespeist wird (Stemmer 2008, IKS 2013 und Ref. darin). Auch für die Kesslergrundel konnte bereits 1990 eine flussaufwärts gerichtete Ausbreitung beobachtet werden, wobei diese 1999 erstmals in Deutschland bei Straubing nachgewiesen werden konnte und 2006 den nordrhein-westfälischen Rhein und den Main erreichte (Seifert & Hartmann 2000, Stemmer 2008). Die ersten Vorkommen der Schwarzmundgrundel in der Donau in Deutschland wurden dagegen 2004 bei Passau und Straubing verzeichnet (Stemmer 2008). In der Elbe und im deutschen Rhein konnte sie das erste Mal 2008 (im niederländischen Rhein bereits 2004, van Beek 2006) und in der Oder 2013 nachgewiesen werden (Stemmer 2008, Hempel & Thiel 2013, Schomaker & Wolter 2014). Bisher ist jedoch unklar, ob die Schwarzmundgrundel im Rhein durch die Seeschifffahrt von der Ostsee ausgehend oder über den Main-Donau-Kanal eingeführt wurde (Borcherding et al. 2011). Ebenfalls 2008 konnte die Flussgrundel im Rhein bei Duisburg nachgewiesen werden, wobei bereits zuvor eine Besiedlung des Odergebiets bekannt war (Stemmer 2008). Bereits 2003 wurden juvenile Schwarzmundgrundeln in der Oderbucht gefangen und 2006 mehrere laichreife Individuen im kleinen Oderhaff nachgewiesen (Wiesner et al. 2010). Im Jahr 2012 wurde die Schwarzmundgrundel schließlich im Mittellandkanal in Niedersachsen entdeckt (Matteikat et al. 2016). Außerdem ist in Zukunft über zwei weitere Invasionskorridore eine weitere Ausbreitung zu erwarten. Ein Kanalsystem, das die Flüsse Ems, Weser, Elbe und Oder mit der Vistula in Polen verbindet und Verbindungen zwischen dem Oberen Rhein und der Mosel zu den Flüssen Seine, Loire, Marne und Rhône in Frankreich bieten neue Möglichkeiten für die Grundeln, weitere Gebiete zu besiedeln (Roche et al. 2013).

Ausbreitung

Die Frachtschifffahrt, starker Bootsverkehr und Uferverbau sind bestätigte Faktoren, die stark zur Ausbreitung der Grundeln beitragen (Roche et al. 2013, Holm et al. 2017, Cerwenka et al.

2023). Wolter & Röhr (2010) bestätigten außerdem, dass sich von allen etablierten gebietsfremden Arten nur die Grundelarten tatsächlich im gesamten Gewässernetz durch Kanalverbindungen und die Schifffahrt ausbreiten, während die Bestände anderer Arten eher rückläufig sind oder sich nicht verändern. Nogueira Tavares et al. (2020) konnten außerdem verschiedene Ausbreitungsmuster der Grundeln in der Elbe beobachten, wobei die ursprüngliche Besiedlung eines Gebiets und die sprunghafte Ausbreitung vor allem durch menschlichen Transport bedingt ist. Anschließend erfolgte flussabwärts eine schnelle Besiedlung vor allem durch juvenile Grundeln und eine langsamere flussaufwärts gerichtete Ausbreitung sowie eine laterale Invasion bedingt durch einen Schiffskanal im mittleren Flussabschnitt (Nogueira Tavares et al. 2020).

Die Invasion der Schwarzmundgrundel durchläuft mehrere Phasen von der ersten Einführung, über die Ausbreitung bis zur Etablierung. Bereits ein Jahr nach der Einführung in ein neues Gebiet kann sich die Populationsdichte der Schwarzmundgrundel verdoppeln und eine vergleichbare Dichte wie in länger etablierten Gebieten erreichen (Brandner et al. 2013a). Nach der anfänglichen „Boom“-Phase mit starkem Individuen- und Populationswachstum führt die erhöhte intraspezifische Konkurrenz jedoch zum Rückgang des Wachstums (Brandner et al. 2018). Die Invasion der Grundeln in der Donau schreitet jedoch weiter mit hoher Geschwindigkeit voran, wobei diese nach Brandner et al. (2013a, 2013b) vermutlich bisher unterschätzt wurde. Trotz fehlender Schwimmblase konnte nachgewiesen werden, dass Schwarzmundgrundeln pro Jahr eine Strecke von bis zu 17 km zurücklegen können. Azour et al. (2015) konnten sogar eine Ausbreitungsrate der Schwarzmundgrundeln von 10-30 km pro Jahr beobachten. Dabei scheint die voranschreitende Invasion in der Donau nicht durch einen erhöhten Reproduktionserfolg, sondern durch hohen Ausbreitungsdruck in dicht besiedelten Gebieten bedingt zu sein, wobei vor allem große Individuen die Invasion vorantreiben (Brandner et al. 2013a). Im Gegensatz zu den meisten einheimischen Arten scheinen die Grundeln vom großflächigen Verbau der Gewässer zu profitieren. Da Felsen und Steinschüttungen als das bevorzugte Habitat der Grundeln gelten und der größte Teil des 33.000 km langen europäischen Binnenwasserstraßennetzes mit Steinschüttungen zur Ufersicherung versehen ist, finden sie dort gute Voraussetzungen für eine weitere Ausbreitung (Wolter & Röhr 2010). Während die Schwarzmundgrundel vor allem Blocksteinschüttungen entlang der Ufer als Habitat bevorzugt, konnten Kesslergrundeln in allen Habitattypen nachgewiesen werden (Borcherding et al. 2011). Da die Marmorierete Grundel und die Flussgrundel keine hohen Populationsdichten erreichen und hauptsächlich in langsam fließenden Nebengewässern und auf sandigem Substrat vorkommen, stellen sie keine der Hauptgefährdungen der einheimischen Fischfauna dar (Borcherding et al. 2011, Jakovlić et al. 2015). Beide Arten finden in der stauregulierten Donau jedoch oft einen günstigen Lebensraum vor (Seifert & Hartmann 2000).

Vorkommen

Das Vorkommen der verschiedenen Grundeln ist stark artspezifisch und unterliegt örtlichen und jahreszeitlichen Schwankungen. Borcherding et al. (2013) zeigten beispielsweise, dass juvenile Grundeln sich bevorzugt in Habitaten mit kiesigem und sandigem Untergrund aufhalten, wobei vor allem das Vorkommen juveniler Kessler- und Flussgrundeln jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt. Laut Cerwenka et al. (2018) ist die Schwarzmundgrundel hinsichtlich ihrer Abundanz und die Marmorierete Grundel hinsichtlich ihrer Ausbreitung und Beständigkeit am erfolgreichsten, wohingegen die Kesslergrundel das geringste Potenzial zeigt (Cerwenka et al. 2018). Auch Jakovlić et al. (2015) beobachteten eine geringe Ausbreitung der Kesslergrundel bei geringer Schiffsaktivität, wohingegen die Schwarzmundgrundel unab-

hängig davon ein großes Invasionspotenzial zeigte. Dennoch hat sich die Kesslergrundel inzwischen in der gesamten schiffbaren Donau etabliert und über den Main-Donau-Kanal hinaus in den Rhein verbreitet (LFV 2015). Von den gebietsfremden Grundelarten verfügt die Schwarzmundgrundel über das größte Ausbreitungsgebiet und ist im gesamten Donauverlauf bis zur derzeitigen Ausbreitungsgrenze bei Vohburg (Stand 2014), sowie in großen Teilen des Rheineinzugsgebiets anzutreffen, wo sie sich über den Niederrhein in das Maas-Schelde System ausbreitet (LFV 2015, Brandner et al. 2018). In der oberen Donau und der oberen Elbe dominieren die Grundeln inzwischen die gesamte Fischfauna mit einem Anteil von über 70 % am gesamten Fischfang mit der Schwarzmundgrundel als häufigste Art (Cerwenka et al. 2018, Janáč et al. 2019). In der oberen Elbe war die Schwarzmundgrundel bereits drei bis vier Jahre nach der Ersteinführung die dominante Fischart (Janáč et al. 2019). Auch in der oberen Donau machten Schwarzmundgrundeln bereits sechs Jahre nach der ersten Aufzeichnung mehr als 50 % des gesamten Fischfangs entlang der Uferbereiche aus, mit Dichten bis zu 20 Individuen pro Quadratmeter (Brandner et al. 2012). Andere Grundelarten wie die Marmorierte und die Kesslergrundel kamen dagegen nur in geringen Zahlen vor (Brandner et al. 2018). Borcharding et al. (2011) wiesen dagegen im Rhein Dichten von drei Individuen pro Quadratmeter nach. Dort hatten Kesslergrundeln den größten Anteil von 52,5-68 % am Gesamtfang, wohingegen die Schwarzmundgrundeln 12-25 % ausmachten. Dabei handelte es sich jedoch wahrscheinlich lediglich um eine vorübergehende Erscheinung, und heute dominiert auch im Rhein die Schwarzmundgrundel (IKSR 2021). Die Flussgrundel hatte dagegen nur einen Anteil von 4 % am Gesamtfang (Borcharding et al. 2011). Die Nackthalsgrundel wurde bisher nicht im Rheinsystem nachgewiesen. Eine zukünftige Einwanderung/Einschleppung aus der bereits besiedelten deutschen Donau oder dem Einzugsgebiet der Ostsee, welches über osteuropäische Kanäle erreicht wurde, ist zu erwarten (IKSR 2013). Es ist wahrscheinlich, dass die Art mittlerweile in allen Donau-Anrainerstaaten bis zum Delta vorkommt (LFV 2015). Im Rhein konnte bereits beobachtet werden, dass die Kondition der Grundeln bei stetiger Zunahme der Populationsdichte abnimmt, was darauf hindeutet, dass die maximale Kapazität des Ökosystems dort bereits erreicht ist (Borcharding et al. 2013).

Während Grundeln der Gattungen *Proterorhinus* und *Neogobius* in den Wasserstraßen Deutschlands bereits weit verbreitet sind, ist auch eine weitere Ausbreitung der Schläfergrundel (*Perccottus glenii*) zu erwarten. Neben der Schwarzmundgrundel wurde die Schläfergrundel von Vilizzi et al. (2019) als Art mit hohem globalem Risiko eingestuft. Seit 2013 wurden bereits mehr als 60 Individuen dieser Art in kleineren Wasserläufen der oberen Donau gefangen (Nehring & Steinhof 2015). Ihr Vorkommen ist vermutlich auf die unbeabsichtigte Freilassung aus nahe gelegenen Fischteichen zurückzuführen, in die die Art mit Fischbesatz unabsichtlich eingeschleppt worden ist (Nehring & Steinhof 2015). Dieses Vorkommen der Schläfergrundel könnte eine Quelle für deren mögliche stromabwärts gerichtete Ausbreitung werden und damit Lebensräume entlang der oberen und mittleren Donau in Deutschland, Österreich, der Westslowakei und Zentralungarn bedrohen (Reshetnikov & Schliewen 2013). Eine ökologische Risikobewertung ergab, dass diese Art eine Bedrohung für die biologische Vielfalt der Süßwasserfauna in Deutschland darstellt (Nehring & Steinhof 2015). 2016 wurde die Art in die Liste der invasiven Arten von unionsweiter Bedeutung aufgenommen (Nehring 2016).

Viele Faktoren, die den Invasionserfolg der Grundeln begünstigen, wie der Ausbau von Kanälen (Holm et al. 2014), die Schifffahrt (Stemmer 2008, Buřič et al. 2015) oder der Klimawandel (Galil et al. 2007), wurden bereits untersucht. Auch wenn diese Faktoren den Erfolg der Grundeln nach ihrer ersten Einführung erklären, bleibt die Frage offen, wann und wieso sie

sich in einem bestimmten Gebiet etabliert haben (Roche et al. 2013). Da der Kanalbau bereits im 17. Jahrhundert begann (Bij de Vaate et al. 2002), kann die starke Ausbreitung in den 1990er Jahren nicht allein dadurch erklärt werden, genauso wenig wie der Klimawandel das Einwandern der Grundeln in die kältere Ostsee erklären kann (Roche et al. 2013). Da zudem detaillierte Informationen aus dieser Zeit fehlen, ist es schwierig die genauen Ausbreitungswege vieler Arten nachzuvollziehen (Bij de Vaate et al. 2002).

Eine weitere Grundelart, die ein erhebliches invasives Potenzial aufweisen könnte, ist laut Harka et al. (2014) und Borcharding (pers. Mitt.) die nur wenige Zentimeter große Kaukasus-Grundel (*Knipowitschia caucasica*), die sich bereits im Flusssystem der Theiß/Tisza in Ostungarn befindet und den Rhein bereits erreicht hat (Borcharding et al. 2021).

2.6 Resümee

Die Recherchen zum subaquatischen Faunen- und Florenttransfer durch Kanäle lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Invasive Arten in aquatischen Ökosystemen weltweit

Aquatische Ökosysteme sind besonders durch invasive Arten gefährdet. Die See- und Binnenschifffahrt sind wesentliche Faktoren, welche diese Entwicklung ausgelöst haben und auch weiter vorantreiben. Weltweit sind überwiegend Wirbeltiere (Vertebraten) und wirbellose Tiere (Invertebraten) als gebietsfremde und invasive Arten in allen aquatischen Habitaten vertreten (siehe Abb. 2). Zu den aquatischen Wirbeltier-Taxa zählen vor allem Fische, Amphibien und Reptilien. Bei den Wirbellosen Tieren sind es vor allem Weichtiere (Mollusca) und Gliederfüßer (Arthropoda). Vor allem in rein marinen Habitaten dominieren neben den Wirbeltieren, die Wirbellosen Tiere und die Algen. Der Hauptteil der Pflanzen ist terrestrisch und ein kleiner Teil ist auch in Süßwasser sowie gemischten Habitaten vertreten. Algen kommen vorwiegend in marinen und Brackwasser Habitaten vor. Es sind wenige gebietsfremde Pilzarten bekannt, welche im Süßwasser vorkommen, dabei leben sie vorwiegend parasitär auf anderen Lebewesen.

Weltweite Eintrags- und Ausbreitungspfade

Je nach Lebensweise und Habitat der gebietsfremden und invasiven Arten ergeben sich unterschiedliche Einbringungs- und Ausbreitungspfade. Weltweit sind für marine Arten vor allem die Eintragungspfade „Korridore“ und „Transport – Verunreinigung & blinde Passagiere“ sowie „Flucht aus Gefangenschaft“ zu nennen. Im Süßwasser sind weltweit die Haupteintragspfade für gebietsfremde und invasive Arten „Flucht aus der Gefangenschaft“ und „Freisetzung in der Natur“. Für Arten, die in verschiedenen Habitaten leben können, sind die Haupteintragspfade ebenfalls „Flucht aus Gefangenschaft“ und „Freisetzung in der Natur“ ausschlaggebend (siehe Abb. 3).

Weltweit dominieren für marine Arten die Ausbreitungspfade „Verbundene Wasserstraßen/Becken/Meere“ „Sonstiger Transport als blinder Passagier“. Diese Beobachtung ergibt sich vor allem aus der großen Anzahl an marinen Algen, Muscheln, Schnecken, Invertebraten usw., welche als Aufwuchs auf den Schiffs- und Bootsrümpfen oder im Ballastwasser der Schiffe eingeschleppt und durch die Korridore (z.B. Suezkanal) ausgebreitet werden. Für Organismen die ausschließlich im Süßwasser leben, sind die meistgenannten Ausbreitungspfade „Zierzwecke“, „Aquakultur“ sowie „Haustiere/Aquarien/Terrarien“. Die häufigsten Ausbreitungspfade für Lebewesen mit verschiedenen Habitaten sind „Haustiere/Aquarien/Terrarien“ und „Aquakultur“ und besteht hauptsächlich aus Amphibien und Reptilien (siehe Tab. 2).

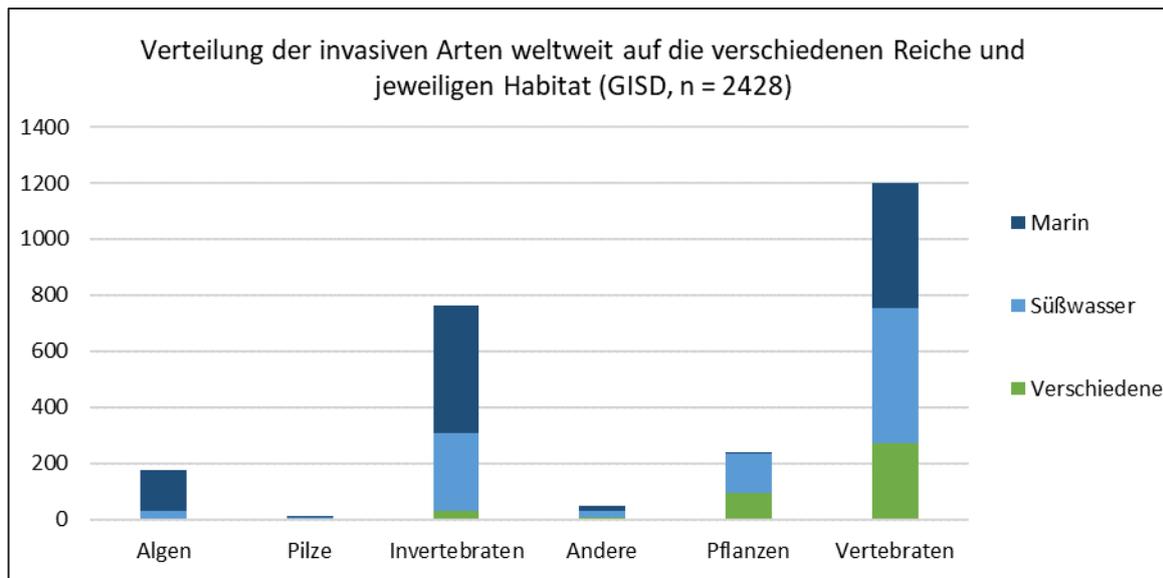


Abb. 2: Anzahl der weltweit als invasiv eingestufteten Arten, aufgeteilt nach Lebensräumen und dem zugehörigen Reich. Daten aus Global Invasive Species Database (GISD); insgesamt werden 2428 Arten aufgelistet (GISD Datensatz aus Saul et al. 2016). Lebensraum „Verschiedene“ umfasst Süßwasser, Brackwasser und marine Lebensräume.

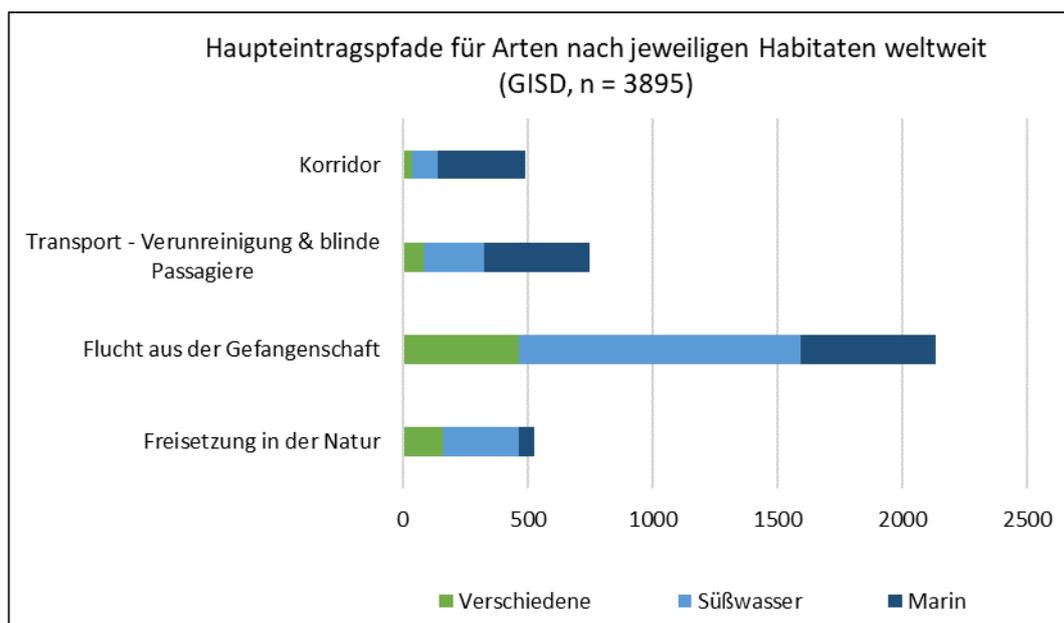


Abb. 3: Anzahl der Arten entsprechend ihren Haupteintragspfaden (Pathway: Main category according to CBD Scheme) (GISD Datensatz aus Saul et al. 2016, n = 3895 bei 2428 berücksichtigten Arten; Mehrfachnennungen sind möglich, da eine Art durch verschiedene Pfade eingebracht werden kann).

Eintragspfade für Deutschland

Ein Großteil der aquatischen gebietsfremden und invasiven Arten gelangt über die Eintragspfade „Verbundene Wasserstraßen/Becken/Meere“, „Sonstiger Transport als blinder Passagier“ und „Ballastwasser von Schiffen/Booten“ nach Deutschland. Die drei genannten Pfade gelten für alle Habitats und besonders für im Süßwasser sowie Süßwasser-Brackwasser

lebende Arten. Für Arten, die auch in marinen Bereichen leben können, spielt zudem der Pfad „Bewuchs des Schiffs-/Bootsrumpfes“ eine entscheidende Rolle (siehe Abb. 4).

Unterschieden nach Tiergruppen wird deutlich, dass sich Vertebraten, vor allem Fische, hauptsächlich durch „Verbundene Wasserstraßen/Becken/Meere“ ausbreiten, wohingegen Wirbellose Tiere durch mehrere Pfade verbreitet werden (kombinierter Datensatz mit 60 invasive aquatische Arten, deren Eintrags- und Ausbreitungspfade in Deutschland bekannt sind; GRIS und GISD aus Saul et al. 2016).

Die Einbringung und Ausbreitung von Makroinvertebraten (Gastropoden/Anneliden) findet vor allem durch Schiffe und durch eine aktive Migration in verbundene Habitate statt. „Verbundene Wasserstraßen“ „Ballastwasser“ und „Bewuchs von Schiffen und Booten“ gehören zu den drei Hauptausbreitungspfaden der Invertebraten. Allgemein werden Invertebraten auch als „Sonstige blinde Passagiere“ ausgebreitet. Die Einbringung geschieht allgemein ebenfalls über den Aquarienhandel (angeheftet an Aquarienpflanzen, Entsorgung von Aquarieninhalten) sowie indirekt über Fischbesatz.

Tab. 2: Rangliste der sieben meistgenannten Ausbringungspfade (von insgesamt 38 Kategorien) und die Anzahl der gebietsfremden und invasiven Arten weltweit für drei verschiedene Habitate; (GISD Datensatz aus Saul et al. 2016, n = 2757 bei 2428 berücksichtigten Arten; Mehrfachnennungen sind möglich, da eine Art durch verschiedene Pfade ausgebracht werden kann).

Ausbringungspfade	Habitate / Anzahl Arten			
	Süßwasser	Marin	Verschiedene	Summe
1. Verbundene Wasserstraßen/ Becken/Meere	102	351	36	489
2. Aquakultur	251	149	79	479
3. Sonstiger Transport als blinder Passagier	139	325	14	478
4. Haustiere/Aquarien/Terrarien	251	21	199	471
5. Zierzwecke	317	62	57	436
6. Botanischer Garten/Zoo/ Aquarien	100	269	35	404
7. Fischerei	176	55	54	285
Ergebnis	1160	1177	420	2757

Hauptausbreitungspfade in Deutschland

In Deutschland sind die allgemeinen Hauptausbreitungspfade für gebietsfremde und invasive Arten aus allen Habitaten „Handel“, „Ballastwasser“, „Schiffsbewuchs“ und „aktive Wanderung“. Weiter sind „natürliche Fernausbreitung durch Wasser- oder Meeresströmungen“ sowie „Kanäle“ und „Besatz“ von Bedeutung (siehe Abb. 5).

Für Süßwasser Arten stimmen die oben genannten Pfade für die Einbringung nach Deutschland überein, wobei „Handel“, „aktive Wanderung“ „natürliche Fernausbreitung“ und „Besatz“ die häufigsten Einbringungspfade darstellen. Für Arten im Süßwasser ist nur der Pfad

„Ballastwasser“ weniger von Bedeutung. Für marine Organismen dominieren „natürliche Fernausbreitung“, „Ballastwasser“ und „Schiffsbewuchs“. Zusätzlich können sich marine Arten noch über den Pfad „Aquakultur“ in Deutschland ausbreiten. Die Ausbreitung zwischen Brackwasser und marinen Habitaten erfolgt hauptsächlich durch „Schiffsbewuchs“, „Ballastwasser“, „natürliche Fernausbreitung“ und „Aquakultur“. Der Übergang zwischen Süßwasser und Brackwasser wird, ähnlich wie bei den marinen Organismen, von den drei Kategorien „natürliche Fernausbreitung“ und „Ballastwasser“ bestimmt, jedoch kommen hier noch „Kanäle“ und „Angelzubehör“ hinzu.

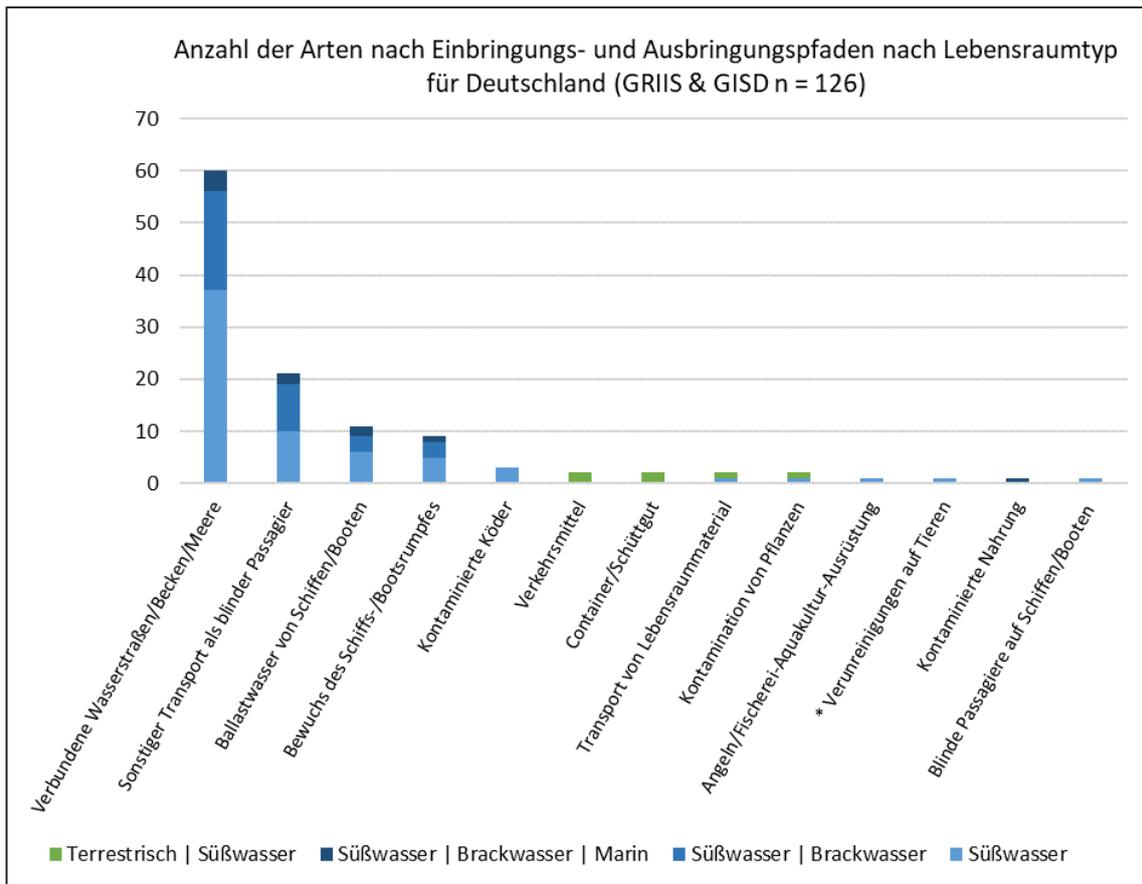


Abb. 4: Anzahl der Arten pro Einbringungs- bzw. Ausbringungspfad in Deutschland (kombinierter Datensatz GRIIS und GISD mit 60 invasiven Arten in Deutschland). Kategorien entsprechen den GISD Daten (*außer Parasiten und Arten, die durch Wirt und Vektor transportiert werden).

Die Ausbreitungspfade werden vor allem auch durch die Lebensweise der aquatischen Organismen beeinflusst. Eine Auflistung der häufigsten Taxa bzw. Stämme nach Habitaten macht deutlich, dass die meisten in Deutschland als gebietsfremd und invasiv eingestuft Arten aus der Gruppe der Wirbellosen Tiere stammen. Dabei nimmt der Stamm der Gliederfüßer (Arthropoda) eine herausragende Stellung ein, gefolgt vom Stamm der Weichtiere (Mollusca). Die meisten Gliederfüßer gehören zum Unterstamm der Krebstiere (Crustacea), wobei die Flohkrebse (Amphipoden) und die Höheren Krebse (Malacostraca) zu den erfolgreichsten invasiven Vertretern gehören (siehe Abb. 6).

Der zweite große Tierstamm der Chordatiere (Chordata), die vor allem in Süßwasserbereichen leben, umfasst Wirbeltiere wie Fische, Amphibien, Vögel und Säugetiere sowie Reptilien.

Sie sind auch am häufigsten in Übergangshabitaten (Terrestrisch-Süßwasser / Süßwasser-Brackwasser / Brackwasser-Marin) vorzufinden, gefolgt von den Gefäßpflanzen (Tracheophyta). Im Bereich der marinen Habitate überwiegen ebenfalls die Gliederfüßer, gefolgt von den Weichtieren. In marinen Habitaten sind auch zahlreiche Spezies aus dem Stamm der Ringelwürmer (Annelida) vertreten. Als Wirt, also parasitäre Lebensformen, sind vor allem die Stämme der Ringelwürmer und der Gliederfüßer zu nennen.

Bei Organismen die in marinen, Brackwasser und Süßwasser Habitaten leben können, sind die Ausbreitungspfade weniger eindeutig und wesentlich vielfältiger. Hier sind „Kanäle“ gleichbedeutend mit „aktiver Wanderung“ und „Ballastwasser“ wird genauso häufig genannt wie „Besatz“ und „Schiffsbewuchs“.

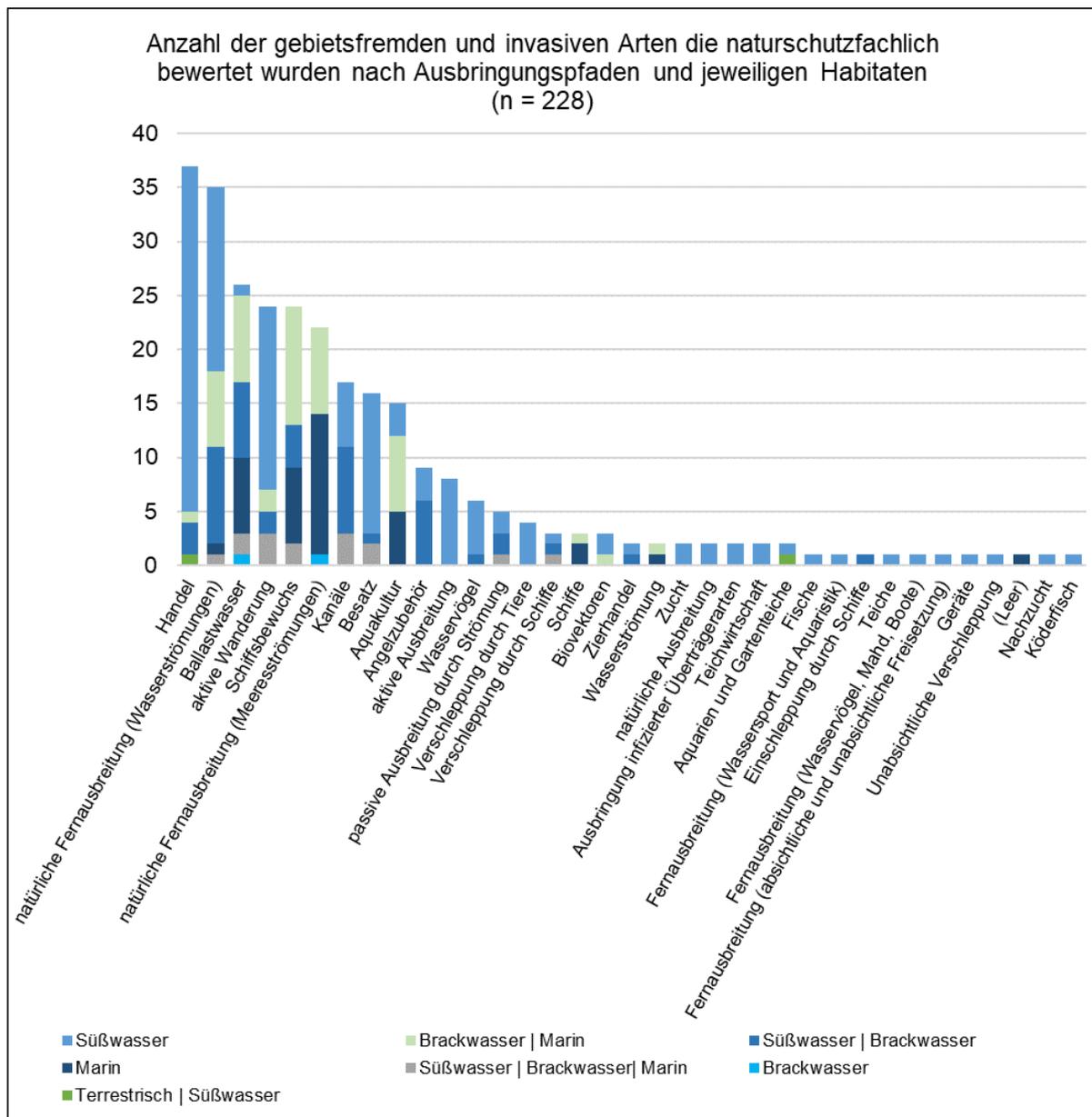


Abb. 5: Anzahl der gebietsfremden Arten nach Ausbringungspfaden und jeweiligen Habitaten (ausgewertet wurden 103 aquatische Arten, die naturschutzfachlich einer Invasivitätsbewertung unterzogen wurden; Mehrfachnennungen sind möglich).

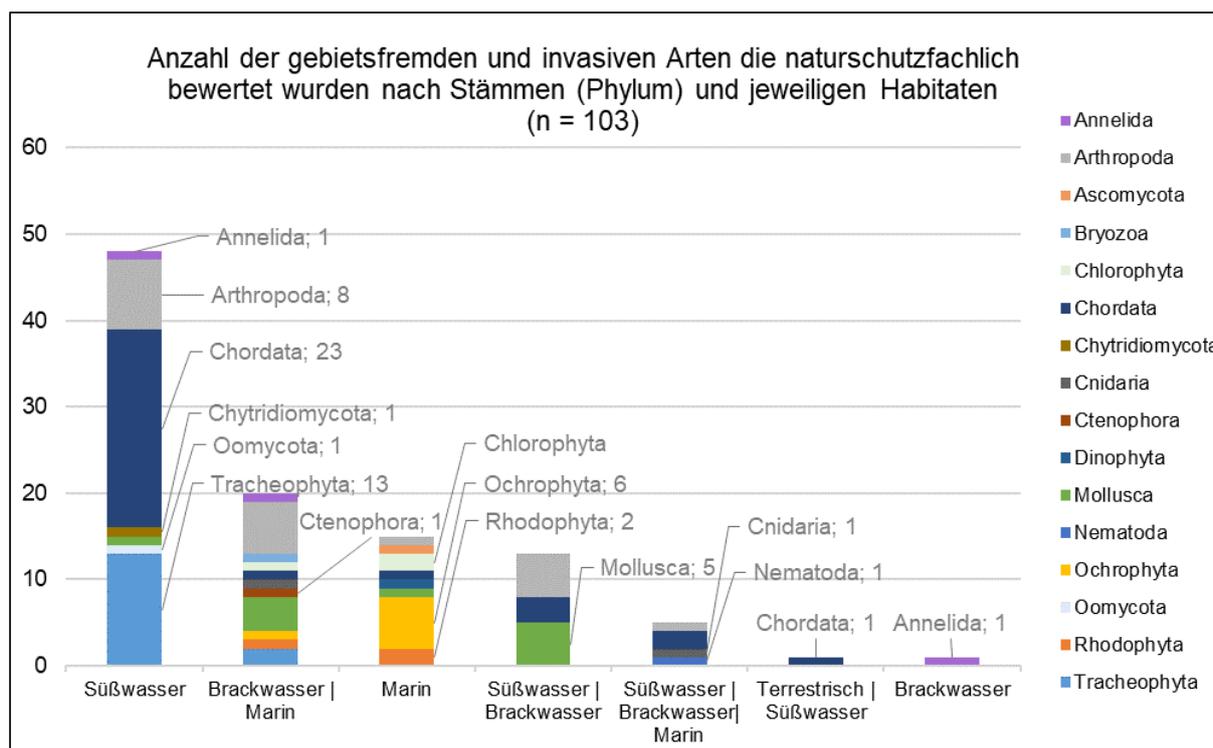


Abb. 6: Anzahl der gebietsfremden Arten nach Habitaten und Stämmen (Phylum) aus der naturschutzfachlichen Invasivitätsbewertung für Deutschland. Annelida = Ringelwürmer; Arthropoda = Gliederfüßer; Ascomycota = Schlauchpilze; Bryozoa = Moostierchen; Chlorophyta = Grünalgen; Chordata = Chordatiere, Chytridiomycota = Töpfchenpilze; Cnidaria = Nesseltiere; Ctenophora = Rippenquallen; Dinophyta = Dinoflagellaten; Mollusca = Weichtiere; Nematoda = Schnurwürmer; Ochrophyta = Kieselalgen; Oomycota = Eipilze; Rhodophyta = Rotalgen; Tracheophyta = Gefäßpflanzen.

Transfer in den Kanälen in Deutschland nach Habitaten (Kanaltypen) und Tiergruppen

Zur Ermittlung der wesentlichen Prozesse für den subaquatischen Transfer von Flora und Fauna entlang von Kanälen in Deutschland wurden die Erkenntnisse aus wissenschaftlichen Publikationen sowie wichtige Schriften über gebietsfremde und invasive Arten (Rabitsch & Nehring 2017, Nehring et al. 2013a, b, Rabitsch et al. 2013, Nehring et al. 2015) analysiert und in den folgenden Tabellen zusammengefasst. Es werden drei verschiedene Kanaltypen und ihre spezifischen Lebensräume unterschieden:

1. **Süß-Süß** = Kanäle die Süßwasser mit Süßwasser verbinden
2. **Süß-Brack/Marin** = Kanäle die Süßwasser mit Brack- bzw. Meerwasser verbinden
3. **Brack/Marin-Brack/Marin** = Kanäle die Brack- bzw. Meerwasser mit Brack- bzw. Meerwasser verbinden

Da es in Deutschland keine rein marinen Kanäle gibt, wurden alle Kanäle oder Flussmündungen mit marinem Einfluss, die für den Transfer von aquatischen Arten in Deutschland eine Rolle spielen, als eine Mischung aus Meer- und Brackwasser (Brack/Marin) eingestuft.

Süß-Süß

Unterscheidet man nach Tiergruppen und Lebensraum, so herrscht im Süßwasser die größte Artenvielfalt für invasive und gebietsfremde Arten. In diesem Habitat kommen die meisten

gebietsfremden und invasiven Arten aus dem Reich der Wirbeltiere vor. Die Gruppe der Fische ist bei den Wirbeltieren am häufigsten vertreten. Amphibien, Reptilien und Säugetiere zählen ebenfalls zu den Wirbeltieren und sind allerdings beim Transfer nicht nur an die Kanäle gebunden, da sie sich auch außerhalb des Wassers, unter zusätzlicher Nutzung der Gewässerrandstreifen ausbreiten können.

Bei der Gruppe der Fische sind aktive Ausbreitung durch Wanderung und Transport über Ballastwasser oder Aufwuchs auf Binnenschiffen oder Sport- bzw. Freizeitbooten die wichtigsten Transfermöglichkeiten (siehe Tab. 3). Die Binnenschiffahrt ist beim Transfer von Fischlarven oder von Eiern, die entweder im Ballastwasser oder an Schiffsteile geheftet sind, der entscheidende Vektor, vor allem für Grundelarten. Die Beschaffenheit der Kanäle (Blocksteinschüttung) begünstigt zudem die Einnischung und ein aktives Wandern invasiver Arten (v.a. für Grundelarten und Höhere Krebse) entlang der befestigten Ufer. Durch gut erschlossene Kanalsysteme können Larven und Jungfische von Fischen passiv mittels Strömung oder Wasserleitung durch die Kanäle verbreitet werden. Weitere relevante Prozesse für die Ausbreitung invasiver Fischarten in den Kanälen sind der Besatz mit gebietsfremden Arten (z.B. Wolgazan-der) oder das Aussetzen von nicht mehr verwendeten Köderfischen (z.B. Grundelarten) oder die Entledigung von Organismen aus Aquarien.

Der Transfer von Wirbellosen Tieren im Süßwasser geschieht, nach der Einfuhr über den Schiffsverkehr (Ballastwasser/Schiffsrumpf/sonstiger blinder Passagier), hauptsächlich durch den Transport mit der Binnenschiffahrt und durch Sport- und Freizeitboote. Eine weitere Ausbreitung zwischen Flussgebieten durch Kanäle kann passiv oder aktiv geschehen, je nach Schwimmfähigkeit der Organismen. Durch die Wasserströmung in Kanälen, verursacht durch die Wasserüberleitung oder die Schiffahrt, kann es zu einem Verdriften von Makroinvertebraten, Fadenwürmern, Eiern oder Larvenstadien kommen.

Viele Krebsarten aus der Gruppe der Decapoden, wie z.B. die Wollhandkrabbe, können auch selbstständig weite Strecken zurücklegen, weshalb die aktive Ausbreitung zu einem der relevantesten Prozesse bei den Gliederfüßern gehört. Die Nutzung der invasiven und gebietsfremden Krebse oder Muscheln als Köder beim Angelsport oder die Entledigung im Kanal (vor allem von Höheren Krebsen) ist ein als weniger relevant eingestuft, aber bestehender Transferweg. Bei den Weichtieren kann es vorkommen, dass infizierte Wirtsfische als Besatzfische in die Kanäle eingesetzt werden oder eine Entledigung der Muscheln in den Kanal stattfindet (z.B. Chinesische Teichmuschel). Die Larven der Weichtiere werden hauptsächlich über Ballastwasser transferiert, wohingegen adulte Tiere vor allem als Aufwuchs an der Schiffsaußenhaut von Binnenschiffen oder Sport- und Freizeitbooten übertragen werden.

Die initiale Einfuhr der beiden in Deutschland vorkommenden gebietsfremden Pilzarten ist über den Transport der assoziierten Wirtsorganismen (Biovektoren) im Ballastwasser, über Forschung sowie Ausbreitung von Organismen aus dem Aquarien- bzw. Zierhandel geschehen (siehe Tab. 4). Der weitere Transfer der Pilze zwischen den Kanälen geschieht vor allem durch die aktive Ausbreitung von bereits infizierten Überträgerarten. Zudem kann auch ein Transport von Sporen durch die Wasserströmung innerhalb der Kanäle oder die aktive Verschleppung kontaminierter Ausrüstung (z.B. Angelzubehör, Wathosen, Tauchausrüstung) zur weiteren Ausbreitung beitragen. Bei den invasiven und gebietsfremden Pflanzen ist der Handel (Aquaristik) Haupteinbringungsvektor in Deutschland und der Transfer über das Kanalsystem geschieht hauptsächlich über das Verdriften von Pflanzenfragmenten, Samen oder anderen Fortpflanzungseinheiten durch Wasserströmung. Weitere weniger relevante Transfermöglichkeiten zwischen Flussgebieten sind die Verschleppung durch Tiere (z.B. Wasservögel) oder

wasserassoziierte Geräte (z.B. Sport- oder Mähboote, Angelzubehör), sowie die direkte Entledigung von Pflanzen im Kanal (Aquaristik) (siehe Tab. 4).

Tab. 3: Auflistung der relevanten Tiergruppen aus dem Reich der Wirbellosen Tiere und Wirbeltiere unter Berücksichtigung der Prozesse und Relevanz, welche beim Transfer in Kanälen im Lebensraum Süßwasser-Süßwasser verantwortlich sind. Die Relevanz der Transfermöglichkeiten für die jeweilige Artengruppe ist in drei Stufen gegliedert: + „geringe Relevanz“; ++ „mittlere Relevanz“; +++ „hohe Relevanz“. Die Einstufung erfolgte basierend auf der durchgeführten Literaturrecherche.

Prozess und Ausmaß	Artengruppen				
	Fische (Pisces)	Amphibien (Amphibia) Reptilien (Reptilia) Säugetiere (Mammalia)	Weichtiere (Mollusca)	Gliederfüßer (Arthropoda)	Ringelwürmer (Annelida)
Aktive Ausbreitung (Wanderung entlang von Kanälen oder Korridoren*)	+++	+++ (Korridore)		+++ (v.a. Decapoda)	
Transport über Ballastwasser von Binnenschiffen/Bilgenwasser Sport- und Freizeitbooten	++ (Larven & Eier v.a. Grundelarten)		++ (v.a. Larven)	++ (v.a. Makroinvertebraten)	+ (v.a. Süßwasser-Borstenvurm)
Transport mit Bewuchs von Binnenschiffen/Sport- und Freizeitbooten	++ (Eier v.a. Grundelarten)		+++ (v.a. adulte Tiere)	++ (v.a. Makroinvertebraten)	
Besatz im Kanal/Verwendung als Köder	+ (Besatz & Köder)		+ (Besatz mit infizierten Wirtsfischen)		
Entledigung im Kanal	+	+ (v.a. Amphibien)	+	+	
Passive Ausbreitung zwischen Kanälen/ entlang der Wasserstraßen durch Wasserströmung	+ (Larven bzw. Jungfische)		++ (v.a. Larven)	+ (v.a. Larven der Decapoda & Makroinvertebraten)	++ (v.a. Larven)
Verschleppung durch Tiere oder andere Mechanismen					

*Beim Begriff Korridor ist hier der wasserführende Kanal sowie das Ufer bzw. der Uferstrandstreifen gemeint, welcher von den jeweiligen Tiergruppen zur Ausbreitung ebenfalls genutzt werden kann.

Tab. 4: Auflistung der relevanten Tiergruppen aus dem Reich der Pflanzen und Pilze unter Berücksichtigung der Prozesse und Relevanz, welche beim Transfer in Kanälen im Lebensraum Süßwasser-Süßwasser verantwortlich sind. Die Relevanz der Transfermöglichkeiten für die jeweilige Artengruppe ist in drei Stufen gegliedert: + „geringe Relevanz“; ++ „mittlere Relevanz“; +++ „hohe Relevanz“. Die Einstufung erfolgte basierend auf Fachwissen (Experten) und der durchgeführten Literaturrecherche.

Prozess und Ausmaß	Artengruppen Pflanzen und Pilze	
	Pflanzen (Spermatophyta)	Pilze (Fungi)
Aktive Ausbreitung (Wanderung entlang von Kanälen)		++ (v.a. Krebse und Amphibien (= Biovektoren))
Transport über Ballastwasser von Binnenschiffen/Bilgenwasser von Sport- und Freizeitbooten		++
Transport mit Bewuchs von Binnenschiffen/Sport- und Freizeitbooten		
Besatz im Kanal/Verwendung als Köder		
Entledigung im Kanal	+	+ (Krebse und Amphibien als infizierten Überträgerarten)
Passive Ausbreitung zwischen Kanälen/ entlang der Wasserstraßen durch Wasserströmung	+++ (Fragmente & Ausbreitungseinheiten)	++ (v.a. Sporen)
Verschleppung durch Tiere oder andere Mechanismen	+++ (Anheften an Wasservögeln, Sportbooten, Angelzubehör etc.)	+ (Kontamination mit Sporen von Angelzubehör z.B. Watkleidung)

Derzeit gibt es noch zu wenige systematische Untersuchungen zu den Auswirkungen des Ballastwassertransportes in der Binnenschifffahrt, genauso wie zum Thema Aufwuchs. Durch die intensive Forschung an den Grundeln in der Schweiz (Holm et al. 2017) ist allerdings bekannt, dass Sportboote (hier Boote) auch einen großen Anteil an dem Transfer gebietsfremder und invasiver Arten haben können. Diese Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass andere taxonomische Gruppen, welche als Aufwuchs vorkommen können oder im Ballastwasser transportfähig sind (z.B. Schnecken, Muscheln, Flohkrebse), auf dem gleichen Weg im Süßwasser durch die Schifffahrt und die Kanäle transportiert und verbreitet werden.

Süß-Brack/Marin

Der Lebensraum zwischen Süßwasser und Brackwasser/Marin ist ein äußerst spezielles Habitat und daher sind hier weniger Artengruppen und Spezies vertreten als in den anderen Kanaltypen. Ein Transfer durch Kanäle passiert in diesem Fall hauptsächlich durch den Schiffsverkehr, vor allem für Weichtiere und Gliederfüßer (siehe Tab. 5). Der Transport durch Ballastwasser sowie durch Aufwuchs an der Schiffsaußenhaut von Frachtschiffen und Sport- sowie Freizeitbooten sind dabei ebenfalls relevante Prozesse. Höhere Krebse sowie Fische

können in diesem Habitat auch aktiv durch die Kanäle wandern. Eine Drift von Fischlarven und kleineren Organismen, wie Makroinvertebraten und deren Larvenstadien, ist gleichfalls möglich. Weichtiere wie Muscheln oder Schnecken können, wie die anderen Organismen auch über die Schifffahrt verbreitet werden. Dies ist möglich, entweder als Bewuchs an der Schiffsaußenhaut oder als Larven im Ballastwasser. Die Verschleppung von Tieren oder Larven durch Anheftung an Angelzubehör und Ausrüstung, die in Kontakt mit Wasser stand, besteht zudem als Transferweg für diese Tiergruppe.

Tab. 5: Auflistung der relevanten Tiergruppen aus dem Reich der Wirbellosen Tiere und Wirbeltiere unter Berücksichtigung der Prozesse und Relevanz, welche beim Transfer in Kanälen im Lebensraum Süßwasser-Brackwasser/Marin verantwortlich sind. Die Relevanz der Transfermöglichkeiten für die jeweilige Artengruppe ist in drei Stufen gegliedert: + „geringe Relevanz“; ++ „mittlere Relevanz“; +++ „hohe Relevanz“. Die Einstufung erfolgte basierend auf Fachwissen (Experten) und der durchgeführten Literaturrecherche.

Prozess und Ausmaß	Artengruppen Wirbeltiere und Wirbellose Tiere				
	Fische (Pisces)	Weichtiere (Mollusca)	Gliederfüßer (Arthropoda)	Nesseltiere (Cnidaria)	Fadenwürmer (Nematoda)
Aktive Ausbreitung (Wanderung entlang von Kanälen)	+++		+++ (v.a. Decapoda)		++ (Aale als infizierte Überträgerarten)
Transport über Ballastwasser von Frachtschiffen/Binnenschiffen/Bilgenwasser von Sport- und Freizeitbooten	++ (Eier & Larven v.a. Grundelarten)	+++ (Larven)	++ (v.a. Makroinvertebraten)	++ (Larven)	
Transport mit Bewuchs von Binnenschiffen/Sport- und Freizeitbooten	++ (Eier v.a. Grundelarten)	+++ (adulte Tiere)	++ (v.a. Makroinvertebraten)	+++ (sessile Polypen)	
Besatz im Kanal/Verwendung als Köder	+ (Besatz & Köder v.a. Grundelarten)				++ (Besatz mit Aalen als infizierte Überträgerarten)
Entledigung im Kanal					
Passive Ausbreitung zwischen Kanälen/entlang der Wasserstraßen durch Wasserströmung	++ (Larven bzw. Jungfische)	++ (v.a. Larven)	+ (v.a. Larven der Decapoda & Makroinvertebraten)		
Verschleppung durch Tiere oder andere Mechanismen		++ (Anhaftungen an z.B. Angelzubehör)			

Besatzmaßnahmen mit Fischarten, die den marinen/Brackwasser Lebensraum besiedeln können, sind vom Amerikanischen Aal (*Anguilla rostrata*) und vom Wolgazander (*Sander volgensis*) bekannt. Ein aktiver Besatz mit Grundeln findet wahrscheinlich nicht statt, sondern ist eher einem Aussetzen von nicht mehr verwendeten Köderfischen geschuldet. Nesseltiere wie der Keulenpolyp (*Cordylophora caspia*) gehören zu den spezialisierten Tiergruppen in Übergangsbereichen von Süßwasser zu Brackwasser/Marin und sind sehr tolerant was z.B. den Salzgehalt des Lebensraumes betrifft und teilweise fähig hier Massenbestände auszubilden. Unter den Fadenwürmern ist vor allem der parasitär lebende Schwimmblasenwurm (*Anguillicoloides crassus*), welcher ausschließlich Aale befällt, in Deutschland vertreten. Über verschiedene Zwischenwirte (Gammariden) welche von den Aalen gefressen werden, gelangt dieser Parasit schließlich in den Endwirt, wo er seine weiteren Lebensstadien vollziehen kann.

Brack/Marin-Brack/Marin

Als Haupteinfuhrvektoren für invasive und gebietsfremde Arten im marinen Bereich wurden „Ballastwasser“ und „Schiffsbewuchs“ identifiziert. Die gleichen Prozesse sind auch für den Transfer zwischen Brackwasser bzw. Meerwasserkanälen für die relevanten Tiergruppen verantwortlich (siehe Tab. 6). Die relevanten Tiergruppen in diesem Habitat sind vor allem Gliederfüßer, Weichtiere und Mikroorganismen (z.B. Chromista).

Bei den Wirbeltieren sind in Marinen/Brackwasser Habitaten in Deutschland wenige Fischarten vertreten; vor allem die Schwarzmundgrundel (*Neogobius melanostomus*) und in leicht brackigen Lebensräumen auch die Flussgrundel (*Neogobius fluviatilis*) und die Kesslergrundel (*Ponticola kessleri*). Sie werden, ähnlich wie im Süßwasser, durch die Schifffahrt (v.a. Ballastwasser und Aufwuchs) sowie aktive Wanderung durch die Kanäle übertragen. Allerdings gibt es auch bei den Gliederfüßern Arten aus dem Stamm der Decapoda, welche sich im marinen bzw. Brackwasser Bereich durch aktive Wanderung ausbreiten können, wie zum Beispiel die Wollhandkrabbe und die Blaukrabbe (*Callinectes sapidus*). Kleinere Gliederfüßer wie die Pinsel-Felsenkrabbe (*Hemigrapsus takanoi*), die Japanische Felsenkrabbe (*Hemigrapsus sanguineus*) oder die Austral-Seepocke (*Austrominius modestus*) werden vor allem durch Ballastwasser von Frachtschiffen aber auch als Aufwuchs am Schiffsrumpf über die Kanäle transferiert. Die anderen Tiergruppen wie Ringelwürmer, Moostierchen und Manteltiere werden hauptsächlich als Aufwuchs an Frachtschiffen aber auch an Sport- bzw. Freizeitbooten und zum Teil auch im Ballastwasser (v.a. Borstenwürmer und Schlickwürmer) durch die Kanäle übertragen. Kanäle die zwei marine Lebensräume verbinden gibt es in Deutschland nicht. Lediglich der Nord-Ostsee-Kanal und der Ems-Jade Kanal verbinden direkt nur brackwasserbeeinflusste Gewässer.

Weichtiere, wie z.B. der Amerikanische Austerbohler (*Urosalpinx cinerea*), die im marinen Bereich leben, werden vor allem im Aufwuchs an der Außenhaut von Frachtschiffen bzw. von Sport- und Freizeitbooten zwischen den Kanälen transferiert sowie über deren Ballastwasser verbracht (siehe Tab. 7). Gleiches gilt für die Tiergruppen Nesseltiere und Rippenquallen. Relevanter Überträger für Algen und Pflanzen ist ebenfalls die Schifffahrt, vor allem der Transport als Aufwuchs am Schiffs- oder Bootsrumpf sowohl von Frachtschiffen als auch von Sport- und Freizeitbooten. Mikroorganismen, wie zum Beispiel Mikroalgen und Flagellaten, die zu den Chromista gehören, wurden vor allem über Ballastwasser eingeschleppt und werden hauptsächlich weiter zwischen den Kanälen mittels der Schifffahrt (Ballastwasser und Schiffsaufwuchs) übertragen. Der passive Transfer durch Wasserströmung über das Kanalsystem ist bei Mikroorganismen ebenfalls möglich und wird als ein relevanter Prozess eingestuft. Eine aktive anthropogene Ausbreitung von Mikroorganismen kann aber auch durch Transport im

Bilgenwasser von Sport- und Freizeitbooten oder über Verschleppung mit Angelzubehör vorkommen.

Tab. 6: Auflistung der relevanten Tiergruppen aus dem Reich der Wirbellosen Tiere und Wirbeltiere unter Berücksichtigung der Prozesse und Relevanz, welche beim Transfer in Kanälen im Lebensraum Brackwasser/Marin verantwortlich sind. Die Relevanz der Transfermöglichkeiten für die jeweilige Artengruppe ist in drei Stufen gegliedert: + „geringe Relevanz“; ++ „mittlere Relevanz“; +++ „hohe Relevanz“. Die Einstufung erfolgte basierend auf Fachwissen (Experten) und der durchgeführten Literaturrecherche.

Prozess und Ausmaß	Artengruppen				
	Wirbeltiere und Wirbellose Tiere				
	Fische (Pisces)	Gliederfüßer (Arthropoda)	Ringelwürmer (Annelida)	Moostierchen (Bryozoa)	Manteltiere (Tunicata)
Aktive Ausbreitung (Wanderung entlang von Kanälen)	+++	++ (z.B. Woll- handkrabbe)			
Transport über Bal- lastwasser von Frachtschiffen/Bil- genwasser von Sport- und Freizeitbooten	++ (Eier & Larven v.a. Grundelarten)	+++ (v.a. Makroin- vertebraten)	+++		
Transport mit Be- wuchs von Fracht- schiffen/Sport- und Freizeitbooten	++ (Eier v.a. Grundelarten)	+++ (v.a. Makroin- vertebraten)		+++	+++ (v.a. See- scheiden)
Besatz im Kanal/ Ver- wendung als Köder	+ (Köder v.a. Grundelarten)				
Entledigung im Kanal					
Passive Ausbreitung zwischen Kanälen/ entlang der Wasser- straßen durch Was- serströmung		+	+	+	(als Aufwuchs auf anderen Organismen z.B. Algen)
Verschleppung durch Tiere oder andere Mechanismen					

Tab. 7: Auflistung der relevanten Tiergruppen aus dem Reich der Wirbellosen Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen unter Berücksichtigung der Prozesse und Relevanz, welche beim Transfer in Kanälen im Lebensraum Brackwasser/Marin verantwortlich sind. Die Relevanz der Transfermöglichkeiten für die jeweilige Artengruppe ist in drei Stufen gegliedert: + „geringe Relevanz“; ++ „mittlere Relevanz“; +++ „hohe Relevanz“. Die Einstufung erfolgte basierend auf Fachwissen (Experten) und der durchgeführten Literaturrecherche.

Prozess und Ausmaß	Artengruppen Wirbellose Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen		
	Weichtiere (Mollusca) & Nesseltiere & Rippen- quallen (Cnidaria & Ctenophora)	Rotalgen & Gefäßpflanzen (Rodophyta & Tracheophyta)	Eukaryotische Orga- nismen (Chromista)
Aktive Ausbreitung (Wanderung entlang von Kanälen)			
Transport über Ballastwasser von Frachtschiffen/Bilgenwasser von Sport- und Freizeitbooten	+++	+	+++
Transport mit Bewuchs von Frachtschiffen/Sport- und Freizeitbooten	++	+++	++
Besatz im Kanal/Verwendung als Köder			
Entledigung im Kanal			
Passive Ausbreitung zwischen Kanälen/entlang der Wasserstraßen durch Wasserströmung			++
Verschleppung durch Tiere oder andere Mechanismen		+ (Angelzubehör, Netze, Kleidung)	+ (Angelzubehör, Netze, Kleidung)

2.7 Wissenslücken

Weltweit betrachtet gibt es eine Vielzahl von gebietsfremden und invasiven Arten. Deren Biologie sowie Invasionsmechanismen sind jedoch erst für eine begrenzte Anzahl an Arten gut untersucht (Hulme 2009a, Pyšek et al. 2020, Olden et al. 2021, Jeschke et al. 2022b), wobei der Schwerpunkt insbesondere auf den besonders schädlichen Arten in bestimmten Regionen, z.B. Nordamerika, Europa und Australien, liegt (Pyšek et al. 2008). Tropische Regionen, v.a. Afrika und Asien, sind daher in den Untersuchungsergebnissen oft unterrepräsentiert (Pyšek et al. 2008). Solche Verzerrungen verhindern ein ausgewogenes Verständnis vieler Invasionsvorgänge und es herrscht noch Nachholbedarf, vor allem im Bereich der Süßwasser-Ökosysteme (Thomaz et al. 2015). Diese haben viel weniger Aufmerksamkeit erhalten als terrestrische Ökosysteme, da allein die Untersuchung invasiver aquatischer Taxa eine große technische und logistische Herausforderung ist (Havel et al. 2015). Eine weitere Herausforderung besteht darin, die kombinierten Auswirkungen mehrerer invasiver Arten auf Süßwassergemeinschaften zu untersuchen, was in Seen und Flüssen sehr häufig der Fall ist (Havel et al.

2015, Olden et al. 2021). Die wissenschaftlichen Erkenntnisse zum historischen Vorkommen aquatischer Arten sind speziell bei den Pilzen, niederen Pflanzen und Wirbellosen Tieren im Vergleich zu den Gefäßpflanzen und Wirbeltieren deutlich schlechter (Rabitsch & Nehring 2017). Daher gibt es für Süßwasser- und Meeresökosysteme und -organismen sowie im Bereich der Krankheitserreger (z.B. Bakterien und Viren) und Invertebraten Defizite, besonders auf dem Gebiet der standardisierten Datenaufnahme (Meyerson & Mooney 2007).

Eine systematische Erhebung von invasiven Arten ist auch in Deutschland trotz der Vorgaben aus der EU-Verordnung 1143/2024 kaum gegeben, mit Ausnahme der regelmäßigen Probenahmen im Rahmen der Wasserrahmenrichtlinie. Aus diesem Grund werden Vorkommen erst spät, und wenn, meist nur durch Zufall entdeckt (Dobler et al. 2022). Zudem liegt der Fokus vieler wissenschaftlicher Studien auf „prominenten“ Arten, wie z.B. *Dreissena polymorpha*, wohingegen Informationen vor allem zur Ökologie und Biologie anderer gebietsfremder Arten meist fehlen. Solche Informationen werden allerdings benötigt, um die Gefahr einer weiteren Ausbreitung sowie das potenzielle Ausmaß von Schäden beurteilen zu können (Karatayev & Burlakova 2022). Es ist sehr ungünstig, wenn Einbringungs- und Ausbreitungspfade für bestimmte Arten nicht bekannt sind (McGrannachan et al. 2021), da eine Risikoeinschätzung und ein anschließendes Management erschwert wird. Ausbreitungskarten und Daten zu einzelnen Arten sind aus den oben genannten Gründen oft lückenhaft oder unzureichend. Oft gibt es verschiedene Datenbanken, in denen viele Informationen vorliegen, jedoch fehlt bislang eine übergreifende Zusammenführung und Harmonisierung der Daten und Erkenntnisse. Dies bestätigt auch die Forderungen nach einem bundesweiten Kataster, in dem alle in den Gewässern vorkommenden Arten mit ihrer Abundanz erhoben werden (Nehring 2003). Ein flächendeckendes, e-DNA (environmental DNA) gestütztes Monitoring der Bundeswasserstraßen könnte die Liste der gebietsfremden Arten und die Kenntnisse zu deren Verbreitung in Deutschland deutlich verbessern und dabei wahrscheinlich auch viele Arten identifizieren, deren Vorkommen in Deutschland bisher nicht bekannt ist (D. Shilton pers. Mitt.).

Eine weitere Wissenslücke besteht in der Identifizierung von gebietsfremden Arten. Bei der invasiven Höckerflohkrebs Art *Dikerogammarus haemobaphes* gibt es nachweislich kryptische Arten in Europa, die nur mittels mitochondrialer DNS-Analysen differenziert werden können (Jazdzewska et al. 2020). Eine eindeutige Unterscheidung der Arten sollte auch immer die Grundlage für weitere Untersuchungen im Zusammenhang mit spezifischen Ansprüchen oder Auswirkungen auf das Ökosystem und die Biozönosen sein. Generell bieten neue Detektionsmöglichkeiten durch Umwelt DNS (environmental eDNA) eine sensitive Nachweismethode (Herder et al. 2014), die schon für viele Taxa erprobt ist (Fische: Clusa & García-Vázquez 2018; Muscheln: Stoeckle et al. 2021; Krebse: Geerts et al. 2018; Makroinvertebraten: Jazdzewska et al. 2020) und in Zukunft auch standardmäßig in den deutschen Binnenwasserstraßen eingesetzt werden sollen (Schmidt et al. 2021).

Unsicherheiten bestehen auch in Bezug auf detaillierte Informationen über die Freisetzung von Ballastwasser auf globaler Ebene, die Relevanz und Umsetzung biotischer Wechselwirkungen und die Wahrscheinlichkeit, dass eine etablierte Art negative Auswirkungen auf das Empfängerökosystem hat (Seebens et al. 2013). Trotz der Belege dafür, dass Schifffahrtskanäle eine wichtige Rolle bei biologischen Invasionen spielen (Nehring 2002, 2005, Galil et al. 2007, Panov et al. 2009, Nunes et al. 2015), werden große Bauprojekte für neue Schifffahrtskanäle (z.B. in Nicaragua) oder für Erweiterungen bestehender Kanäle (z.B. Suez-Kanal, Panamakanal) vorgeschlagen. Zum Schutz der biologischen Vielfalt und zur Abwehr massiver wirtschaftlicher Schäden ist es unabdingbar, bei derartigen Projekten das Problem der

biologischen Invasionen zu diskutieren und zielgerichtete Maßnahmen zur Verhinderung des Transfers von Arten zu entwickeln.

Auch wenn es noch Lücken im Wissen zum Transfer und der Ausbringung einiger gebietsfremder und invasiver Arten gibt, so sind die Mechanismen klar und sollte es vor allem darum gehen die Lücke zwischen theoretisch-konzeptionellen und empirischen Arbeiten zu schließen (Olden et al. 2021). Dabei ist die grundlegende Frage, wie die Querverbindungen zwischen den Akteuren und die Beziehungen zwischen Wissenschaft, Entscheidungsträgern und Gesetzgebern verstärkt und verbessert werden können, von entscheidender Bedeutung.

2.8 Quellen

- Ahern, D., England, J., Ellis, A. (2008): The virile crayfish, *Orconectes virilis* (Hagen, 1870) (Crustacea: Decapoda: Cambaridae), identified in the UK. *Aquatic Invasions* 3: 102-104.
- Alt, K.G., Emde, S., Kochmann, J., Doerge, D.D., Klimpel, S. (2019): The Main River and Main–Danube Canal: A Hub for Ponto-Caspian Parasite Invasion. *Parasitology Research Monographs* 12: 383-393.
- Andelkovic, A.A., Zivkovic, M.M., Cvijanovic, D.L., Novkovic, M.Z., Marisavljevic, D.P., Pavlovic, D.M., Radulovic, S.B. (2016): The contemporary records of aquatic plants invasion through the Danubian floodplain corridor in Serbia. *Aquatic Invasions* 11: 381-395.
- Antunes, J., Leão, P., Vasconcelos, V. (2015): *Cylindrospermopsis raciborskii*: review of the distribution, phylogeography, and ecophysiology of a global invasive species. *Frontiers in Microbiology* 6: 473.
- Arbaciauskas, K., Semenchenk, V., Grabowski, M., Leuven, R., Paunovic, M., Son, M., Csányi, B., Konopacka, A., Nehring, S., Velde, G. (2008): Assessment of biocontamination of benthic macroinvertebrate communities in European inland waterways. *Aquatic Invasions* 3: 211-230.
- Da Asth, M., Rodrigues, R., Zenni, R. (2021): Canals as invasion pathways in tropical dry forest and the need for monitoring and management. *Journal of Applied Ecology* 58: 2004-2014.
- Azour, F., van Deurs, M., Behrens, J., Carl, H., Hüsey, K., Greisen, K., Ebert, R., Møller, P.R. (2015): Invasion rate and population characteristics of the round goby *Neogobius melanostomus*: effects of density and invasion history. *Aquatic Biology* 24: 41-52.
- Bahr, A.L., Wiese, V. (2018): Freilandvorkommen von *Sinanodonta woodiana* (Lea 1834) in Ostholstein und Trockenfallen eines Teiches mit umfangreichen Verlusten von Großmuscheln (Bivalvia: Unionidae): *Schriften zur Malakozoologie aus dem Haus der Natur* 30: 39-44.
- Bauer, F., Fastner, J., Bartha-Dima, B., Breuer, W., Falkenau, A., Mayer, C., Raeder, U. (2020): Mass Occurrence of Anatoxin-a- and Dihydroanatoxin-a-Producing *Tychonema* sp. in Mesotrophic Reservoir Mandichosee (River Lech, Germany) as a Cause of Neurotoxicosis in Dogs. *Toxins* 12 (11): 726.
- BDB (2022): Das System Wasserstraße. Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V. <https://www.binnenschiff.de/system-wasserstrasse/wasserstrasse/> (gesehen am 24.11.2022)
- Beggel, S., Brandner, J., Cerwenka, A.F., Geist, J. (2016): Synergistic impacts by an invasive amphipod and an invasive fish explain native gammarid extinction. *BMC Ecology* 16: 32.
- Bentley, M.G. (2011): The Global Spread of the Chinese Mitten Crab *Eriocheir sinensis*. In: Galil, B.S., Clark, P.F., Carlton, J.T. (Eds.), *In the Wrong Place - Alien Marine Crustaceans: Distribution, Biology and Impacts*. *Invading Nature - Springer Series in Invasion Ecology* 6: 107-127.
- Bernhardt, K.-G. (1991): Zur Aktuellen Ausbreitung von *Azolla filiculoides* Lam (1783) und *Azolla caroliniana* Willd. (1810) in Nordwestdeutschland. *Floristische Rundbriefe* 25: 14-19.

- Bij de Vaate, A., Greijdanus-Klaas, M. (1990): The asiatic clam, *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) (Pelecypoda, Corbiculidae), a new immigrant in the Netherlands. Bulletin Zoologisch Museum 12: 173-178.
- Bij de Vaate, A., Jazdzewski, K., Ketelaars, H.A.M., Gollasch, S., Van der Velde, G. (2002): Geographical patterns in range extension of Ponto-Caspian macroinvertebrate species in Europe. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 59: 1159-1174.
- Bij de Vaate, A., Klink, A.G. (1995): *Dikerogammarus villosus* SOWINSKY (Crustacea: Gammaridae) a new immigrant in the Dutch part of the Lower. Lauterbonia 20: 51-54.
- Blackburn, T.M., Pysek, P., Bacher, S., Carlton, J.T., Duncan, R.P., Jarosik, V., Wilson, J.R., Richardson, D.M. (2011): A proposed unified framework for biological invasions. Trends Ecol. Evol. 26: 333-339.
- BMBF (2017): Welche ist die meist befahrene Wasserstraße der Welt? Bundesministerium für Bildung und Forschung. <https://www.wissenschaftsjahr.de/2016-17/aktuelles/blauges-telefon/welche-ist-die-meist-befahrene-wasserstrasse-der-welt.html> (gesehen am 24.11.2022)
- BMU (Hrsg.) (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland, Lieferung 3. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin: 70 S.
- BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2021): Bekanntmachung des ersten Aktionsplans über die Prävention und das Management der Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten vom 21. Juni 2021. Bundesanzeiger, BAnz AT 9.8.2021 B3: 42 S.
- BNatSchG (2009): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz) vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 8. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2240) geändert worden ist.
- Bolle, C. (1865): Eine Wasserpflanze mehr in der Mark. Verhandlungen des Botanischen Vereins Berlin Brandenburg 7: 1-15.
- Borcherding, J., Dolina, M., Heermann, L., Knutzen, P., Krüger, S., Matern, S., van Treeck, R., Gertzen, S. (2013): Feeding and niche differentiation in three invasive gobies in the Lower Rhine, Germany. Limnologia 43: 49-58.
- Borcherding, J., Staas, S., Krüger, S., Ondračková, M., Šlapanský, L., Jurajda, P. (2011): Non-native Gobiid species in the lower River Rhine (Germany): recent range extensions and densities. Journal of Applied Ichthyology 27: 153-155.
- Borcherding, J., Aschemeier, D., Bruhy, J., Heermann, L., Lindner, J., Schröder, S., Wagner, K., Staas, S. (2021): The Caucasian dwarf goby, a new alien Gobiidae spreading at the Lower Rhine, Germany. Journal of Applied Ichthyology 37: 479-482.
- Bouchet, P. (1997): Inventorying the molluscan diversity of the world: what is our rate of progress? Veliger 40: 1-11.
- Bowmer, K.H., Jacobs, S., Sainty, G. (1995): Identification, biology and management of *Elodea canadensis*, Hydrocharitaceae. Journal of aquatic plant management 33: 13-19.
- Brämick, U., Schiewe, S. (2020): Jahresbericht zur Deutschen Binnenfischerei und Binnenaquakultur 2020. Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow: 52 S.
- Brandner, J., Cerwenka, A.F., Schliewen, U.K., Geist, J. (2013a): Bigger is better: characteristics of round gobies forming an invasion front in the Danube river. PLoS One 9 (8): 1-15.
- Brandner, J., Cerwenka, A.F., Schliewen, U.K., Geist, J. (2018): Invasion strategies in round goby (*Neogobius melanostomus*): Is bigger really better? PLoS One 13 (1): 1-25.

- Brandner, J., Pander, J., Mueller, M., Cerwenka, A.F., Geist, J. (2013b): Effects of sampling techniques on population assessment of invasive round goby *Neogobius melanostomus*. *Journal of Fish Biology* 82: 2063-2079.
- Brundu, G. (2015): Plant invaders in European and Mediterranean inland waters: profiles, distribution, and threats. *Hydrobiologia* 746: 61-79.
- Brunel, S. (2009): Pathway analysis: aquatic plants imported in 10 EPPO countries. *EPPO Bulletin* 39: 201-213.
- Buchan, L.A.J., Padilla, D.K. (2000): Predicting the likelihood of Eurasian watermilfoil presence in lakes, a macrophyte monitoring tool. *Ecological Applications* 10: 1442-1455.
- Buřič, M., Bláha, M., Kouba, A., Drozd, B. (2015): Upstream expansion of round goby (*Neogobius melanostomus*) – first record in the upper reaches of the Elbe river. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 416: 32.
- Butchart, S.H.M., Walpole, M., Collen, B., van Strien, A., Scharlemann, J.P.W., Almond, R.E.A., Baillie, J.E.M., Bomhard, B., Brown, C., Bruno, J., Carpenter, K.E., Carr, G.M., Chanson, J., Chenery, A.M., Csirke, J., Davidson, N.C., Dentener, F., Foster, M., Galli, A., Galloway, J.N., Genovesi, P., Gregory, R.D., Hockings, M., Kapos, V., Lamarque, J.-F., Leverington, F., Loh, J., McGeoch, M.A., McRae, L., Minasyan, A., Morcillo, M.H., Oldfield, T.E.E., Pauly, D., Quader, S., Revenga, C., Sauer, J.R., Skolnik, B., Spear, D., Stanwell-Smith, D., Stuart, S.N., Symes, A., Tierney, M., Tyrrell, T.D., Vié, J.-C., Watson, R. (2010): Global Biodiversity: Indicators of Recent Declines. *Science* 328: 1164-1168.
- CBD (1992): The Convention on Biological Diversity. UN Conference on Environment and Development 1992, Rio de Janeiro.
- CBD (2000): Global strategy on Alien species that invasive alien Convention on Biological species. Diversity, UNEP/CBD/SBSTTA/6/INF/9: 1-52.
- CBD (2002): Alien species that threaten ecosystems, habitats or species. COP VI/23.
- Cebulska, K.D., Krodkiewska, M. (2019): Further dispersion of the invasive alien species *Corbicula fluminea* (O. F. Müller, 1774) in the Oder River. *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems* 420: 14.
- Cerwenka, A., Brandner, J., Schliewen, U., Geist, J. (2018): Population trends of invasive alien gobies in the upper Danube River: 10 years after first detection of the globally invasive round goby (*Neogobius melanostomus*). *Aquatic Invasions* 13: 525-535.
- Cerwenka, A., Brandner, J., Dashinov, D., Geist, J. (2023): Small but Mighty: The Round Goby (*Neogobius melanostomus*) as a Model Species of Biological Invasions. *Diversity* 15(4): 528.
- Chucholl, C. (2012): Invaders for sale: trade and determinants of introduction of ornamental freshwater crayfish. *Biological Invasions* 15: 125-141.
- Chucholl, C. (2016): The bad and the super-bad: prioritising the threat of six invasive alien to three imperilled native crayfishes. *Biological Invasions* 18: 1967-1988.
- Chucholl, C., Daudey, T. (2008): First record of *Orconectes juvenilis* (Hagen, 1870) in eastern France: update to the species identity of a recently introduced orconectid crayfish (Crustacea: Astacida). *Aquatic Invasions* 3: 105-107.
- Chucholl, C., Dehus, P. (2011): Flusskrebse in Baden-Württemberg. *Fischereiforschungsstelle Baden-Württemberg (FFS)*: 92 S.
- Chucholl, C., Stich, H.B., Maier, G. (2008): Aggressive interactions and competition for shelter between a recently introduced and an established invasive crayfish: *Orconectes immunis* vs. *O. limosus*. *Fundamental and applied limnology* 172: 27.

- Clusa, L., García-Vázquez, E. (2018): A simple, rapid method for detecting seven common invasive fish species in Europe from environmental DNA. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 28: 619-629.
- Cohen, A.N., Carlton, J.T. (1995): *Biological Study Nonindigenous Aquatic Species in a United States Estuary: A Case Study of the Biological Invasions of the San Francisco Bay and Delta*. U.S. Fish and Wildlife Service, Washington DC: 283 S.
- Cuthbert, R.N., Pattison, Z., Taylor, N.G., Verbrugge, L., Diagne, C., Ahmed, D.A., Leroy, B., Angulo, E., Briski, E., Capinha, C., Catford, J.A., Dalu, T., Essl, F., Gozlan, R.E., Haubrock, P.J., Kourantidou, M., Kramer, A.M., Renault, D., Wasserman, R.J., Courchamp, F. (2021): Global economic costs of aquatic invasive alien species. *Science of the Total Environment* 775: 145238.
- de Groot, S.J. (1985): Introductions of non-indigenous fish species for release and culture in The Netherlands. *Aquaculture* 46: 237-257.
- Devin, S., Beisel, J.N., Bachmann, V., Moreteau, J.C. (2009): *Dikerogammarus villosus* (Amphipoda : Gammaridae) : another invasive species newly established in the Moselle river and French hydrosystems. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* 37: 21-27.
- Dick, J.T.A., Platvoet, D. (2000): Invading predatory crustacean *Dikerogammarus villosus* eliminates both native and exotic species. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 267: 977-983.
- Dobler, A.H., Hoos, P., Geist, J. (2022): Distribution and potential impacts of non-native Chinese pond mussels *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834) in Bavaria, Germany. *Biological Invasions* 24: 1689-1706.
- Dorn, N.J., Wojdak, J.M. (2004): The role of omnivorous crayfish in littoral communities. *Oecologia* 140: 150-159.
- Edgerton, B.F., Henttonen, P., Jussila, J., Mannonen, A., Paasonen, P., Taugbøl, T., Edsman, L., Souty-Grosset, C. (2004): Understanding the Causes of Disease in European Freshwater Crayfish. *Conservation Biology* 18: 1466-1474.
- Eggers, T.O., Anlauf, A. (2005): *Obesogammarus crassus* (G.O. Sars, 1894) (Crustacea: Amphipoda) erreicht die Elbe. *Lauterbornia* 55: 125-128.
- Eggers, T.O., Martens, A. (2008): Neozoische Amphipoda in Deutschland: eine aktuelle Übersicht. *Erweiterte Zusammenfassungen Jahrestagung 2007 Deutsche Gesellschaft für Limnologie*: 176-180.
- Eggers, T.O., Martens, A. (2009): Limnische Neozoa in Deutschland: Ausbreitungsmuster und Ausbreitungstrends. *Erweiterte Zusammenfassungen Jahrestagung 2008 Deutsche Gesellschaft für Limnologie*: 378-381.
- Emde, S., Rueckert, S., Palm, H.W., Klimpel, S. (2012): Invasive Ponto-Caspian Amphipods and Fish Increase the Distribution Range of the Acanthocephalan *Pomphorhynchus tereticollis* in the River Rhine. *PLoS ONE* 7: e53218.
- Essl, F., Bacher, S., Blackburn, T.M., Booy, O., Brundu, G., Brunel, S., Cardoso, A.-C., Eschen, R., Gallardo, B., Galil, B., García-Berthou, E., Genovesi, P., Groom, Q., Harrower, C., Hulme, P.E., Katsanevakis, S., Kenis, M., Kühn, I., Kumschick, S., Martinou, A.F., Nentwig, W., O'Flynn, C., Pagad, S., Pergl, J., Pyšek, P., Rabitsch, W., Richardson, D.M., Roques, A., Roy, H.E., Scalera, R., Schindler, S., Seebens, H., Vanderhoeven, S., Vilà, M., Wilson, J.R.U., Zenetos, A., Jeschke, J.M. (2015): Crossing Frontiers in Tackling Pathways of Biological Invasions. *BioScience* 65: 769-782.
- EU-VO, Verordnung (EU) Nr. 1143/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Oktober 2014 über die Prävention und das Management der Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten. *Amtsblatt der Europäischen Union L 317*: 35-55

- Francis, R.A., Hardwick, T. (2012): A handbook of global freshwater invasive species. Earthscan, London: 456 S..
- Fastner, J., Heinze, R., Humpage, A., Mischke, U., Eaglesham, G., Chorus, I. (2003): *Cylindrospermopsis* occurrence in two German lakes and preliminary assessment of toxicity and toxin production of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) isolates. *Toxicon: official journal of the International Society on Toxinology* 42: 313-321.
- Frederico, R.G., Salvador, G.N., Andrade, A., Rosa, G.R., Torquato, G.V. (2019): Freshwater ecosystem vulnerability: Is native climatic niche good enough to predict invasion events? *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 29: 1890-1896.
- Freyhof, J., Korte, E. (2005): The first record of *Misgurnus anguillicaudatus* in Germany. *Journal of Fish Biology* 66: 568-571.
- Gabel, F., Garcia, X., Schnauder, I., Pusch, M. (2012): Effects of ship-induced waves on littoral benthic invertebrates. *Freshwater Biology* 57: 2425-2435.
- Galil, B.S. (2006): The Marine Caravan – The Suez Canal and the Erythrean Invasion. In: Gollasch, S., Galil, B.S., Cohen, A.N. (Eds.), *Bridging Divides: Maritime Canals as Invasion Corridors*. Springer Netherlands: 207–300.
- Galil, B.S., Nehring, S., Panov, V. (2007): Waterways as Invasion Highways – Impact of Climate Change and Globalization. In: Nentwig, W. (Ed.), *Biological Invasions*. Springer, Berlin Heidelberg: 59-74.
- García-Álvarez, A., van Leeuwen, C.H.A., Luque, C.J., Hussner, A., Vélez-Martín, A., Pérez-Vázquez, A., Green, A.J., Castellanos, E.M. (2015): Internal transport of alien and native plants by geese and ducks: an experimental study. *Freshwater Biology* 60: 1316-1329.
- García-Berthou, E., Alcaraz, C., Pou-Rovira, Q., Zamora, L., Coenders, G., Feo, C. (2005): Introduction pathways and establishment rates of invasive aquatic species in Europe. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 62: 453-463.
- GBIF (2021): Secretariat, GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset. <https://www.gbif.org/> (gesehen am 24.11.2022)
- Gebhardt, H., Kinzelbach, R., Schmidt-Fischer, S. (1996): *Gebietsfremde Tierarten; Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope. Situationsanalyse*. Landsberg: ecomed Verlagsgesellschaft: 324 S.
- Geerts, A.N., Boets, P., Van den Heede, S., Goethals, P., Van der heyden, C. (2018): A search for standardized protocols to detect alien invasive crayfish based on environmental DNA (eDNA): A lab and field evaluation. *Ecological Indicators* 84: 564-572.
- Gergs, R., Rothhaupt, K.-O. (2015): Invasive species as driving factors for the structure of benthic communities in Lake Constance, Germany. *Hydrobiologia* 746: 245-254.
- GDWS (2024): Bundeswasserstraßen. Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt, https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/wasserstrassen/01_bundeswasserstrassen/bundeswasserstrassen-node.html (gesehen am: 17.01.2024)
- Gherardi, F. (2006): Crayfish invading Europe: the case study of *Procambarus clarkii*. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology* 39: 175-191.
- Gherardi, F. (2007): *Understanding the impact of invasive crayfish*. Springer Netherlands: 507-542.
- Gherardi, F., Acquistapace, P. (2007): Invasive crayfish in Europe: the impact of *Procambarus clarkii* on the littoral community of a Mediterranean lake. *Freshwater Biology* 52: 1249-1259.
- Glassner-Shwayder, K. (1996): Briefing Paper: Great Lakes Nonindigenous Invasive Species. U.S. Environmental Protection Agency: 75 S.

- Gollasch, S. (2006): Overview on introduced aquatic species in European navigational and adjacent waters. *Helgoland Marine Research* 60: 84-89.
- Gollasch, S., Galil, B.S., Cohen, A.N. (2006): *Bridging Divides - Maritime Canals as Invasion Corridors*. Springer, Dordrecht: 316 S.
- Gollasch, S., Macdonald, E., Belson, S., Botnen, H., Christensen, J.T., Hamer, J.P., Houvenaghel, G., Jelmert, A., Lucas, I., Masson, D., McCollin, T., Olenin, S., Persson, A., Wallentinus, I., Wetsteyn, L.P.M.J., Wittling, T. (2002): Life in Ballast Tanks. In: Leppäkoski, E., Gollasch, S., Olenin, S. (Eds.), *Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, Impacts and Management*. Springer, Dordrecht: 217-231.
- Gollasch, S., Nehring, S. (2006): National checklist for aquatic alien species in Germany. *Aquatic Invasions* 1: 245-269.
- Grabow, K. (1998): *Corbicula „fluminalis“* in der Havel bei Berlin. *Lauterbornia* 32: 15-16.
- Grabow, K., Martens, A. (1995): Vorkommen von *Corbicula fluminea* (O. MÜLLER 1774) und *C. „fluminalis“* (O. MÜLLER 1774) im östlichen Mittellandkanal (Bivalvia: Corbiculidae): *Mitteilungen der deutschen malakozoologischen Gesellschaft* 56: 19-23.
- Gross, E.M., Groffier, H., Pestelard, C., Hussner, A. (2020): Ecology and Environmental Impact of *Myriophyllum heterophyllum*, an Aggressive Invader in European Waterways. *Diversity* 4(12): 127.
- Guan, R.-Z., Wiles, P.R. (1999): Growth and reproduction of the introduced crayfish *Pacifastacus leniusculus* in a British lowland river. *Fisheries Research* 42: 245-259.
- Hänfling, B., Edwards, F., Gherardi, F. (2011): Invasive alien Crustacea: dispersal, establishment, impact and control. *BioControl* 56: 573-595.
- Harka, Á., Farkas, J., Halasi-Kovács, B. (2014): Das Erscheinen und die Ausbreitung der Kaukasus-Grundel (*Knipowitschia caucasica* – Berg, 1914) im Flusssystem der Theiß/Tisza (Ostungarn): *Österreichs Fischerei* 67: 19-22.
- Haubrock, P.J., Bernery, C., Cuthbert, R.N., Liu, C., Kourantidou, M., Leroy, B., Turbelin, A.J., Kramer, A.M., Verbrugge, L.N.H., Diagne, C., Courchamp, F., Gozlan, R.E. (2022): Knowledge gaps in economic costs of invasive alien fish worldwide. *Science of the Total Environment* 803: 149875.
- Havel, J.E., Kovalenko, K.E., Thomaz, S.M., Amalfitano, S., Kats, L.B. (2015): Aquatic invasive species: challenges for the future. *Hydrobiologia* 750: 147-170.
- Heiler, K.C.M., Brandt, S., Albrecht, C., Hauffe, T., Wilke, T. (2012): A new approach for dating introduction events of the quagga mussel (*Dreissena rostriformis bugensis*). *Biological Invasions* 14: 1311-1316.
- Heiler, K.C.M., de Vaate, A.B., Ekschmitt, K., von Oheimb, P.V., Albrecht, C., Wilke, T. (2013): Reconstruction of the early invasion history of the quagga mussel (*Dreissena rostriformis bugensis*) in Western Europe. *Aquatic Invasions* 8: 53-57.
- Hempel, M., Neukamm, R., Thiel, R. (2016): Effects of introduced round goby (*Neogobius melanostomus*) on diet composition and growth of zander (Sander lucioperca), a main predator in European brackish waters. *Aquatic Invasions* 11: 167-178.
- Hempel, M., Thiel, R. (2013): First records of the round goby *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) in the Elbe River, Germany. *BioInvasions Records* 2: 291-295.
- Herborg, L.M., Rushton, S.P., Clare, A.S., Bentley, M.G. (2005): The Invasion of the Chinese Mitten Crab (*Eriocheir sinensis*) in the United Kingdom and Its Comparison to Continental Europe. *Biological Invasions* 7: 959-968.

- Herder, J., Valentini, A., Bellemain, E., Dejean, T., Delft, J., Thomsen, P., Taberlet, P. (2014): Environmental DNA - a review of the possible applications for the detection of (invasive) species. Stichting RAVON, Nijmegen. Report 2013-104, 10.13140/RG.2.1.4002.1208.
- Hoffmann, M.A., Raeder, U., Melzer, A. (2014): Influence of environmental conditions on the regenerative capacity and the survivability of *Elodea nuttallii* fragments. *Journal of Limnology* 74: 12-20
- Hohmann, M., Zettler, M.L. (2019): Weitere Nachweise der Schwebegarnele *Paramysis lacustris* (Czerniavsky, 1882) (Crustacea: Mysida) im Gebiet der unteren Havel von Brandenburg und Sachsen-Anhalt. *Lauterbornia* 87: 16-18.
- Holdich, D.M., Pöckl, M. (2007): Invasive crustaceans in European inland waters. In: Gherardi, F. (Ed.), *Biological invaders in inland waters: Profiles, distribution, and threats*. Springer Netherlands: 29-75.
- Holdich, D.M., Reynolds, J.D., Souty-Grosset, C., Sibley, P.J. (2009): A review of the ever increasing threat to European crayfish from non-indigenous crayfish species. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 394-395: 11.
- Holm, P., Hirsch, P., Adrian-Kalchhauser, I., N'Guyen, A., Muller, R. (2017): *Schlussbericht 2012-2016. Nicht-heimische Grundelarten in der Schweiz - Massnahmen zur Eindämmung und zur Schadensminimierung*. Universität Basel.
- Holm, P., Kalchhauser, I., Hirsch, P. (2014): *Fremde Fische in Flüssen und Seen*. *Biologie in unserer Zeit* 44: 392-399.
- Hulme, P.E. (2009a): *Handbook of alien species in Europe. Invading Nature - Springer Series in Invasion Ecology* 3: 399 S.
- Hulme, P.E. (2009b): Trade, transport and trouble: managing invasive species pathways in an era of globalization. *Journal of Applied Ecology* 46: 10-18.
- Hulme, P.E., Bacher, S., Kenis, M., Klotz, S., Kühn, I., Minchin, D., Nentwig, W., Olenin, S., Panov, V., Pergl, J., Pyšek, P., Roques, A., Sol, D., Solarz, W., Vilà, M. (2008): Grasping at the routes of biological invasions: a framework for integrating pathways into policy. *Journal of Applied Ecology* 45: 403-414.
- Hülsmann, N., Galil, B.S. (2002): Protists — A Dominant Component of the Ballast-Transported Biota. In: Leppäkoski, E., Gollasch, S., Olenin, S. (Eds.), *Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, Impacts and Management*. Springer, Netherlands: 20-26.
- Humair, F., Humair, L., Kuhn, F., Kueffer, C. (2015): E-commerce trade in invasive plants. *Conservation Biology* 29: 1658-1665.
- Hussner, A. (2010): *Azolla filiculoides* NOBANIS – Invasive Alien Species Fact Sheet. 10 S.
- Hussner, A. (2012): Alien aquatic plant species in European countries. *Weed Research* 52: 297-306.
- Hussner, A., Lösch, R. (2005): Alien aquatic plants in a thermally abnormal river and their assembly to neophyte-dominated macrophyte stands (River Erft, Northrhine-Westphalia). *Limnologica* 35: 18-30.
- Hussner, A., Van de Weyer, K., Gross, E.M., Hilt, S. (2010): Comments on increasing number and abundance of non-indigenous aquatic macrophyte species in Germany. *Weed Research* 50: 519-526.
- IKSR (2013): *Eingewanderte Grundelarten im Rheinsystem*. Internationale Kommission zum Schutz des Rheins, Bericht Nr. 208: 6 S.
- IKSR (2021): *Fische im Rhein 2018/2019*. Internationale Kommission zum Schutz des Rheins, Bericht Nr. 279: 96 S.

- Jacobs, A.I., Keller, R.P. (2017): Straddling the divide: invasive aquatic species in Illinois and movement between the Great Lakes and Mississippi basins. *Biological Invasions* 19: 635-646.
- Jakovlić, I., Piria, M., Šprem, N., Tomljanović, T., Matulić, D., Treer, T. (2015): Distribution, abundance and condition of invasive Ponto-Caspian gobies *Ponticola kessleri* (Günther, 1861), *Neogobius fluviatilis* (Pallas, 1814), and *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) in the Sava River basin, Croatia. *Journal of Applied Ichthyology* 31: 888-894.
- Janáč, M., Jurajdová, Z., Roche, K., Šlapanský, L., Jurajda, P. (2019): An isolated round goby population in the upper Elbe: population characteristics and short-term impacts on the native fish assemblage. *Aquatic Invasions* 14: 738-757.
- Jazdzewska, A.M., Rewicz, T., Mamos, T., Wattier, R., Bączela-Spychalska, K., Grabowski, M. (2020): Cryptic diversity and mtDNA phylogeography of the invasive demon shrimp, *Dikerogammarus haemobaphes* (Eichwald, 1841), in Europe. *NeoBiota* 57: 53-86.
- Jazdzewski, K., Konopacka, A. (2002): Invasive Ponto-Caspian Species in Waters of the Vistula and Oder Basins and the Southern Baltic Sea. In: Leppäkoski, E., Gollasch, S., Olenin, S. (Eds.), *Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, Impacts and Management*. Springer Netherlands: 384-398.
- Jeschke, J.M., Hilt, S., Hussner, A., Mösch, S., Mrugała, A., Musseau, C.L., Ruland, F., Sagouis, A., Strayer, D.L. (2022a): Biological Invasions: Case Studies. In: Mehner, T., Tockner, K. (Eds.), *Encyclopedia of Inland Waters (Second Edition)*. Elsevier, Oxford: 382-398.
- Jeschke, J.M., Keesing, F., Ostfeld, R.S. (2013): Novel Organisms: Comparing Invasive Species, GMOs, and Emerging Pathogens. *AMBIO* 42: 541-548.
- Jeschke, J.M., Liu, C., Saul, W.-C., Seebens, H. (2022b): Biological Invasions: Introduction, Establishment and Spread. *Encyclopedia of Inland Waters*: 355-367.
- Johnson, L.E., Ricciardi, A., Carlton, J.T. (2001): Overland dispersal of aquatic invasive species: a risk assessment of transient recreational boating. *Ecological Applications* 11: 1789-1799.
- Josefsson, M. (2011): *Elodea canadensis*, *Elodea nuttallii* and *Elodea callitrichoides*. NOBANIS Invasive Alien Species Fact Sheet. 12 S.
- Jude, D.J., Reider, R.H., Smith, G.R. (1992): Establishment of Gobiidae in the Great Lakes Basin. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49: 416-421.
- Karatayev, A.Y., Burlakova, L.E. (2022): What we know and don't know about the invasive zebra (*Dreissena polymorpha*) and quagga (*Dreissena rostriformis bugensis*) mussels. *Hydrobiologia*, <https://doi.org/10.1007/s10750-022-04950-5>.
- Karatayev, A.Y., Burlakova, L.E., Padilla, D.K. (2015): Zebra versus quagga mussels: a review of their spread, population dynamics, and ecosystem impacts. *Hydrobiologia* 746: 97-112.
- Karatayev, A.Y., Burlakova, L.E., Padilla, D.K., Johnson, L.E. (2003): Patterns of Spread of the Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha* (Pallas)): the Continuing Invasion of Belarussian Lakes. *Biological Invasions* 5: 213-221.
- Karatayev, A.Y., Padilla, D.K., Minchin, D., Boltovskoy, D., Burlakova, L.E. (2006): Changes in Global Economies and Trade: the Potential Spread of Exotic Freshwater Bivalves. *Biological Invasions* 9: 161-180.
- Katsanevakis, S., Zenetos, A., Belchior, C., Cardoso, A.C. (2013): Invading European Seas: Assessing pathways of introduction of marine aliens. *Ocean & Coastal Management* 76: 64-74.
- Keller, R.P., Geist, J., Jeschke, J.M., Kühn, I. (2011): Invasive species in Europe: ecology, status, and policy. *Environmental Sciences Europe* 23: 23.

- Ketelaars, H.A.M. (2004): Range extensions of Ponto-Caspian aquatic invertebrates in continental Europe. Aquatic Invasions in the Black, Caspian, and Mediterranean Seas: the Ctenophores *Mnemiopsis leidyi* and *Beroe* in the Ponto-Caspian and Other Aquatic Invasions 35: 209-236.
- Kim, J., Mandrak, N.E. (2016): Assessing the potential movement of invasive fishes through the Welland Canal. Journal of Great Lakes Research 42: 1102-1108.
- Kinzelbach, R. (1992): The main features of the phylogeny and dispersal of the zebra mussel *Dreissena polymorpha*. The zebra mussel *Dreissena polymorpha* 4: 5-17.
- Klingenstein, F., Kornacker, P.M., Martens, H., Schippmann, U. (2005): Gebietsfremde Arten: Positionspapier des Bundesamtes für Naturschutz. BfN-Skripten 128: 26 S.
- Kouba, A., Petrušek, A., Kozák, P. (2014): Continental-wide distribution of crayfish species in Europe: update and maps. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems 413: 05.
- Kowarik, I., Starfinger, U. (2003): Biologische Invasionen. Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa. Ulmer, Stuttgart: 380 S.
- Kuntz, K., Heidbüchel, P., Hussner, A. (2014): Effects of water nutrients on regeneration capacity of submerged aquatic plant fragments. Annales de Limnologie - International Journal of Limnology 50: 155-162.
- Lackschewitz, D., Reise, K., Buschbaum, C., Karez, R. (2022): Neobiota der deutschen Nord- und Ostseeküste - Eingeschleppte Arten in deutschen Küstengewässern. LLUR SH-Gewässer: 394 S.
- Lee, T., Siripattawan, S., Ituarte, C.F., Foighil, D. (2005): Invasion of the clonal clams: *Corbicula* lineages in the New World. American Malacological Bulletin 20: 113.
- Lemmers, P., Collas, F., Gylstra, R., Crombaghs, B., Van der Velde, G., Leuven, R.S.E.W. (2020): Risks and management of alien freshwater crayfish species in the Rhine-Meuse river district. Management of Biological Invasions 12: 193-220.
- Leppäkoski, E., Gollasch, S., Olenin, S. (2002): Alien Species in European Waters. In: Leppäkoski, E., Gollasch, S., Olenin, S. (Eds.), Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, Impacts and Management. Springer Netherlands: 1-6.
- Leuven, R.S.E.W., van der Velde, G., Baijens, I., Snijders, J., van der Zwart, C., Lenders, H.J.R., bij de Vaate, A. (2009): The river Rhine: a global highway for dispersal of aquatic invasive species. Biological Invasions 11: 1989.
- LFV (2015): Invasive Grundeln in Bayern - Bestandsaufnahme und derzeitiger Kenntnisstand. Landesfischereiverband Bayern e. V.: 71 S.
- Liefveld, W.M., Van Looy, K., Prins, K. (2001): Biologische monitoring zoete rijkswateren: watersysteemrapportage Maas 1996. RIZA rapport 2000.056: 146 S.
- Löttgers, R., Richter, B., Seibel, J. (2022): Wasserstraßen Deutschland – Verkehr Westermann Gruppe: 1 S.
- Mackie, G.L. (1991): Biology of the exotic zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, in relation to native bivalves and its potential impact in Lake St. Clair. Hydrobiologia 219: 251-268.
- Maguire, I., Podnar, M., Jelić, M., Štambuk, A., Schrimpf, A., Schulz, H., Klobučar, G. (2014): Two distinct evolutionary lineages of the *Astacus leptodactylus* species-complex (Decapoda: Astacidae) inferred by phylogenetic analyses. Invertebrate Systematics 28: 117-123.
- Mandak, B., Pyšek, P. (1998): History of the spread and habitat preferences of *Atriplex sagittata* (Chenopodiaceae) in the Czech Republic. Plant invasions: ecological mechanisms and human responses: 209-224.

- Marescaux, J., Von Oheimb, K.C.M., Etoundi, E., Von Oheimb, P.V., Albrecht, C., Wilke, T., Van Doninck, K. (2016): Unravelling the invasion pathways of the quagga mussel (*Dreissena rostriformis*) into Western Europe. *Biological Invasions* 18: 245-264.
- Marsden, J.E., Ladago, B.J. (2017): The Champlain Canal as a non-indigenous species corridor. *Journal of Great Lakes Research* 43: 1173-1180.
- Martens, A., Eggers, T.O., Grabow, K. (1999): Erste Funde von *Pontogammarus robustoides* (Sars) im Mittellandkanal (Crustacea: Amphipoda): *Lauterbornia* 35: 39-42.
- Matteikat, W., Klefoth, T., Emmrich, M. (2016): Charakteristika zweier populationen der Schwarzmundgrundel *Neogobius melanostomus*, Pallas 1814 im Mittellandkanal. *Lauterbornia* 81: 163-174.
- Matthews, J., Van Der Velde, G., Bij De Vaate, A., Collas, F.P.L., Koopman, K.R., Leuven, R.S.E.W. (2014): Rapid range expansion of the invasive quagga mussel in relation to zebra mussel presence in The Netherlands and Western Europe. *Biological Invasions* 16: 23-42.
- McGeoch, M.A., Genovesi, P., Bellingham, P.J., Costello, M.J., McGrannachan, C., Sheppard, A. (2015): Prioritizing species, pathways, and sites to achieve conservation targets for biological invasion. *Biological Invasions* 18: 299-314.
- McGrannachan, C.M., Pagad, S., McGeoch, M.A. (2021): A multiregional assessment of transnational pathways of introduction. *NeoBiota* 64: 43-67.
- McMahon, R.F. (1982): The occurrence and spread of the introduced Asiatic freshwater clam, *Corbicula fluminea* (Müller), in north America: 1924-1982. *Nautilus* 96: 134-141.
- McMahon, R.F. (2002): Evolutionary and physiological adaptations of aquatic invasive animals: r selection versus resistance. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59: 1235-1244.
- Meyerson, L.A., Mooney, H.A. (2007): Invasive alien species in an era of globalization. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5: 199-208.
- Molnar, J.L., Gamboa, R.L., Revenga, C., Spalding, M.D. (2008): Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6: 485-492.
- Moy, P.B., Polls, I., Dettmers, J.M. (2011): The Chicago sanitary and ship canal aquatic nuisance species dispersal barrier. *American Fisheries Society Symposium*: 121-137.
- Muirhead, J.R., Minton, M.S., Miller, W.A., Ruiz, G.M. (2015): Projected effects of the Panama Canal expansion on shipping traffic and biological invasions. *Diversity and Distributions* 21: 75-87.
- Müller, M., Knott, J., Pander, J., Geist, J. (2020): Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen Abschlussbericht 2020 Band 6: Heckerwehr an der Roth. Technische Universität München, Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie: 26 S.
- Müller, O., Herpich, J., Rosenberger, S., Möller, F., Müller, N., Noske, M., Jähnert, K. (2007): Klimatisch begrenzte Invasion nach Osten?—Aktuelles Ausbreitungsmuster von *Corbicula fluminea* in der Strom-Oder (Brandenburg): *Lauterbornia* 59: 133-139.
- Müller, O., Zettler, M.L., Gruszka, P. (2001): Ausbreitung und Status von *Dikerogammarus villosus* (Sovinski 1894) (Crustacea: Amphipoda) in der mittleren und unteren Strom-Oder und den angrenzenden Wasserstraßen. *Lauterbornia* 41: 105-112.
- Murphy, K.J., Eaton, J.W. (1983): Effects of Pleasure-Boat Traffic on Macrophyte Growth in Canals. *Journal of Applied Ecology* 20: 713-729.
- Musil, J., Drozd, B., Bláha, M., Gallardo, J.M., Randák, T. (2008): First records of the black bullhead, *Ameiurus melas* in the Czech Republic freshwaters. *Cybium* 32: 352-354.

- Nehring, S. (2002): Biological Invasions into German Waters: An Evaluation of the Importance of Different Human-Mediated Vectors for Nonindigenous Macrozoobenthic Species. In: Leppäkoski, E., Gollasch, S., Olenin, S. (Eds.), Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, Impacts and Management. Springer Netherlands: 373-383.
- Nehring, S. (2003): Gebietsfremde Arten in den deutschen Gewässern - ein Risiko für die Biodiversität. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Angewandte Wissenschaft Heft 498: 40-52.
- Nehring, S. (2005): International shipping—a risk for aquatic biodiversity in Germany. Biological invasions—from ecology to control. Neobiota 6: 125-143.
- Nehring, S. (2006): The Ponto-Caspian amphipod *Obesogammarus obesus* (Sars, 1894) arrived the Rhine River via the Main-Danube Canal. Aquatic Invasions 1: 148-153.
- Nehring, S. (2016): Die invasiven gebietsfremden Arten der ersten Unionsliste der EU-Verordnung Nr. 1143/2014. BfN-Skripten 438: 134 S.
- Nehring, S., Skowronek, S. (2017): Die invasiven gebietsfremden Arten der Unionsliste der Verordnung (EU) Nr. 1143/2014 - erste Fortschreibung 2017. BfN-Skripten 471: 176 S.
- Nehring, S., Skowronek, S. (2020): Die invasiven gebietsfremden Arten der Unionsliste der Verordnung (EU) Nr. 1143/2014 - zweite Fortschreibung 2019. BfN-Skripten 574: 191 S.
- Nehring, S., Skowronek, S. (2023): Die invasiven gebietsfremden Arten der Unionsliste der Verordnung (EU) Nr. 1143/2014 - dritte Fortschreibung 2022. BfN-Schriften 654: 231 S.
- Nehring, S., Steinhof, J. (2015): First records of the invasive Amur sleeper, *Perccottus glenii* Dybowski, 1877 in German freshwaters: a need for realization of effective management measures to stop the invasion. BioInvasions Records 4: 223-232.
- Nehring, S., Essl, F., Klingenstein, F., Nowack, C., Rabitsch, W., Stöhr, O., Wiesner, C., Wolter, C. (2010): Schwarze Liste invasiver Arten: Kriteriensystem und Schwarze Listen invasiver Fische für Deutschland und für Österreich. BfN-Skripten 285: 185 S.
- Nehring, S., Kowarik, I., Rabitsch, W., Essl, F. (2013): Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde Gefäßpflanzen. BfN-Skripten 352: 202 S.
- Nehring, S., Essl, F., Rabitsch, W. (2015a): Methodik der naturschutzfachlichen Invasivitätsbewertung für gebietsfremde Arten, Version 1.3. BfN-Skripten 401: 401 S.
- Nehring, S., Rabitsch, W., Kowarik, I., Essl, F. (2015b): Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde Wirbeltiere. BfN-Skripten 409: 222 S.
- Nino, F.D., Thiébaud, G., Muller, S. (2005): Response of *Elodea nuttallii* (Planch.) H. St. John to Manual Harvesting in the North-East of France. Hydrobiologia 551: 147-157.
- Nogueira Tavares, C., Brauns, M., Hille, S., Krenek, S., Borcharding, J., Weitere, M. (2020): Tracing the colonization process of non-native gobies into a large river: the relevance of different dispersal modes. Biological Invasions 22: 2421-2429.
- Nunes, A.L., Tricarico, E., Panov, V.E., Cardoso, A.C., Katsanevakis, S. (2015): Pathways and gateways of freshwater invasions in Europe. Aquatic Invasions 10: 359-370.
- Nyström, P.E.R., Brönmark, C., Granéli, W. (2003): Patterns in benthic food webs: a role for omnivorous crayfish? Freshwater Biology 36: 631-646.
- Olden, J., Chen, K., García-Berthou, E., King, A., South, J., Vitule, J. (2021): Invasive Species in Streams and Rivers*. In: Mehner, T., Tockner, K. (Eds.), Encyclopedia of Inland Waters. Elsevier: 436-452.
- Olden, J.D., Leroy Poff, N., Douglas, M.R., Douglas, M.E., Fausch, K.D. (2004): Ecological and evolutionary consequences of biotic homogenization. Trends Ecol. Evol. 19: 18-24.

- Olden, J.D., McCarthy, J.M., Maxted, J.T., Fetzer, W.W., Vander Zanden, M.J. (2006): The rapid spread of rusty crayfish (*Orconectes rusticus*) with observations on native crayfish declines in Wisconsin (U.S.A.) over the past 130 years. *Biological Invasions* 8: 1621-1628.
- Oliva-Paterna, F.J., Andreu, A., Verdiell, D., Torralva, M. (2005): First occurrence of *Lepomis gibbosus* (L., 1758) in the Segura river basin (SE, Spain): *Limnetica* 24: 199-202.
- Otto, T., Brandis, D. (2011): First evidence of *Eriocheir sinensis* reproduction from Schleswig-Holstein, northern Germany, western Baltic Sea. *Aquatic Invasions* 6: 65-69.
- Paglianti, A., Gherardi, F. (2004): Combined Effects of Temperature and Diet on Growth and Survival of Young-of-Year Crayfish: A Comparison between Indigenous and Invasive Species. *Journal of Crustacean Biology* 24: 140-148.
- Pander, J., Mueller, M., Sacher, M., Geist, J. (2016): The role of life history traits and habitat characteristics in the colonisation of a secondary floodplain by neobiota and indigenous macroinvertebrate species. *Hydrobiologia* 772: 229-245.
- Panov, V.E., Alexandrov, B., Arbačiauskas, K., Binimelis, R., Copp, G.H., Grabowski, M., Lucy, F., Leuven, R.S., Nehring, S., Paunović, M., Semenchenko, V., Son, M.O. (2009): Assessing the risks of aquatic species invasions via european inland waterways: from concepts to environmental indicators. *Integrated Environmental Assessment and Management* 5: 110-126.
- Patel, A., Glassner-Shwayder, K., Eder, T. (2011): Environmental Reviews & Case Studies: Halting the Invasion: Maintaining the Health of the Great Lakes and Mississippi River Basins by Preventing Further Exchange of Aquatic Invasive Species. *Environmental Practice* 12: 342-356.
- Paunovic, M. (2006): Distribution of *Anodonta (Sinanodonta) woodiana* (Rea, 1834) in inland waters of Serbia. *Aquatic Invasions* 1: 154-160.
- Pergl, J., Pyšek, P., Bacher, S., Essl, F., Genovesi, P., Harrower, C.A., Hulme, P.E., Jeschke, J.E., Kenis, M., Kühn, I., Perglová, I., Rabitsch, W., Roques, A., Roy, D.B., Roy, H.E., Vilà, M., Winter, M., Nentwig, W. (2017): Troubling travellers: are ecologically harmful alien species associated with particular introduction pathways? *NeoBiota* 32: 1-20.
- Peters, N. (1933): Die chinesische Wollhandkrabbe (*Eriocheir sinensis* H. Milne Edwards) in Deutschland. *Zoologischer Anzeiger (Suppl.)* 104: 1-180.
- Peyer, S.M., McCarthy, A.J., Lee, C.E. (2009): Zebra mussels anchor byssal threads faster and tighter than quagga mussels in flow. *J Exp Biol* 212: 2027-2036.
- Pinkster, S. (1978): Amphipoda. In: Illies, J. (Ed.): *Limnofauna Europaea*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart: 532 S.
- Pligin, Y.V., Yemel'yanova, L. (1989): Acclimatization of Caspian invertebrates in Dnieper reservoirs. *Hydrobiological Journal* 25: 1-9.
- Pöckl, M. (2009): Success of the invasive Ponto-Caspian amphipod *Dikerogammarus villosus* by life history traits and reproductive capacity. *Biological Invasions* 11: 2021-2041.
- Pollux, B.A.J., Velde, G., Vaate, A. (2010): A perspective on global spread of *Dreissena polymorpha*: a review on possibilities and limitations. *The Zebra Mussel in Europe*. Backhuys Publishers: 45-58.
- Prezant, R.S., Chalermwat, K. (1984): Flotation of the Bivalve *Corbicula fluminea* as a Means of Dispersal. *Science* 225: 1491-1493.
- Pyšek, P., Hulme, P.E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T.M., Carlton, J.T., Dawson, W., Essl, F., Foxcroft, L.C., Genovesi, P., Jeschke, J.M., Kühn, I., Liebhold, A.M., Mandrak, N.E., Meyerson, L.A., Pauchard, A., Pergl, J., Roy, H.E., Seebens, H., van Kleunen, M., Vilà, M., Wingfield, M.J., Richardson, D.M. (2020): Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews* 95: 1511-1534.

- Pyšek, P., Richardson, D.M., Pergl, J., Jarošík, V., Sixtová, Z., Weber, E. (2008): Geographical and taxonomic biases in invasion ecology. *Trends in Ecology & Evolution* 23: 237-244.
- Quiel, K., Becker, A., Kirchesch, V., Schöl, A., Fischer, H. (2011): Influence of global change on phytoplankton and nutrient cycling in the Elbe River. *Regional Environmental Change* 11: 405-421.
- Rabitsch, W., Gollasch, S., Isermann, M., Starfinger, U., Nehring, S. (2013): Erstellung einer Warnliste in Deutschland noch nicht vorkommender invasiver Tiere und Pflanzen. *BfN-Skripten* 331: 158 S.
- Rabitsch, W., Heger, T., Jeschke, J., Saul, W.-C., Nehring, S. (2018): Analyse und Priorisierung der Pfade nicht vorsätzlicher Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten in Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 1143/2014 / Analysis and prioritisation of pathways of unintentional introduction and spread of invasive alien species in Germany in accordance with Regulation (EU) No 1143/2014. *BfN-Skripten* 490: 103 S.
- Rabitsch, W., Nehring, S. (2017): Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde aquatische Pilze, Niedere Pflanzen und Wirbellose Tiere. *BfN-Skripten* 458: 220 S.
- Rabitsch, W., Nehring, S. (2022): Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde terrestrische Wirbellose Tiere: Teil 1: Non-Insecta. *BfN-Skripten* 626: 177 S.
- Reinhardt, F., Herle, M., Bastiansen, F., Streit, B. (2003): Ökonomische Folgen der Ausbreitung von Neobiota. *UBA Texte* 201: 211 S.
- Reinhold, M., Tittizer, T. (1997): Zur Rolle von Schiffen als Vektoren beim Faunenaustausch Rhein/Main/Main-Donau-Kanal/Donau. *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen* 41: 199-205.
- Reinhold, M., Tittizer, T. (1999): Verschleppung von Makrozoen durch Kühlwasserfilter eines Schiffes. *Wasser und Boden* 51: 61-66.
- Reshetnikov, A.N., Schliewen, U.K. (2013): First record of the invasive alien fish rotan *Perccottus glennii* Dybowski, 1877 (Odontobutidae) in the Upper Danube drainage (Bavaria, Germany): *Journal of Applied Ichthyology* 29: 1367-1369.
- Rey, P., Ortlepp, J., Küry, D. (2005): Wirbellose Neozoen im Hochrhein: Ausbreitung und ökologische Bedeutung. *Schriftenreihe Umwelt, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)*, Bern: 88 S.
- Ricciardi, A. (2006): Patterns of invasion in the Laurentian Great Lakes in relation to changes in vector activity. *Diversity and Distributions* 12: 425-433.
- Richardson, D.M., Pyšek, P., Rejmánek, M., Barbour, M.G., Panetta, F.D., West, C.J. (2000): Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions* 6: 93-107.
- Roche, K.F., Janač, M., Jurajda, P. (2013): A review of Gobiid expansion along the Danube-Rhine corridor – geopolitical change as a driver for invasion. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 411: 23.
- Rothlisberger, J.D., Chadderton, W.L., McNulty, J., Lodge, D.M. (2010): Aquatic Invasive Species Transport via Trailered Boats: What is Being Moved, Who is Moving it, and What Can Be Done. *Fisheries* 35: 121-132.

- Roy, H.E., Bacher, S., Essl, F., Adriaens, T., Aldridge, D.C., Bishop, J.D.D., Blackburn, T.M., Branquart, E., Brodie, J., Carboneras, C., Cottier-Cook, E.J., Copp, G.H., Dean, H.J., Eilenberg, J., Gallardo, B., Garcia, M., García-Berthou, E., Genovesi, P., Hulme, P.E., Kenis, M., Kerckhof, F., Kettunen, M., Minchin, D., Nentwig, W., Nieto, A., Pergl, J., Pescott, O.L., M. Peyton, J., Preda, C., Roques, A., Rorke, S.L., Scalera, R., Schindler, S., Schönrogge, K., Sewell, J., Solarz, W., Stewart, A.J.A., Tricarico, E., Vanderhoeven, S., Velde, G., Vilà, M., Wood, C.A., Zenetos, A., Rabitsch, W. (2019): Developing a list of invasive alien species likely to threaten biodiversity and ecosystems in the European Union. *Global Change Biology* 25: 1032-1048.
- Ruau, B., Greulich, S., Haury, J., Berton, J.-P. (2009): Sexual reproduction of two alien invasive *Ludwigia* (Onagraceae) on the middle Loire River, France. *Aquatic Botany* 90: 143-148.
- Ruber, J., Bauer, F., Ziegler, J., Geist, J., Zwirgmaier, K. (2018): Time series of cyanobacterial diversity in Lake Ostersee, Bavaria. Poster 9th European Workshop on the Molecular Biology of Cyanobacteria, Texel, Netherlands.
- Sapota, M.R. (2004): The round goby (*Neogobius melanostomus*) in the Gulf of Gdańsk — a species introduction into the Baltic Sea. *Hydrobiologia* 514: 219-224.
- Sárkány-Kiss, A., Sîrbu, I., Hulea, O. (2000): Expansion of the adventive species *Anodonta woodiana* (Lea, 1834) (Mollusca, Bivalvia, Unionoidea) in central and eastern Europe. *Acta Oecol. Univ. Sibiu* 7: 49-57.
- Saul, W.-C., Roy, H.E., Booy, O., Carnevali, L., Chen, H.-J., Genovesi, P., Harrower, C.A., Hulme, P.E., Pagad, S., Pergl, J., Jeschke, J.M., Beggs, J. (2017): Assessing patterns in introduction pathways of alien species by linking major invasion data bases. *Journal of Applied Ecology* 54: 657-669.
- Savini, D., Occhipinti-Ambrogi, A., Marchini, A., Tricarico, E., Gherardi, F., Olenin, S., Gollasch, S. (2010): The top 27 animal alien species introduced into Europe for aquaculture and related activities. *Journal of Applied Ichthyology* 26: 1-7.
- Schleuter, M. (1992): Ausbreitung der Körbchenmuscheln *Corbicula fluminea* (MÜLLER 1774) und *Corbicula fluminalis* (MÜLLER 1774) im Main. *Lauterbornia* 12: 17-20.
- Schleuter, M., Schleuter, A., Potel, S., Banning, M. (1994): *Dikergammarus haemobaphes* (Eichwald 1841) (Gammaridae) aus der Donau erreicht über den Main-Donau-Kanal den Main. *Lauterbornia* 19: 155-159.
- Schmidlin, S., Baur, B. (2007): Distribution and substrate preference of the invasive clam *Corbicula fluminea* in the river Rhine in the region of Basel (Switzerland, Germany, France). *Aquatic Sciences* 69: 153-161.
- Schmidlin, S., Schmera, D., Ursenbacher, S., Baur, B. (2012): Separate introductions but lack of genetic variability in the invasive clam *Corbicula* spp. in Swiss lakes. *Aquatic Invasions* 1: 73-80.
- Schmidt, S., Mora, D., Krenek, S., Kleinteich, J., Schöll, F., Fischer, H. (2021): Establishing (e)DNA-Methods for Governmental Biomonitoring Efforts and Ecological Assessment in German Federal Waterways. ARPHA Conference Abstracts 4: e64809
- Schöll, F. (1998): Bemerkenswerte Makrozoobenthosfunde in der Elbe: Erstnachweis von *Corbicula fluminea* (O. MÜLLER 1774) bei Krümmel sowie Massenvorkommen von *Oligoneuriella rhenana* (Imhoff 1852) in der Oberelbe. *Lauterbornia* 33: 23-24.
- Schöll, F., Eggers, T.O., Haybach, A., Gorka, M., Klima, M., König, B. (2012): Ausbreitung von *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov, 1897) in Deutschland (Mollusca: Bivalvia). *Lauterbornia* 74: 111-115.
- Schomaker, C., Wolter, C. (2014): First record of the round goby *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) in the lower River Oder, Germany. *BioInvasions Records* 3: 185-188.

- Schoolmann, G., Martens, A., Grabow, K. (2006): Einschleppung und Ausbreitung der Chinesischen Teichmuschel *Sinanodonta woodiana* (Lea) durch den Zoo- und Gartenfachhandel (Bivalvia: Unionidae). *Lauterbornia* 58: 139-141.
- Seebens, H. (2016): Wie kommt die Chinesische Wollhandkrabbe in die Nordsee? Computermodelle verbinden Handelsrouten mit der Invasion fremder Arten. *Forschung Frankfurt* 2.2016: 103-106.
- Seebens, H., Blackburn, T.M., Dyer, E.E., Genovesi, P., Hulme, P.E., Jeschke, J.M., Pagad, S., Pyšek, P., Winter, M., Arianoutsou, M., Bacher, S., Blasius, B., Brundu, G., Capinha, C., Celesti-Gradow, L., Dawson, W., Dullinger, S., Fuentes, N., Jäger, H., Kartesz, J., Kenis, M., Kreft, H., Kühn, I., Lenzner, B., Liebhold, A., Mosena, A., Moser, D., Nishino, M., Pearman, D., Pergl, J., Rabitsch, W., Rojas-Sandoval, J., Roques, A., Rorke, S., Rossinelli, S., Roy, H.E., Scalera, R., Schindler, S., Štajerová, K., Tokarska-Guzik, B., van Kleunen, M., Walker, K., Weigelt, P., Yamanaka, T., Essl, F. (2017): No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nature Communications* 8: 14435.
- Seebens, H., Gastner, M.T., Blasius, B. (2013): The risk of marine bioinvasion caused by global shipping. *Ecol. Lett.* 16: 782-790.
- Seifert, K., Hartmann, F. (2000): Die Kesslergrundel (*Neogobius kessleri* Günther 1861), eine neue Fischart in der deutschen Donau. *Lauterbornia* 38: 105-108.
- Silva, G.G., Green, A.J., Hoffman, P., Weber, V., Stenert, C., Lovas-Kiss, Á., Maltchik, L. (2021): Seed dispersal by neotropical waterfowl depends on bird species and seasonality. *Freshwater Biology* 66: 78-88.
- Soes, D., Koese, B. (2010): Invasive crayfish in the Netherlands: a preliminary risk analysis. Interim report, Bureau Waardenburg bv, Stichting EIS-Nederland, Invasive Alien Species Team, Waardenburg: 69 S.
- Sousa, R., Nogueira, A.J.A., Gaspar, M.B., Antunes, C., Guilhermino, L. (2008): Growth and extremely high production of the non-indigenous invasive species *Corbicula fluminea* (Müller, 1774): Possible implications for ecosystem functioning. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 80: 289-295.
- Spanier, E., Galil, B.S. (1991): Lessepsian migration: a continuous biogeographical process. *Endeavour* 15: 102-106.
- Stemmer, B. (2008): Flussgrundel im Rhein-Gewässersystem - Vierte neue Grundelart im nordrhein-westfälischen Rhein nachgewiesen. *Natur in NRW* 4/2008: 57-60.
- StMUV (2018): Wasser für Franken – Die Überleitung. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, München: 120 S.
- Stoeckle, B.C., Beggel, S., Kuehn, R., Geist, J. (2021): Influence of stream characteristics and population size on downstream transport of freshwater mollusk environmental DNA. *Freshwater Science* 40: 191-201.
- Strayer, D.L. (2010): Alien species in fresh waters: ecological effects, interactions with other stressors, and prospects for the future. *Freshwater Biology* 55: 152-174.
- Thienemann, A. (1950): Ausbreitungsgeschichte der Süßwassertierwelt Europas. Die Binnengewässer, Band 18. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart: 809 S.
- Thomaz, S.M., Kovalenko, K.E., Havel, J.E., Kats, L.B. (2015): Aquatic invasive species: general trends in the literature and introduction to the special issue. *Hydrobiologia* 746: 1-12.
- Tittizer, T. (1996): Vorkommen und Ausbreitung aquatischer Neozoen (Makrozoobenthos) in den Bundeswasserstraßen. In: Gebhardt, H., Kinzelbach, R., Schmidt-Fischer, S. (Hrsg.), Gebietsfremde Tierarten; Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope. Situationsanalyse. Landsberg: ecomed Verlagsgesellschaft: 49-86.
- Tittizer, T., Schöll, F., Banning, M., Haybach, A., Schleuter, M. (2000): Aquatische Neozoen im Makrozoobenthos der Binnenwasserstraßen Deutschland. *Lauterbornia* 39: 1-72.

- Tittizer, T., Taxacher, M. (1997): Erstnachweis von *Corbicula fluminea/fluminalis* (Müller 1774) (Corbiculidae, Mollusca) in der Donau. *Lauterbornia* 31: 103-107.
- Troschel, H.J., Dehus, P. (1993): Distribution of crayfish species in the Federal Republic of Germany, with special reference to *Austropotamobius pallipes*. University of Southwestern Louisiana, Lafayette, LA(USA): 390-398.
- Turbelin, A.J., Diagne, C., Hudgins, E.J., Moodley, D., Kourantidou, M., Novoa, A., Haubrock, P.J., Bernery, C., Gozlan, R.E., Francis, R.A., Courchamp, F. (2022): Introduction pathways of economically costly invasive alien species. *Biological Invasions* 24: 2061–2079.
- Twardochleb, L.A., Olden, J.D., Larson, E.R. (2013): A global meta-analysis of the ecological impacts of nonnative crayfish. *Freshwater Science* 32: 1367-1382.
- Urbańska, M., Andrzejewski, W. (2019): An invasion in progress – *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834) (Bivalvia: Unionidae) in Poland. *Folia Malacologica* 27: 327-335.
- Usio, N., Kamiyama, R., Saji, A., Takamura, N. (2009): Size-dependent impacts of invasive alien crayfish on a littoral marsh community. *Biological Conservation* 142: 1480-1490.
- Uwe Jueg, Zettler, M.L. (2004): Die Molluskenfauna der Elbe in Mecklenburg-Vorpommern mit Erstnachweis der Grobgerippten Körbchenmuschel *Corbicula fluminea* (OF Müller 1756). *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft West-Mecklenburg* 4: 85-89.
- Van Beek, G. (2006): The round goby *Neogobius melanostomus* first recorded in the Netherlands. *Aquatic Invasions* 1: 42-43.
- Van den Brink, F., Paffen, B., Oosterbroek, F., Van der Velde, G. (1993): Immigration of *Echinogammarus* (Stebbing, 1899) (Crustacea: Amphipoda) into The Netherlands via the lower Rhine. *Bulletin Zoologisch Museum* 13: 167-170.
- Van der Velde, G., Bij de Vaate, A. (2008): Invasions by alien macroinvertebrates and ecological rehabilitation: lessons from the Rhine. In: Bergmans, W., De longh, H., Simons, H. (Eds.), *Forgotton kingdoms. Proceedings of a seminar on the conservation of small hidden species*. IUCN, Amsterdam: 63-73.
- Van der Velde, G., Platvoet, D. (2007): Quagga mussels *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov, 1897) in the Main River (Germany). *Aquatic Invasions* 2: 261-264.
- Van der Velde, G., Rajagopal, S., Kelleher, B., Musko, I., de Vaate, A.b. (2000): Ecological impact of crustacean invaders: general considerations and examples from the Rhine River. *Crustacean Issues* 12: 3-34.
- Van der Velde, G., Rajagopal, S., Van den Brink, F., Kelleher, B., Paffen, B., Kempers, A., Bij de Vaate, A. (1998): Ecological impact of an exotic amphipod invasion in the River Rhine. *New concepts for sustainable management of river basins*. Backhuys, Leiden: 159-169.
- Vanden Bossche, J.P. (2002): First records and fast spread of five new (1995–2000) alien species in the River Meuse in Belgium: *Hypania invalida*, *Corbicula fluminea*, *Hemimysis anomala*, *Dikergammarus villosus* and *Crangonyx pseudogracilis*. *Bulletin de l'Institut royal des sciences naturelles de Belgique, Biologie* 72 Suppl.: 73-78.
- Vilizzi, L., Copp, G.H., Adamovich, B., Almeida, D., Chan, J., Davison, P.I., Dembski, S., Ekmekçi, F.G., Ferincz, Á., Forneck, S.C., Hill, J.E., Kim, J.-E., Koutsikos, N., Leuven, R.S.E.W., Luna, S.A., Magalhães, F., Marr, S.M., Mendoza, R., Mourão, C.F., Neal, J.W., Onikura, N., Perdikaris, C., Piria, M., Poulet, N., Puntilla, R., Range, I.L., Simonović, P., Ribeiro, F., Tarkan, A.S., Troca, D.F.A., Vardakas, L., Verreycken, H., Vintsek, L., Weyl, O.L.F., Yeo, D.C.J., Zeng, Y. (2019): A global review and meta-analysis of applications of the freshwater Fish Invasiveness Screening Kit. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 29: 529-568.

- Vornatscher, J. (1965): Teil VIII f: Amphipoda. Catalogus Faunae Austriae. Ein systematisches Verzeichnis aller auf österreichischem Gebiet festgestellten Tierarten. Springer Verlag, Wien: 3 S.
- Wattendorf, J. (1964): *Elodea nuttallii* (Planch.) St. John im Teich des Botanischen Gartens zu Münster (Westf.). Natur und Heimat 24: 86-91.
- Webster, J., Clark, P., Morrill, D. (2015): Laboratory based feeding behaviour of the Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Varunidae): fish egg consumption. Aquatic Invasions 10: 313–326.
- Weinzierl, A., Potel, S., Banning, M. (1996): *Obesogammarus obesus* (SARS 1894) in der oberen Donau (Amphipoda, Gammaridae). Lauterbornia 26: 87-89.
- Werner, S., Mörtl, M. (2004): Erstnachweis der Fluss-Körbchenmuschel *Corbicula fluminea* im Bodensee. Lauterbornia 49: 93-97.
- Wiedner, C., Rücker, J., Brüggemann, R., Nixdorf, B. (2007): Climate change affects timing and size of populations of an invasive cyanobacterium in temperate regions. Oecologia 152: 473-484.
- Wiesner, C., Wolter, C., Rabitsch, W., Nehring, S. (2010): Gebietsfremde Fische in Deutschland und Österreich und mögliche Auswirkungen des Klimawandels. BfN-Skripten 279: 192 S.
- Wolter, C., Röhr, F. (2010): Distribution history of non-native freshwater fish species in Germany: how invasive are they? Journal of Applied Ichthyology 26: 19-27.
- Wonham, M.J., Carlton, J.T., Ruiz, G.M., Smith, L.D. (2000): Fish and ships: relating dispersal frequency to success in biological invasions. Marine Biology 136: 1111-1121.
- Zefferman, E. (2014): Increasing canopy shading reduces growth but not establishment of *Elodea nuttallii* and *Myriophyllum spicatum* in stream channels. Hydrobiologia 734: 159-170.
- Zehnsdorf, A., Hussner, A., Eismann, F., Rönicke, H., Melzer, A. (2015): Management options of invasive *Elodea nuttallii* and *Elodea canadensis*. Limnologica 51: 110-117.
- Zhan, A., Zhang, L., Xia, Z., Ni, P., Xiong, W., Chen, Y., Douglas Haffner, G., Macisaac, H.J. (2015): Water diversions facilitate spread of non-native species. Biological Invasions 17: 3073-3080.
- zu Ermgassen, P.S.E., Aldridge, D.C. (2010): Predation by the invasive American signal crayfish, *Pacifastacus leniusculus* Dana, on the invasive zebra mussel, *Dreissena polymorpha* Pallas: the potential for control and facilitation. Hydrobiologia 658: 303-315.

3 Recherche und Analyse zu Maßnahmen als Migrationsbarrieren in Kanälen

Julius Gorenz¹, Melina Klarl¹, Joachim Pander¹ und Jürgen Geist¹

¹Technische Universität München, Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie, Freising

3.1 Einführung ins Thema

Nachdem in Kapitel 2 auf die Einbringung, Ausbreitung und den Transfer von Organismen in schiffbaren- und nicht schiffbaren Kanälen in Deutschland und weltweit eingegangen wurde, beinhaltet dieses Kapitel Ergebnisse, Erkenntnisse und Vorschläge zu Maßnahmen in Kanälen, die der Verhinderung oder Minimierung der Ausbreitung von Organismen dienen.

Aus der Analyse vorangegangener Invasionsereignisse hat sich gezeigt, dass die Prävention der Einbringung um ein Vielfaches effektiver und erfolgsversprechender ist, als der Versuch der Ausrottung oder des Managements bereits etablierter Arten (Finnoff et al. 2007, van der Zanden und Olden 2008). Einen der wichtigsten Pfade für die Einbringung und besonders die Ausbreitung gebietsfremder aquatischer Arten stellen künstlich geschaffene Kanäle dar, die Wassereinzugsgebiete miteinander verbinden. Auf natürliche Weise wäre der Transfer aquatischer Arten zwischen diesen, voneinander getrennten Systemen, extrem unwahrscheinlich (Rabitsch et al. 2018). Zusätzlich zur eigenständigen Fortbewegung entlang der Kanäle, trägt der Schiffsverkehr auf diesen Wasserstraßen zur Ausbreitung von Organismen bei (Rabitsch et al. 2018). Migrationsbarrieren, die den Austausch von Organismen oder deren Propagationsformen über den Kanal verhindern, könnten demnach einen entscheidenden Schritt in der Eindämmung der Ausbreitung invasiver Arten darstellen und dem Vorsorgeprinzip der EU-Verordnung gerecht werden. Die in natürlichen Fließgewässern angestrebte Wiederherstellung der biologischen Konnektivität, ist für künstliche Kanäle nicht gewünscht, da es sich um anthropogen geschaffene Verbindungen handelt, die auf natürliche Weise nicht vorhanden wären (Außerhalb der Vorrangstrecken, die das Abflussgeschehen natürlicher Fließgewässer übernehmen). Zudem führt die Konnektivität hier zu den oben genannten Problemen der Ausbreitung gebietsfremder Arten. Eine Selektivität der Barrierewirkung der Maßnahme bezüglich invasiver Arten, wie sie in natürlichen Fließgewässern nötig wäre, ist hier demnach nicht erforderlich. Dies macht viele Barrierekonzepte realistischer und erhöht deren potentielle Wirksamkeit. Zudem bietet das technische Ausbauprofil der meisten Kanäle, sowie das Vorhandensein von Infrastruktur und Bauwerken wie z.B. Schleusen und regelbare Abflussmengen, gute Grundvoraussetzungen für die Umsetzung vieler Maßnahmen (Noatch & Suski 2012). Da es sich bei diesem Projekt um eine Machbarkeitsstudie handelt, umfasst die Recherche alle eingesetzten und potentiell möglichen Barrierekonzepte, unabhängig von ihrer Umsetzbarkeit in deutschen Kanälen. Eine allgemeine Prüfung der Machbarkeit folgt in Kapitel 5. Da viele der hier beschriebenen Barrieren auf eine Verhaltensreaktion der Organismen abzielen, ist darauf zu achten, dass potentielle Anströmgeschwindigkeiten an der Barriere so gering sind, dass sie der Schwimmstärke der Organismen angepasst sind und so eine Fluchtreaktion möglich bleibt. Die Berechnung der artspezifischen Anströmgeschwindigkeit wird von Ebel (2013) dargestellt. Keuneke et al. (2021) geben hierfür einen allgemeinen Richtwert von maximal 0,3 m/s an.

Die hydraulische Abkopplung, also die Trennung zweier Wasserkörper voneinander, z.B. durch den Rückbau des Verbindungskanals, gilt als die effektivste Methode, um die Ausbreitung

invasiver aquatischer Arten über diesen Pfad zu verhindern (Rasmussen et al. 2011, Wittmann et al. 2014). Diesem Prinzip folgend sollte vor der Umsetzung einer alternativen Maßnahme zur Verhinderung oder Minimierung der Ausbreitung von Organismen, immer auch die Option der vollständigen hydraulischen Trennung mitberücksichtigt werden. Ebenso kann die Restaurierung anthropogen veränderter Uferhabitate in Gewässern dazu beitragen, einheimische Arten zu stärken und gebietsfremde Arten zurückzudrängen (D. Shilton pers. Mitt.).

Um einen Überblick über bereits durchgeführte Maßnahmen zur Verhinderung oder Minimierung der Ausbreitung von Organismen über Kanäle (weltweit) zu erstellen, sowie mögliche alternative Konzepte und Kombinationen zu erarbeiten, wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt und die Einschätzung und das Wissen von Experten eingeholt. Die Ergebnisse sind in diesem Kapitel dargestellt.

3.2 Methodische Grundlagen

Die Literaturrecherche wurde, entsprechend Kapitel 2, mit den gängigen Suchmaschinen „Web of Science“ (WoS) bzw. „Web of Knowledge“ und „Google Scholar“ durchgeführt. Es wurde eine Suchanfrage mit verschiedenen Schlagwörtern und Kombinationen kreiert, welche die wichtigsten Begriffe beinhaltet. Zusätzlich wurde die Suchanfrage mit weiteren Begriffen, z.B. den Namen einzelner Maßnahmengruppen verfeinert. Die Ergebnisse wurden weiter gefiltert, nach den passenden Kategorien (z.B. Ecology) und Fachrichtungen (z.B. Biology) auf Relevanz überprüft und in einer Literaturdatenbank (Citavi) eingepflegt. Wo es möglich war, wurde der Eintrag in die Literaturdatenbank immer mit dem Originaltext der Veröffentlichung ergänzt.

Beispiel Suchanfrage Google Scholar:

(invasive OR alien OR non-native OR exotic OR non-indigenous) AND (canal OR pathway OR corridor OR freshwater OR aquatic) AND barrier

Beispiel Suchanfrage Web of Science:

(invasive OR alien OR non-native OR exotic OR non-indigenous) AND (canal OR pathway OR corridor OR freshwater OR aquatic) AND (barriers OR measures OR treatment)

Weitere relevante Literatur wurde im Verlauf der Recherche durch sogenanntes „snowballing“ (Durchsuchen der Literaturverzeichnisse relevanter Artikel) recherchiert.

3.3 Maßnahmen zur Verhinderung oder Minimierung des Transfers von Organismen in Kanälen

Die Umsetzung aller im Folgenden beschriebenen Maßnahmen sind im Einzelfall auf die Konformität mit den Gesetzen und Verordnungen der Europäischen Union, der Bundesrepublik Deutschland und der Bundesländer zu überprüfen. Beispielhaft ist hier die UVP- und saP-Pflicht (UVP: Umweltverträglichkeitsprüfung; saP: spezielle artenschutzrechtliche Prüfung) des Vorhabens zu nennen. Eine übergreifende Prüfung der Machbarkeit aller behandelten Maßnahmen erfolgt in Kapitel 5.

3.3.1 Physikalische Maßnahmen

3.3.1.1 Mechanische und hydraulische Barrieren

Als effektivste Methode, um die Ausbreitung invasiver aquatischer Arten über Kanäle zu verhindern, gilt die erneute Trennung der ehemals unverbundenen Systeme. Dies kann z.B. über

die Konstruktion von Dämmen oder den Rückbau des Verbindungskanals geschehen (Rasmussen et al. 2011, Wittmann et al. 2014). Alternativ zur vollständigen Trennung ist auch ein überspülter Damm mit Absturz möglich, der die hydraulische Verbindung aufrechterhält, eine stromaufwärtsgerichtete Wanderung aquatischer Organismen jedoch verhindert. Die Effektivität hängt hier im Besonderen von der Höhe des Damms und dem Sprungverhalten der Zielorganismen ab (Zielinski et al. 2019). Da Kanäle jedoch meist zur Schifffahrt oder zur Wasserleitung genutzt werden, ist die hydraulische Trennung häufig technisch nicht umsetzbar.

Funktionsweise

Rechen und rechenähnliche Barrieren, wie z.B. Lochbleche, Maschendrahte, Seilrechen oder Louver, werden im Folgenden auf Grund ihrer Funktionsweise und nach Keuneke et al. (2021) als mechanische Barrieren zusammengefasst. Mechanische Barrieren können nur von aquatischen Organismen passiert werden, die kleiner als die lichte Weite der Barriere sind. Je kleiner die Zielarten oder deren Lebensstadium, das es aufzuhalten gilt, desto geringer muss demnach auch die lichte Weite der mechanischen Barriere sein (Ebel 2013). Als lichte Weite wird der durchströmte Abstand zwischen den begrenzenden Elementen der mechanischen Barriere bezeichnet, also z.B. der Durchmesser eines Lochs in einem Lochblech, oder der Abstand zwischen den Außenkanten zweier Stäbe eines Stabrechens. Die Effektivität und Spezifität dieser mechanischen Barrieren für die Artengruppe der Fische, ist im Zuge des Fischschutzes an Wasserkraftanlagen und Wasserentnahmen relativ gut untersucht und beschrieben (Knott et al. 2023, Poletto et al. 2015, Rytwinski et al. 2017). An Wasserkraftanlagen und Wasserentnahmebauwerken werden typischerweise mechanische Barrieren (Feinrechen) mit einer minimalen lichten Weite von maximal 20 mm eingesetzt (Keuneke et al. 2021). Die Fischereigesetze und -verordnungen der Länder fordern teilweise aber auch geringere Stababstände. Die Effektivität mechanischer Barrieren kann durch die Kombination mit Verhaltensbarrieren wie elektrischen Feldern oder Vibrationen weiter erhöht werden, jedoch zeigen sich hier ähnlich wie bei allen Verhaltensbarrieren art- und größenspezifische Unterschiede (Cech & Mussen 2010, Egg et al. 2019, Haug et al. 2022, Tutzer et al. 2022, Tutzer et al. 2021).

Neben der Größe eines Organismus, ist auch dessen Fortbewegungskraft ein Kriterium, das als Basis für eine Ausbreitungsbarriere herangezogen werden kann. Hydraulische Barrieren zielen darauf ab, Strömungsgeschwindigkeiten zu erzeugen, die höher sind als der, von den Zielarten überwindbare Strömungsdruck, um so eine stromaufwärtsgerichtete Wanderung zu verhindern. Der Transfer stromabwärts bleibt durch hydraulische Barrieren jedoch weiterhin möglich. Neben einer erhöhten Strömungsgeschwindigkeit zeichnen sich die meisten Konzepte hydraulischer Barrieren auch durch eine möglichst glatte Sohle aus, die die Bildung strömungsberuhigter Bereiche verhindern soll und die Möglichkeit zum Anhaften am Grund nimmt (Chucholl & Dümpelmann 2017, Hoover et al. 2003, Katopodis et al. 1994, Noatch & Suski 2012). Die entwickelten hydraulischen Barrieren gegen invasive Flusskrebse und Grundeln sind sich in ihrem Design relativ ähnlich und basieren auf einer glatten Metallplatte, die, in einer Verengung des Gewässers eingebaut, mit überhöhter Geschwindigkeit überströmt wird. Die Wirkung kann artspezifisch über die Länge der Metallplatte oder die vorherrschende Strömungsgeschwindigkeit angepasst werden (Chucholl & Dümpelmann 2017, Wiegleb et al. 2022).

Gruppenspezifische Wirksamkeit

Mechanische Barrieren sind ausschließlich gegen größere Organismen und Lebensstadien einsetzbar. Entsprechend findet sich z.B. zu der Gruppe der Fische auch die meiste Literatur

während Untersuchungen zu kleineren Organismen wie z.B. Arthropoden eher selten sind. Rechen und Lochbleche, die auch kleinere Organismen aufhalten, sind nicht realistisch umsetzbar, da die benötigten lichten Weiten sehr hohe hydraulische Widerstände und einen extrem hohen Reinigungsbedarf erzeugen würden (Ebel 2013). Untersuchungen an stromabwärts migrierenden Fischen haben gezeigt, dass durch die Kombination mechanischer und Verhaltensbarrieren auch ein Teil der Fische, die kleiner als die lichte Weite der Barriere waren, von der Passage abgehalten werden konnten. Untersucht wurden mechanische Barrieren in Kombination mit Vibration bzw. Lichtblitzen, sowie mit elektrischen Feldern (Cech & Mussen 2010, Egg et al. 2019, Haug et al. 2022, Tutzer et al. 2021). Das Ziel der Untersuchungen war hier jedoch immer die Schädigung von Fischen zu reduzieren und nicht der vollständige Ausschluss der Organismen. Hydraulische Ausbreitungsbarrieren wurden bisher erfolgreich gegen invasiv wirkende Flusskrebse und Grundeln getestet und teilweise auch in der Praxis evaluiert (Chucholl 2019, Chucholl und Dümpelmann 2017, Hoover et al. 2003, Wiegleb et al. 2022). Beim Einsatz von Krebsperren muss zusätzlich die Umgehung der Sperre auf dem Landweg durch entsprechende Einbauten verhindert werden (Krieg et al. 2021).

Anwendung

Mechanische Barrieren werden weitläufig an Wasserkraftanlagen und Wasserentnahmebauwerken eingesetzt, um Treibgut aus den Anlagen fernzuhalten und Fische zu schützen, indem sie sie am Einschwimmen hindern (Ebel 2013, Keuneke et al. 2021). Der Einsatz eines Prototyps einer mechanisch/hydraulischen Migrationsbarriere gegen die Ausbreitung invasiver Arten in einem Seitengewässer wird momentan in den Niederlanden diskutiert, steht jedoch noch am Anfang des Planungsprozesses (R. Keuneke pers. Mitt.). Als Kombination mechanischer und verhaltensbasierter Barrieren wurde als Einschwimmsperre für Fische und Neunaugen der elektrifizierte Seilrechen FishProtector (HyFish GmbH, Innsbruck, Österreich) entwickelt, der nach Einschätzung der HyFish GmbH (B. Brinkmeier pers. Mitt.) auch als Ausbreitungsbarriere in Kanälen denkbar wäre. Horizontal über den Gewässerquerschnitt gespannte Stahlseile bilden bei dieser Technologie eine mechanische Barriere, die zusätzlich mit einem schwachen elektrischen Feld versehen wird, das eine Scheuchwirkung auf sich nähernde Fische haben soll. Da der Seilrechen zur Reinigung abgesenkt werden kann, ließe sich auch die Passierbarkeit für Schiffe möglich machen (HyFish GmbH 2023). Jede Absenkung der Barriere würde jedoch das potentielle Risiko eines Organismentransfers erhöhen.

Zur Anwendung hydraulischer Barrieren in Kanälen ist zu bedenken, dass entsprechende Systeme auf Grund ihrer Anforderungen an relativ hohe Strömungsgeschwindigkeiten und gleichbleibende Abflüsse vor allem in kleineren Gewässern realisierbar wären und bisher z.B. für Fischaufstiegsanlagen konzipiert wurden (GOBIO 2018, Krieg et al. 2021). Im Meerneunaugenmanagement (im Osten der USA invasiv) in den Zuflüssen der Great Lakes wurden entsprechende hydraulische Barrieren getestet, finden momentan aber keine Anwendung mehr (Zielinski et al. 2019). Eine hydraulische Barriere gegen die Ausbreitung der Schwarzmundgrundel wurde im Vertical-Slot-Fischpass des Wasserkraftwerks Rheinfelden an der schweizerisch-deutschen Grenze installiert. Eine Erfolgskontrolle ist bisher jedoch noch nicht erfolgt (J. Wiegleb pers. Mitt.).

3.3.1.2 Elektrische Barrieren

Elektrische Felder können genutzt werden, um das Verhalten von aquatischen Organismen zu beeinflussen (Katopodis et al. 1994). Nähert sich ein Organismus einem elektrischen Feld, löst dieses in Abhängigkeit der Feldstärke unterschiedliche Reaktionen aus. Diese reichen von

einer Detektion des Feldes und einer entsprechenden Ausrichtung des Körpers im Feld, über eine Fluchtreaktion, bis hin zur Immobilisierung oder Tötung des Organismus (Clarkson 2004, Keuneke et al. 2021, Noatch & Suski 2012). Vor allem im Umgang mit Fischen wird diese Eigenschaft elektrischer Felder weitläufig eingesetzt. Beispiele sind die Elektrofischerei als minimal invasives Instrument zur Fischbestandserhebung, die Leitung von Fischen an potenziellen Gefahrenstellen oder das Absperren von Bereichen im Wasserkörper (Katopodis et al. 1994).

Funktionsweise

Elektrische Barrieren erzeugen mit Hilfe unter Wasser angebrachter Elektroden ein elektrisches Feld im Wasserkörper, das bei sich nähernden Organismen eine Vermeidungsreaktion auslöst oder diese immobilisiert (Galvanonarkose), sollten sie weiter in das Feld vordringen (Katopodis et al. 1994, Keuneke et al. 2021). In den Anfängen der Technologie wurde dazu Wechselstrom eingesetzt, der auf Grund großer Schäden an Nicht-Zielorganismen durch Gleichstrom in Pulsen ersetzt wurde (Johnson et al. 2021). Nach Clarkson (2004) setzt sich eine elektrische Barriere aus den folgenden Komponenten zusammen: (1) Gleichstrom Pulsgenerator, (2) Elektroden auf einer Wehrstruktur, (3) Verbindungskabel zwischen Pulsgenerator und Elektroden, (4) Ersatzgenerator für Notfälle, (5) Wehrstruktur am Kanalboden um Elektroden aufzunehmen und (6) Fernwarn- und Überwachungssystem. Durch den Abstand der Elektroden zueinander und die Stromstärke einzelner Elektroden, kann das elektrische Feld geformt werden. Normalerweise erreicht die Feldstärke (gemessen in V/cm) ihr Maximum zur Mitte der Elektrodenabfolge (O'Farrell et al. 2014). Die Elektroden können dabei je nach Anwendung horizontal oder vertikal im Wasserkörper angeordnet werden. Vertikal angeordnete Elektroden erzeugen ein gleichmäßigeres elektrisches Feld über den gesamten Querschnitt des Wasserkörpers, wirken jedoch auch als Barriere für potentiellen Verkehr auf dem Wasser (Johnson et al. 2021, Kim & Mandrak 2017b). Soll die Passierbarkeit der Barriere für Schiffe gewährleistet bleiben, können die Elektroden am Grund des Gewässers angebracht werden. Das elektrische Feld ist dann jedoch am Gewässerboden am stärksten und nimmt in Richtung Oberfläche ab und eine große Spannung muss erzeugt werden, um den gesamten Gewässerquerschnitt abzudecken (Bajer et al. 2018). Eine weitere Möglichkeit zumindest kleineren Booten mit geringem Tiefgang die Überquerung einer elektrischen Barriere mit vertikalen Elektroden möglich zu machen ist, die Elektroden am Grund und an Bojen zu befestigen, die dann durch das Boot zur Seite gedrückt werden können (Johnson et al. 2021, Parasiewicz et al. 2016). Die Frequenz und Dauer der elektrischen Pulse, die eingesetzte Stromstärke, sowie die Anordnung der Elektroden muss bei elektrischen Migrationsbarrieren Standort und Zielartenspezifisch ausgewählt werden (Dawson et al. 2006). Die Menge elektrischer Energie die aus dem elektrischen Feld auf den Organismus transferiert wird, ist am höchsten, wenn die elektrische Leitfähigkeit des umgebenden Wassers der des Organismus entspricht (Johnson et al. 2021). Das erzeugte elektrische Feld ist dabei, neben der eingebrachten Spannung und Stromstärke, abhängig von der Leitfähigkeit des Wassers, Material und Oberfläche von Grund und Ufer, sowie der Anordnung und Ausrichtung der Elektroden. Da die elektrische Leitfähigkeit von Wasser durch die Menge gelöster Mineralien und die Temperatur des Wassers bedingt wird, kann sich das elektrische Feld über den Jahres- und Tagesverlauf ändern (Holliman et al. 2015). Um die gewünschte Wirkung aufrechtzuerhalten, muss die Stromstärke entsprechend angepasst werden. Auf Grund dieser Einflussfaktoren schlagen Dawson et al. (2006) vor, zum Vergleich elektrischer Barrieren die Energiedichte der erzeugten elektrischen Felder zu berechnen. Die Reaktion der Organismen auf das elektrische Feld hängt maßgeblich von der

Größe des Organismus ab, wobei größere Organismen stärker beeinflusst werden als kleinere (Johnson et al. 2021, Noatch & Suski 2012). Um sich nähernden Fischen ausreichend Zeit zu geben, auf das elektrische Feld zu reagieren, können elektrische Barrieren potentiell stufenweise aufgebaut werden. Ein erstes elektrisches Feld mit niedrigerer Spannung soll bei sich nähernden Organismen lediglich eine Fluchtreaktion auslösen. Wird diese erste Barriere überwunden, folgt eine zweite Barriere, mit einem elektrischen Feld höherer Spannung, das eine betäubende oder auch tödliche Wirkung hat (Johnson et al. 2021).

Vorteilig an elektrischen Barrieren ist der Erhalt der hydraulischen Verbindung über die Barriere hinweg und damit eine potentielle Aufrechterhaltung der Schiffbarkeit und des Wassertransportes. Zusätzlich zeigen elektrische Barrieren eine hohe Effektivität gegenüber bestimmten Organismengruppen und eine flexible Adaptierbarkeit an örtliche und artspezifische Bedingungen (Noatch & Suski 2012).

Nachteilig ist die größenspezifische Wirksamkeit, sowie die Notwendigkeit einer unterbrechungsfreien Stromversorgung. Schon ein kurzer Ausfall der Barriere kann die Passage von Organismen ermöglichen, besonders, wenn sich die Organismen auf einer Seite der Barriere sammeln, während das elektrische Feld in Betrieb ist (Clarkson 2004, Davis et al. 2017, Dawson et al. 2006). Hinzu kommt der Wartungsaufwand der elektrischen Komponenten der Barriere und das Gefahrenpotential für Personen, sollten diese dem elektrischen Feld im Wasser ausgesetzt sein (Moy et al. 2011). Auch die Schädigung potentiell im Kanal vorkommender schützenswerter Arten muss in der Planung einer elektrischen Barriere mitberücksichtigt werden (Johnson et al. 2021).

Untersuchungen aus schiffbaren Kanälen haben gezeigt, dass Schiffe mit elektrisch leitender Hülle das elektrische Feld einer elektrischen Barriere beeinflussen können. In nicht-schiffbaren Kanälen käme diese Einschränkung entsprechend nicht zum Tragen. Nähert sich ein Schiff dem Feld, wölbt sich dieses zur Schiffshülle hin und konzentriert die elektrische Spannung vor dem Bug. Seitlich der Hülle wird das elektrische Feld entsprechend abgeschwächt und bietet einen potentiellen Korridor für wandernde Organismen (Dettmers et al. 2005, Parker et al. 2014). LeRoy et al. (2019) beziffern die Änderung des Spannungsgradienten der elektrischen Barriere im Chicago Area Waterways System (CAWS), durch die Passage einer Stahlbarke, von 0,91 V/cm zu 0,56 V/cm bis 0,96 V/cm. Zusätzlich können vor allem kleinere Individuen, die weniger stark vom elektrischen Feld beeinflusst werden, in Hohlräumen am oder zwischen zwei Booten oder Barken über die elektrische Barriere hinweg transportiert werden (Davis et al. 2016). Auch die bei Schiffsverkehr auftretende Kehrströmung an der Kanalwand kann den Transport von Organismen durch die elektrische Barriere begünstigen (LeRoy et al. 2019). Sicherheitsaspekte, die beim Einsatz elektrischer Barrieren zu beachten sind, werden in Kapitel 5 „Machbarkeit von Maßnahmen in Kanälen“ behandelt.

Gruppenspezifische Wirksamkeit

Elektrische Barrieren werden vor allem eingesetzt, um die Bewegung von Fischen zu kontrollieren. Aus den Untersuchungen im CAWS lässt sich ableiten, dass eine elektrische Barriere für Fische, insbesondere größere Individuen, bis zu 100 % Effektivität aufweisen kann, wenn die Betriebsparameter an den Standort und die Zielarten angepasst werden (Dettmers et al. 2005, Parker et al. 2014, Wittmann et al. 2014). Auf Grund von Umwelt-DNS Nachweisen (environmental DNA, kurz: e-DNA) asiatischer Karpfenarten oberhalb einer elektrischen Barriere im Chicago Sanitary and Ship Canal (CSSC), wird die absolute Wirksamkeit solcher Maßnahmen jedoch teilweise angezweifelt (Egan 2021). Ein positives e-DNA Ergebnis spricht jedoch nicht

zwingend für das Vorhandensein lebendiger Fische, sondern könnte auch anderes ausgelöst werden, z.B. durch den Kot piscivorer Vögel oder anderer Räuber (Chapman et al. 2021, Jerde 2021).

Über Laborversuche mit Schwarzmundgrundeln (*Neogobius melanostomus*) konnten Betriebsparameter von 4,9 V/cm einer Pulsdauer von 5 ms und einer Frequenz von 2 Hz für eine effektive elektrische Barriere gegen diese Art bestimmt werden (Savino et al. 2001). Kaulbarsche (*Gymnocephalus cernua*) passierten die Barriere bei diesen Bedingungen noch, eine Erhöhung der Pulsfrequenz auf 6 Hz führte aber dazu, dass auch Kaulbarsche von der Barriere aufgehalten wurden (Dawson et al. 2006).

Untersuchungen der Wirkung einer elektrischen Barriere auf den Roten Amerikanischen Sumpfkrebs (*Procambarus clarkii*) zeigten eine Reaktion der Organismen auf das elektrische Feld. Eine Immobilisierung fand jedoch erst bei einem Spannungsgradienten oberhalb von 1,82 V/cm statt (200 % der Spannung der elektrischen Barrieren im CAWS) und auch bei 3,64 V/cm (400 %) konnte keine Mortalität festgestellt werden (Egly et al. 2021). Benejam et al. (2015) trennten mittels einer elektrischen Barriere den mit der Krebspest infizierten Teil einer Dohlenkrebspopulation (*Austropotamobius pallipes*), in einem kleinen Fließgewässer zweiter Ordnung, erfolgreich vom nicht infizierten Teil der Population weiter flussaufwärts. Die Gewässerbreite betrug hier jedoch lediglich 2-3 m und die Wassertiefe 20-40 cm.

Der Amphipode *Hyaella azteca* (mexikanischer Flohkrebs) zeigte in selbiger Studie von Egly et al. (2021) ähnlich schwache Reaktionen auf das elektrische Feld der Barriere und wurde erst ab einer Feldstärke von 3,64 V/cm (400 % der Spannung der elektrischen Barriere im CAWS) immobilisiert. Die Autoren der Studie sehen den schwachen Effekt des elektrischen Felds auf höhere Krebse (Malacostraca) in der geringen Körpergröße der Organismen begründet (Egly et al. 2021). Zusätzlich können Zehnfußkrebse (Decapoda) wie der Rote Amerikanische Sumpfkrebs kurze Strecken über Land zurücklegen, wodurch die Effektivität einer rein aquatischen Barriere für diese Organismengruppe weiter reduziert wird (Ramalho & Anastácio 2015).

Anwendung

Elektrische Barrieren wurden in den USA um 1950 erstmals eingesetzt, mit dem Ziel invasiven Meerneunaugen (*Petromyzon marinus*) den Zugang zu Laichplätzen in den Zuflüssen der Great Lakes zu verwehren. Neuere Anwendungen elektrischer Barrieren gegen invasive Meerneunaugen finden sich z.B. am Black Mallard Fluss, Michigan USA wo mittels einer saisonalen Barriere mit vertikalen Elektroden und einem relativ geringen Spannungsgradienten von 0,45 V/cm eine Reduktion der Meerneunaugen oberhalb der Barriere von 99,8% erreicht werden konnte (Johnson et al. 2021). Die Kosten der Barriere wurden von den Autoren mit ca. 60.000 \$ für die Anschaffung und einigen hundert US-Dollar Betriebskosten beziffert. Die elektrische Barriere ist damit deutlich günstiger als andere Alternativen, da z.B. bereits ein einzelner Einsatz von neunaugenspezifischen Pestiziden am selben Standort ca. 70.000 \$ kostet (Johnson et al. 2021). Zusätzlich ließe sich eine Barriere diesen Typs auf Grund ihres geringen Stromverbrauchs auch mittels einer Solaranlage und Akkus betreiben, um so einen Einsatz an Standorten ohne Stromversorgung möglich zu machen (Johnson et al. 2021).

Die wohl prominenteste Anwendung einer elektrischen Barriere zur Verhinderung des Transfers invasiver Arten durch künstliche Wasserwege, stellt die „Chicago Sanitary and Ship Canal Aquatic Nuisance Species Dispersal Barrier“ dar. Ihr Ziel ist es, den Transfer invasiver Arten zwischen dem Einzugsgebiet des Mississippi Flusses und den Great Lakes zu verhindern. Beide Einzugsgebiete sind durch das Chicago Area Waterways System (CAWS) verbunden (Moy et

al. 2011). Ins Leben gerufen wurde die Planung der elektrischen Barriere im CAWS 1996 durch die Gefahr der Ausbreitung invasiver pontokaspischer Grundelarten aus den Great Lakes in das Einzugsgebiet des Mississippi. Da die Grundeln bereits 1999 oberhalb der vorgesehenen Barriere nachgewiesen wurden, wurde die Planung angepasst und das elektrische Feld von einer lediglich bodennahen Wirkung auf den gesamten Kanalquerschnitt erweitert (Moy et al. 2011). Grund dafür war die drohende Invasion durch invasive asiatische Karpfenarten (Silberkarpfen: *Hypophthalmichthys molitrix*, Marmorkarpfen: *Hypophthalmichthys nobilis*, Schwarzer Amur: *Mylopharyngodon piceus*) in die Great Lakes, die sich entlang des Mississippi-Einzugsgebiets dem CAWS näherten (Dettmers et al. 2005, Sparks et al. 2010). Diese erste elektrische Barriere im CAWS besteht aus 13 Elektroden, die über eine longitudinale Kanalstrecke von 15 m angeordnet sind und einen Spannungsgradienten von 0,39 V/cm erzeugen (Moy et al. 2011). Diese wurde in den Jahren 2009 und 2010 durch eine weitere elektrische Barriere ergänzt, die sich aus zwei identischen Barrieren (Barriere 2a und Barriere 2b) zusammensetzt. Barriere 2b dient dabei als Ersatz für Barriere 2a, wenn diese gewartet werden muss. Sowohl Barriere 2a als auch Barriere 2b sind aus je 42 Elektroden mit einer Gesamtbreite von 40 m zusammengesetzt und decken eine Kanalbreite von 49 m ab (Moy et al. 2011, 2011, O'Farrell et al. 2014). Die beiden Barrieren befinden sich 410 m stromabwärts der ersten Barriere und sind 67 m auseinandergelegen. Um die Ausbreitung des elektrischen Felds zu begrenzen, wurden stromauf- und stromabwärts der Barrieren am Kanalgrund befestigte Drahtnetze zur Erdung angebracht (Moy et al. 2011). Die Barrieren 2a und 2b wurden anfangs mit Pulsen mit einer Dauer von 6,5 ms und einer Frequenz von 15 Hz bei einem Spannungsgradienten von 0,79 V/cm betrieben. Diese Parameter wurden auf Grund von Untersuchungen mit Karpfen (*Cyprinus carpio*) und amerikanischen Gizzard Shads (*Dorosoma cepedianum*), auf Pulse mit einer Dauer von 2,5 ms mit einer Frequenz von 30 Hz und einem Spannungsgradienten von 0,91 V/cm angepasst, um auch kleineren Fischen ein Passieren der Barriere unmöglich zu machen (Parker et al. 2014).

Auf Grund der Ergebnisse von Egly et al. (2021) (s.o. Gruppenspezifische Wirksamkeit), bietet die elektrische Barriere im CAWS nur bedingt Schutz vor der Ausbreitung von Invertebraten. Besonders wenn die Organismen nicht aus eigener Kraft stromaufwärts wandern, sondern entweder passiv durch Drift oder an der Hülle von Booten und Schiffen transportiert werden.

Ein weiterer Einsatz einer elektrischen Barriere, um den Transfer invasiver Fischarten durch einen Kanal zu verhindern, findet sich im Süden der USA in Form von zwei Barrieren in Kanälen des Central Arizona Canals (CAP). Der CAP wurde als Aquädukt angelegt, um Wasser aus dem Einzugsgebiet des Colorado Flusses in das Einzugsgebiet des Gila Flusses zu leiten (Clarkson 2004). Der Kanal ist an den Standorten der Barrieren 18,5 m bzw. 15,8 m breit, maximal 2,5 m tief und in einem rechtwinkligen Profil ausgebaut (Clarkson 2004). Die Effektivität der Barrieren wurde nicht final geklärt. Es ist aber davon auszugehen, dass zumindest in Zeiten von Ausfällen Fische die Barriere passiert haben, da, anders als am CAWS, keine Redundanz in Form einer zweiten Barriere vorhanden ist (Clarkson 2004).

Neben der Anwendung elektrischer Felder als Barriere für invasive Arten, wird die Technologie mit niedrigeren Spannungsgradienten zum Schutz und zur Leitung von Fischen an Wasserentnahmen oder Wasserkraftturbinen erforscht und eingesetzt. Beispielhaft sind hier die Studien von Tutzer et al. (2022, 2021) zu nennen, die mittels der Kombination gespannter Stahlkabel und einem elektrischen Feld von ca. 0,6 V/cm einen Schutzeffekt von 97 % auf Bachforellen (*Salmo trutta fario*), Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*), Äschen (*Thymallus thymallus*) und Döbel (*Squalius cephalus*) erreichen konnten. Obwohl die Technologie in

Deutschland häufig zum Einsatz kommt, liegen nur wenige wissenschaftliche Befunde zur Wirkung und Effizienz elektrischer Fischechuanlagen vor (Keuneke et al. 2021). So wurde z.B. durch Späh (2015) die Scheuchwirkung elektrischer Fischechuanlagen insgesamt als sehr problematisch bewertet, besonders in Bezug auf Jungfische. Eine Untersuchung von Travade & Larinier (2006) an Kraftwerken in Frankreich unterstützt diese Aussage und kommt zu dem Ergebnis, dass durchschnittlich lediglich 15% der untersuchten juvenilen Salmoniden in den Bypass umgeleitet werden konnten. Den Grund dafür sehen die Autoren in der fehlenden Richtungsweisung der Fluchtreaktionen der Fische. Egg et al. (2019) sehen die geringe Scheuchwirkung dieser Anlagen älterer Generation vor allem in der Anordnung der Elektroden und den Betriebsparametern begründet und berichten von Umkehrreaktionen bei 72 % der Fisch an einem elektrischen Seilrechen neuerer Generation an einem Pumpwerk.

3.3.1.3 Akustische Barrieren

Akustische Signale können eingesetzt werden, um bei Organismen eine Fluchtreaktion hervorzurufen. Voraussetzung dafür ist, dass der Organismus das Signal wahrnehmen kann und auf die entsprechende Frequenz und Intensität reagiert.

Funktionsweise

Akustische Barrieren erzeugen mittels unter Wasser angebrachter Schallquellen ein sich vom Ursprung ausbreitendes Feld. Die Intensität des Signals nimmt dabei mit der Entfernung ab, wodurch eine richtungsweisende Wirkung erzielt werden kann. Um ein breiteres Feld mit Geräuschen abzudecken, werden meist mehrere Schallquellen nebeneinander eingesetzt (Keuneke et al. 2021). Systeme die Frequenzen im vom Menschen wahrnehmbaren Bereich (20 Hz – 20.000 Hz) oder im Ultraschallbereich (> 20.000 Hz) nutzen, erzeugen diese über Lautsprecher, die das Signal an das umgebende Wasser abgeben (Putland & Mensinger 2019). Neben diesen Systemen gibt es auch Versuche mit Frequenzen im Infraschallbereich (< 20 Hz), die ihr Signal z.B. über im Wasser bewegte Kolben erzeugen (Sand et al. 2001, Sand et al. 2000, Sonny et al. 2006). Auch Systeme, die einen Vorhang aus Luftblasen als Barriere nutzen, erzeugen durch die sich weitenden Luftblasen akustische Signale (Putland & Mensinger 2019). Diese Systeme werden im Kapitel 3.3.1.5 gesondert beschrieben, da sie neben der akustischen Komponente auf weitere Verhaltensreaktionen abzielen. Ein akustisches Signal erzeugt im umgebenden Medium neben einer Druckwelle auch eine Vibration der Partikel des Mediums (Popper et al. 2022). Alle bisher untersuchten Fischarten nehmen mindestens eines dieser beiden Signale über das Innenohr oder das Seitenlinienorgan wahr und viele zeigen eine Fluchtreaktion auf bestimmte Frequenzen und Intensitäten (Bullen & Carlson 2003, Jesus et al. 2021, Noatch & Suski 2012, Putland & Mensinger 2019). Die Sensitivität für bestimmte Frequenzen ist dabei artspezifisch unterschiedlich, was unter anderem in der Anatomie, z.B. dem Vorhandensein einer Schwimmblase oder der Verbindung von Schwimmblase und Innenohr (Weberscher Apparat) begründet liegt (Maes et al. 2004, Putland & Mensinger 2019). Die spezifische Sensitivität unterschiedlicher Fischarten auf bestimmte Frequenzen kann bei Ladich et al. (2013) nachgelesen werden. Besonders gegenüber Infraschall zeigen viele Fischarten eine starke Fluchtreaktion, wahrscheinlich, da z.B. die Schwimmbewegungen sich nähernder Raubfische Wellen in diesem Frequenzspektrum erzeugen (Sand et al. 2001). Ultraschall konnte hingegen in Untersuchungen gegenüber Fischen keine besondere Effektivität nachgewiesen werden (Noatch & Suski 2012). Die Effektivität akustischer Barrieren wird neben der Frequenz und der Intensität durch die Gewässergeometrie und die Umgebungsgeräusche beeinflusst. Eine laute Umgebung z.B. durch Motorengeräusche reduziert wahrscheinlich den gewünschten Effekt (Bzonek et al. 2021). Putland et al. (2019) sehen das größte Problem für

die Anwendung akustischer Systeme in der hohen Variabilität der in Veröffentlichungen beschriebenen Effektivität. Zudem fehlen häufig Details, die für eine Replikation der Ergebnisse essenziell wären. Akustische Barrieren haben den Vorteil gegenüber Systemen die visuelle Reize nutzen, dass ihre Wirkung unabhängig von der Trübung des Gewässers ist (Jesus et al. 2021). Laut Untersuchungen von Nissen et al. (2019) verschiebt sich die Detektionsgrenze asiatischer Karpfen von akustischen Signalen kurzfristig nach der Exposition der Fische in der Nähe einer akustischen Barriere. Ein entsprechender Gewöhnungseffekt sollte in der Planung akustischer Barrieren berücksichtigt werden. Einen weiteren Sonderfall akustischer Systeme zur Abschreckung von Fischen stellen seismische „Water-Guns“ dar. Diese wurden ursprünglich für die geologische Untersuchung des Meeresbodens entwickelt und erzeugen mit Hilfe eines großvolumigen Zylinders eine Kavitation, die im umgebenden Wasser eine starke Schockwelle hervorruft (Gross et al. 2013, Layhee et al. 2013).

Gruppenspezifische Wirksamkeit

Die Wirksamkeit akustischer Barrieren wurde bisher lediglich für verschiedene Fischarten (unter anderen: *C. carpio*, *Ictiobus cyprinellus*, *H. nobilis*, *Alosa pseudoharengus*, *Salmo trutta*) untersucht. Eine Wirkung auf andere Organismengruppen ist jedoch zumindest denkbar, da z.B. auch aquatische Invertebraten akustische Signale wahrnehmen und von ihnen beeinflusst werden (Murchy et al. 2020, Popper et al. 2022, Tidau & Briffa 2016). Die in der Literatur beschriebene Wirksamkeit akustischer Barrieren auf Fische reicht dabei von 60 % Reduktion der Individuendichte durch akustische Signale mit einer Frequenz von 20-600 Hz (Maes et al. 2004), bis zu keiner erkennbaren Wirkung, bei einer Kombination akustischer Signale und stroboskopischem Licht an der Kühlwasserentnahme eines Kraftwerks (Baker 2008). Jesus et al. (2019a) beschrieben eine deutliche Fluchtreaktion iberischer Cypriniden (*Pseudochondrostoma duriense* und *Luciobarbus bocagei*) auf sich steigende Signale im Infraschallbereich (2 Hz). Sonny et al. (2006) zeigten, dass intensive Infraschallsignale als effektives Mittel eingesetzt werden können, um Cypriniden von Kraftwerksbereichen fernzuhalten. Ähnliche Ergebnisse lieferten Sand et al. (2000) in Bezug auf stromabwärts migrierende Blankaale (*Anguilla anguilla*). Die Wirkung einer, durch eine seismische „Water-Gun“ erzeugten Druckwelle auf Hechte (*Esox lucius*) wurde von Gross et al. (2013) untersucht. Diese führte in wenigen Metern Abstand zum Ursprung zu Schwimmblasenrissen, Schäden an anderen Organen und einer deutlich erhöhten Mortalität der Fische. Rivera et al. (2018) untersuchten die abschreckende Wirkung eines ähnlichen Systems auf Marmorkarpfen (*H. nobilis*), konnten aber keinen Effekt feststellen. Lediglich die Anzahl der einheimischen Fischarten in der Umgebung der „Water-Gun“ reduzierte sich. Die Autoren gaben als möglichen Grund die geringere Körpergröße der einheimischen Arten an, und schlossen, dass die Druckwelle möglicherweise stärker auf kleinere Individuen wirkt. Konträre Ergebnisse lieferten Haymes & Patrick (1986) in Bezug auf nordamerikanische Maifische (*Alosa pseudoharengus*), die mit Hilfe niederfrequenten Schalls effektiv aus Versuchsnetzen ferngehalten werden konnten (Reduktion um bis zu 99 %). Auch hier wurden aber andere Fische beobachtet, die keine oder eine reduzierte Fluchtreaktion auf das Infraschallsignal zeigten.

Anwendung

Akustische Barrieren finden sich an der Kühlwasserentnahme einiger Kraftwerke z.B. in Norwegen (Sonny et al. 2006), Belgien (Maes et al. 2004) und den USA (Ross et al. 1996), mit dem Ziel Fische vom Ansaugstrom fernzuhalten. Die Systeme arbeiten mit unterschiedlichen Betriebsparametern und variieren in ihrer Effektivität. Baker (2008) lieferte einen Überblick über eingesetzte akustische Barrieren. Die Firma PROFISCH bot akustische Fischbarrieren an, die im

Infraschallbereich arbeiten. Auf Grund von Untersuchungen an zwei französischen Kraftwerken, die die Wirkungslosigkeit des Systems nachwiesen, wurde der Vertrieb der Anlage jedoch eingestellt (Keuneke et al. 2021). Seismische „Water-Guns“ wurden 2011 im CAWS eingesetzt, um die elektrische Barriere zu ersetzen, als diese gewartet werden musste (Layhee et al. 2013). Laut Betreiberangaben auch mit Erfolg. Dies wurde jedoch nicht wissenschaftlich überprüft. Keuneke et al. (2021) kamen zu dem Schluss, dass die immer wieder veröffentlichten Wirkgrade akustischer Fischechanlagen keiner wissenschaftlichen Überprüfung standhielten und in einer unabhängigen Untersuchung nicht reproduzierbar sind.

3.3.1.4 Licht Barrieren

Funktionsweise

Fische und viele andere aquatische Organismen haben eine ausgeprägte visuelle Wahrnehmung und können die Richtung und Entfernung optischer Signale erkennen. Sie zeigen dabei zwei gegensätzliche Reaktionen. Positive Phototaxie beschreibt das aktive Hinbewegen zur Lichtquelle, und negative Phototaxie beschreibt die Flucht vor dem Licht. Welche Reaktion im Einzelfall auftritt ist fischart- und lichtquellenspezifisch (Keuneke et al. 2021). Um eine Flucht- und Vermeidungsreaktion bei Fischen auszulösen, haben sich Lichtblitze gegen konstante Beleuchtung durchgesetzt. Dabei soll der helle Lichtblitz eine Fluchtreaktion auslösen und so Fische von bestimmten Bereichen fernhalten. Häufig wurde stroboskopisches Licht in Kombination mit akustischen Signalen und/oder Luftblasenvorhängen untersucht. Nachteilig zu bewerten ist die geringe Reichweite visueller Barrieren und deren starke Beeinflussung durch Wassertrübung (Putland & Mensinger 2019).

Gruppenspezifische Wirksamkeit

Untersucht wurde bisher nur die Wirkung von Licht als Barriere auf Fische. Die Effektivität, auch in den genannten Kombinationen mit anderen Systemen, ist jedoch, nach Sichtung der entsprechenden Literatur, als sehr variabel zu beurteilen. Im Labor zeigten Fische immer wieder eine Fluchtreaktion auf Lichtblitze (Bzonek et al. 2020, Dennis III 2019, Jesus et al. 2021, Jesus et al. 2019b, Kim & Mandrak 2017a). Dieser Effekt konnte im Feld jedoch nur für vereinzelte Arten und auch hier nicht konsistent nachgewiesen werden (Hamel et al. 2008, Keuneke et al. 2021, Königson et al. 2002). Besonders konstante Beleuchtung kann auf einige Arten auch eine anziehende Wirkung haben (Cech & Mussen 2010). Keuneke et al. (2021) bewerten die Effektivität lichtbasierter Fischechanlagen als sehr gering und wenn überhaupt, dann nur für bestimmte Fischarten, wie den Aal, als effektiv.

Anwendung

Optische Systeme zum Fischechutz finden an Einlaufbauwerken von Pumpstationen Anwendung. Erreicht werden soll die Scheuchwirkung hier durch eine Anordnung extrem heller LED-Lampen, die vor dem Feinrechen installiert werden und plötzlich aufleuchten (Aquatic Control Engineering 2023). Nach Einschätzung von Keuneke et al. (2021) und Keuneke (pers. Mitt.) ist die Wirkung von Lichtbarrieren aktuell als relativ gering einzuschätzen. Die Technik hat jedoch möglicherweise Potential im Zuge der Weiterentwicklung künstlicher Intelligenz und Bilderkennung, indem Individuen invasiver Fischarten erkannt und durch gezielten Lichteinsatz zur Entfernung umgeleitet werden können. Chai et al. (2021) entwickelten z.B. einen Algorithmus, der kamerabasiert invasive asiatische Karpfenarten mit einer Fehlerquote von lediglich 1,58 % identifizieren konnte.

3.3.1.5 Luftblasenvorhänge

Funktionsweise

Ein Vorhang aus Luftblasen im Wasser kann als eine nicht-physische Verhaltensbarriere eingesetzt werden. Die aufsteigenden Luftblasen erzeugen dabei einerseits ein verändertes Strömungsfeld, das z.B. von sich nähernden Fischen detektiert werden kann, andererseits emittieren die Luftblasen Schallwellen und wirken zusätzlich als visuelle Barriere (Noatch & Suski 2012, Zielinski et al. 2014, Zielinski & Sorensen 2016). Ein Kompressor befördert Umgebungsluft unter Druck durch ein am Grund des Gewässers angebrachtes, perforiertes Rohr, wodurch sich ein aufsteigender Vorhang aus Luftblasen bildet. Die Frequenz, der Durchmesser und die Menge der Luftblasen richtet sich dabei nach dem erzeugten Druck und der Anordnung und Größe der Löcher. Es hat sich gezeigt, dass durch eine Erhöhung des Luftstroms jedoch nicht die Größe der Blasen beeinflusst wird, sondern deren Frequenz (Kobus 1975, Zielinski 2011). Barrieren aus Luftblasen können in ihrer Wirksamkeit gesteigert werden, indem sie mit akustischen und/oder visuellen Systemen kombiniert werden (Dawson et al. 2006, Dennis III 2019, Noatch & Suski 2012, Ruebush 2011). Laut einer Expertenbefragung durch Wittmann et al. (2014) zur Barrierewirkung unterschiedlicher Technologien, um die Ausbreitung asiatischer Karpfenarten über das Chicago Area Waterways System zu verhindern, wurde die Kombination von Luftblasen, Lichtblitzen und akustischen Signalen ähnlich effektiv wie die einer elektrische Barriere eingeschätzt. Die befragten Experten waren sich jedoch weniger einig über die Wirkung der Luftblasen-Schall-Licht Barriere, als sie es in Bezug auf die elektrische Barriere waren. Die Funktion von Luftblasen-Schall-Licht Barrieren sollte zukünftig in Feldstudien getestet werden.

Der Vorteil von Barriere-Systemen, die Luftblasenvorhänge nutzen, ist die minimale Invasivität der Technologie, da Organismen, im Gegensatz zu anderen Barrieren, nicht geschädigt werden (Zielinski & Sorensen 2016).

Nachteilig ist, dass Luftblasenvorhänge nie eine absolute Barriere darstellen können und z.B. durch die Menge des Abflusses, die Gewässertiefe oder die Lichtverhältnisse beeinflusst werden (Leander et al. 2021, Noatch & Suski 2012, Perry et al. 2014).

Gruppenspezifische Wirksamkeit

Vorhänge aus Luftblasen wurden bisher lediglich zur Leitung und Kontrolle von Fischen eingesetzt. Zur Wirkung auf andere Organismengruppen konnten keine Informationen gefunden werden. Nach Dawson et al. (2006) zeigte ein Luftblasenvorhang in einer Laboruntersuchung eine abschreckende Wirkung auf Kaulbarsche (*Gymnocephalus cernua*). Das Überqueren der Barriere durch einzelne Individuen wurde jedoch nicht vollständig verhindert. Eine Labor- und in situ Studie von Leander et al. (2021) zur lenkenden Wirkung einer Barriere aus Luftblasen auf stromabwärts wandernde Lachssmolts (*Salmo salar*) kam zu dem Ergebnis, dass bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,3 m/s bis zu 70 % der Fische durch die Barriere in ein alternatives Gewässer gelenkt werden konnten. Von einer ähnlichen Effektivität konnten auch Welton et al. (2002) berichten. Laborversuche an Karpfen (*C. carpio*) zeigten eine Wirksamkeit der Barriere aus Luftblasen von 75 %-85 % (Zielinski et al. 2014). Barrieren aus Luftblasen zeigten sich effektiv gegenüber marinen Fischarten wie dem Köhler (*Pollachius virens*) und dem Pollack (*Pollachius pollachius*), jedoch gänzlich ineffektiv gegenüber Plattfischarten (Stewart 1981). Die Laboruntersuchung der Wirkung eines BAFF (Erklärung: siehe „Anwendung“) auf Marmorkarpfen (*H. nobilis*) konnte eine Wirksamkeit der Barriere von 95 % feststellen (Taylor et al. 2005). Zusätzlich zeigten die untersuchten Fische einen Lerneffekt und mieden die

Barriere, auch nachdem diese abgeschaltet war. Die Effektivität von Luftblasenvorhängen auf Fische lässt sich steigern, wenn diese mit Lichtblitzen kombiniert werden (Patrick & Christie 1985).

Miehls et al. (2017) konnten keine Wirkung einer Barriere aus Luftblasen auf stromaufwärts migrierende Meerneunaugen (*P. marinus*) feststellen (in Teilen der USA invasiv), weder wenn der Luftblasenvorhang alleine eingesetzt wurde, noch wenn dieser mit Licht und/oder akustischen Signalen kombiniert wurde.

Anwendung

Luftblasenvorhänge als Ausbreitungsbarrieren für invasive Arten wurden in den USA im Einzugsgebiet der Great Lakes an mehreren Orten getestet, zeigten jedoch in keinem Fall eine effektive und dauerhafte Barrierewirkung (Taft 2000). Unter dem Namen „BAFF – Bioacoustic Fish Fence“ wurde eine Barriere vertrieben, die einen Vorhang aus Luftblasen mit akustischen Signalen kombiniert. Das System macht sich dabei zu nutzen, dass Schall in Luft und in Wasser unterschiedlich übertragen wird. Es erzeugt eine durch zwei Luftblasenvorhänge abgegrenzte Barriere aus akustischen Signalen (Putland & Mensinger 2019). Anwendung fand das System unter anderem am Sacramento Fluss in den USA mit dem Ziel, stromabwärts migrierende juvenile Salmoniden aus Verbindungskanälen im Delta fernzuhalten (Perry et al. 2014). Das System wurde zudem mehrfach durch Labor und in situ Studien auf seine Effektivität geprüft, jedoch mit sehr unterschiedlichen Ergebnissen (Keuneke et al. 2021 und Ref. darin, Perry et al. 2014, Welton et al. 2002). Auf Grund von Veröffentlichungen von Travade und Larinier (2006) zu Untersuchungen an Kraftwerken in Frankreich und keiner erkennbaren Wirkung des BAFF Systems, wurde der Vertrieb der Technologie eingestellt (Keuneke et al. 2021). Heute ist das System jedoch wieder erhältlich und wird gegen die Ausbreitung invasiver Karpfenarten im Cumberland River, USA eingesetzt und evaluiert (D. Lampert pers. Mitt.). Bevor die elektrische Barriere im CAWS gebaut wurde, wurde auch eine Variante getestet, die auf einer Kombination von Luftblasen und akustischen Signalen basierte. Schallwellen mit einer Frequenz von 20-2000 Hz führten bei dieser Studie zu einer Reduktion der Übertritte der Barriere durch Marmorkarpfen (*H. nobilis*) um bis zu 95 % (Pegg & Chick 2004). Auch an Stauseen wurde die Technologie einer Barriere aus Luftblasen bereits eingesetzt, etwa, um das Abwandern von Besatzfischen zu verhindern, konnte dies jedoch nicht gänzlich verhindern und führte lediglich zu einer Reduktion der Abwanderung (Flammang et al. 2014).

3.3.1.6 Entfernung von Bewuchs/Anhaftungen

Bewuchs an kommerziell und freizeitlich genutzten Booten und Schiffen stellt einen entscheidenden Pfad für die Ausbreitung invasiver aquatischer Arten dar. Nicht nur im transozeanischen Schiffsverkehr, sondern auch für die inländische Ausbreitung aquatischer Organismen (Nehring 2005). Der Bewuchs beginnt als ein dünner Film aus Bakterien und anderen Einzellern, die dann eine Basis für die Ansiedlung höherer Organismen bilden. Dieser Prozess wird auch als „Fouling“ bezeichnet (GEF-UNDP-IMO 2022, Rabitsch et al. 2018a, Rajagopal et al. 2012). Dabei wird nicht nur die Außenhülle des Schiffs befallen, sondern auch alle anderen Nischenbereiche, die von Wasser benetzt sind, wie z.B. Ruder, Ruderkästen, Seekasten oder Propeller (Arndt et al. 2021). Insbesondere Organismen mit einer geringeren Eigenmobilität, wie z.B. Wasserpflanzen, Algen, Muscheln oder Invertebraten, aber auch Eier oder Larvenstadien von Fischen können an Schiffen befestigt, weite Strecken zurücklegen. Die wirksamste Maßnahme, um den Transfer invasiver Arten über diesen Pfad zu verhindern, ist es die Entstehung des Bewuchses zu verhindern oder bestmöglich zu reduzieren (IMO 2023, 2023,

2012). Zum Einsatz kommen dabei biozidhaltige Lacke, Beschichtungen auf Silikonbasis oder spezielle Systeme, die Ultraschall, Kupfer-Ionen, Ozon oder Chlor nutzen, um Bewuchs von Nischenbereichen am Schiffskörper fern zu halten. Als Biozid in Schiffslacken kam bis 2008 hauptsächlich Tributyl-Zinn (TBT) zum Einsatz, das in seiner Wirkung bisher nicht übertroffen werden konnte. TBT zeigte jedoch eine stark schädigende Wirkung auf die aquatische Umwelt, sodass dessen Einsatz 2008 von der IMO (International Maritime Organization) verboten wurde. Ersetzt wurde es hauptsächlich durch kupferbasierte Biozide (Arndt et al. 2021). Bestimmte Arten haben jedoch die Fähigkeit auf kupferbasierten Anti-fouling Lacken zu wachsen, und damit anderen Organismen das Anheften möglichzumachen (Arndt et al. 2021). Silikonbasierte Beschichtungen verändern die Oberfläche der Schiffe so, dass Organismen nicht mehr anhaften können und durch die Strömung von der Oberfläche abgelöst werden, wenn sich das Schiff wieder in Bewegung setzt (GEF-UNDP-IMO 2022, Lewis 2016). Keine der bisher eingesetzten Technologien verhindert die Bildung von Bewuchs jedoch vollständig und auch neue Antifouling-Anstriche bergen großes Konfliktpotential hinsichtlich ihrer Unbedenklichkeit für die Umwelt. Zudem müssen Antifouling Beschichtungen regelmäßig (jährlich) erneuert werden, da ihre Wirkung über die Zeit nachlässt (Arndt et al. 2021). Aus diesem Grund wurde eine Reihe reaktiver Maßnahmen entwickelt, um die Hülle und Nischenbereiche von Schiffen zu reinigen.

Funktionsweise

Die effektivste Art Schiffe von ihrem Bewuchs zu befreien, stellt die Reinigung außerhalb des Wassers im Trockendock dar. Hier wird die Oberfläche mit Bürsten oder Hochdruck gereinigt, und die Schutzschicht gegen erneuten Bewuchs wird erneuert. Die Verbringung der abgelösten biologischen Organismen wird durch die Zeit außerhalb des Wassers verhindert (Arndt et al. 2021). Der abgelöste Bewuchs sowie Reste von Lack und Bioziden sollte entsprechend gegebener Umweltstandards über die Abfallentsorgung professionell entsorgt werden. Da die Zeit im Trockendock für kommerzielle Schiffe sehr kostenintensiv ist, ist eine Reinigung der Schiffe an Land außerhalb des regulären Trockendockintervalls meist nicht realisierbar. Für freizeitlich genutzte, kleinere Boote stellt die Reinigung außerhalb des Wassers jedoch eine effektive und umsetzbare Maßnahme zur Reduktion der Ausbreitung invasiver aquatischer Arten über den Vektor „Bewuchs“ dar (Inglis et al. 2012) (Siehe auch „Check Clean Dry“ www.nonnativespecies.org/what-can-i-do/check-clean-dry/). Allein die Trocknung des Bewuchs durch die Lagerung gelegentlich genutzter Boote an Land stellt eine einfache und kostengünstige Reduktion des Risikos der Ausbreitung invasiver Arten über den Bewuchs an Booten dar (Arndt et al. 2021). Zusätzlich ist zu empfehlen, dass Sportboote, wenn diese zwischen verschiedenen Gewässern transportiert werden, mindestens gereinigt werden. Hopkins et al. (2016) empfehlen eine Trocknungsdauer von mindestens 4 Wochen, um die meisten der Organismen abzutöten, aus denen sich der Bewuchs zusammensetzt. Art der Organismen und Umgebungsparameter wie Luftfeuchte oder Temperatur beeinflussen dabei die Trocknungsdauer. Ähnliche Ergebnisse erbrachte die Untersuchung von erhitztem Meerwasser zur Abtötung von Bewuchsorganismen durch Piola & Hopkins (2012). Temperaturen von 37,5 °C bis 42,5 °C, bei Behandlungsdauern von 60 min bzw. 20 min, führten zur Mortalität aller Organismen, außer des Rankenfußkrebses *Eliminius modestus* und der Pazifischen Auster *Crassostrea gigas*. Auch eine Behandlung außerhalb des Wassers mit Desinfektionsmitteln, Bleiche oder Salzwasser wurde bereits erprobt, um die Ausbreitung der invasiven Körbchenmuschel *Corbicula fuminea* zu verhindern. Das Desinfektionsmittel Virkon® führte bei einer Konzentration von 2 % und einer Anwendungsdauer von 5 min zu einer Mortalität der Muscheln von 93,3 %;

Bleiche mit einer Konzentration von 10 % sorgte bei einer Wirkdauer von 60 min für eine Mortalität von 76,7 %, wobei Salzwasser bei selber Wirkdauer nur zu einer Mortalität von 13,3 % führte (Barbour et al. 2013). Ob diese unvollständige Desinfektion jedoch die Verbreitung verhindert, oder lediglich verzögert, ist fraglich. Diese Ergebnisse können zusätzlich Aufschluss für den Umgang mit potentiell verunreinigter Angelausrüstung geben, die ebenfalls einen Ausbreitungspfad darstellen kann.

Neben der Reinigung außerhalb des Wassers gibt es auch Systeme, um den Bewuchs Unterwasser zu entfernen. Möglich ist die manuelle Reinigung mit Tauchern, die automatisierte Reinigung mit Robotern oder von Tauchern gesteuerten Maschinen, oder der Einsatz von Waschanlagen für Boote (Nischenräume können hier jedoch häufig nicht erreicht werden). Die Reinigung erfolgt dann, in Abhängigkeit der Menge und Art des Bewuchses, durch Bürsten, Kavitationsbläschen oder Saugkraft. Das Material der Bürsten und der Wasserdruck muss an die Menge und Art des Bewuchses angepasst werden, und sollte möglichst oberflächenschonend sein, um die Beschichtung des Schiffes nicht zu beschädigen. Aus diesem Grund wurden die auf Kavitation beruhenden Reinigungssysteme entwickelt. Kleine, durch Ultraschall erzeugte Luftbläschen platzen dabei beim Auftreffen auf den Bewuchs und erzeugen starke Druckwellen. Deren Wirkung ist auf Grund der geringen Größe der Luftbläschen jedoch so lokal, dass die Beschädigung der Beschichtung des Schiffes geringer als bei konventionellen Hochdruck- oder Bürstensystemen ausfällt (Morrisey & Woods 2015). Laut IMO ist eine maximale Reinigungsleistung pro Taucher von 200-400 m²/h als realistisch anzusehen (IMO online course: Introduction to Marine Biofouling: Impacts and Management of Risks). Damit die Entfernung des Bewuchs nicht zur Ausbreitung invasiver Arten beiträgt, muss die abgelöste organische Substanz aufgefangen und behandelt werden (Inglis et al. 2012, Morrisey et al. 2013, Morrisey & Woods 2015, Scianni & Georgiades 2019, Terraphase 2012). Neben der Filtration ist zur Behandlung auch der Einsatz von UV-Strahlung, Hitze, Chlor, Ozon oder Bioziden möglich, um invasive Organismen unschädlich zu machen. Eine Filtration des Wassers, das den abgelösten Bewuchs enthält, erlaubt jedoch auch die Entfernung von gelösten Schwermetallen wie Zink oder Kupfer aus der Antifouling-Beschichtung der Schiffe (Tamburri 2019). Systeme zur Unterwasserreinigung von Schiffen, die gleichzeitig eine Behandlung der abgelösten Biomasse ermöglichen, sind jedoch noch im Beginn ihrer Entwicklung, und es liegen noch keine unabhängigen Daten zur Effektivität der Technologien vor. Z.B. ist das tauchergesteuerte Reinigungssystem Whaleshark mit einer Filtrationseinheit an Land verbunden und durch rotierende Bürsten und einer erzeugten starken Strömung sollen sekundäre Foulingorganismen, wie Muscheln, Seepocken und Röhrenwürmer von Schiffsoberflächen abgelöst werden. Die abgelöste Biomasse wird anschließend abgesaugt. Nach einer Untersuchung von Tamburri (2019) erbrachte das System eine Reinigungsleistung von über 80 %, konnte aber nie 100 % des Bewuchses entfernen. Vor allem primäre Foulingorganismen (Biofilme) blieben stellenweise zurück. Eine Untersuchung dieser Systeme quantifizierte den effektiven Rückhalt des organischen Materials auf 95 %, wobei zusätzliche Organismen z.B. durch Kontakt von Schläuchen oder Kabeln des Reinigungssystems mit der Schiffshülle oder durch den Taucher selbst abgelöst werden können. Diese Organismen gelangen, ohne eine Möglichkeit der Behandlung, in die Umwelt (Hopkins et al. 2010).

Eine weitere Möglichkeit, um den Bewuchs auf Schiffen unschädlich zu machen, ist die Einkapselung. Dabei wird der benetzte Teil des Schiffs von einer undurchlässigen Membran umhüllt. Dadurch wird die Zufuhr von Sauerstoff und Licht verhindert, wodurch der Bewuchs nach einigen Tagen abstirbt. Um diesen Prozess zu beschleunigen, kann das Wasser aus der

Einkapselung gepumpt werden oder mit Bioziden, Salz oder Hitze behandelt werden. Vorteilhaft an dieser Methode ist es, dass auch invasive Arten in Nischenbereichen am Schiff, wie z.B. dem Seekasten oder dem Ruder unschädlich gemacht werden können. Bereiche, die für konventionelle Reinigungssysteme schlecht zugänglich sind. Bisher sind Einkapselungssysteme nur für kleinere Boote auf dem Markt erhältlich, eine Hochskalierung ist aber denkbar (Inglis et al. 2012, Morrissey und Woods 2015). Die Einkapselung kann auch in der Kombination mit herkömmlichen Reinigungsverfahren angewendet werden, um die abgelöste Biomasse aufzufangen und so den Transfer in die umgebende Umwelt zu verhindern. Eine genaue Beschreibung der Möglichkeiten zur Verhinderung und Reduktion von Bewuchs, besonders im maritimen Bereich, bieten Inglis et al. (2012), Morrissey und Woods (2015) und Lewis (2016).

Gruppenspezifische Wirksamkeit

Die Unterdrückung und Entfernung von Bewuchs an Schiffen hat eine gruppenübergreifende Wirksamkeit in der Eindämmung der Ausbreitung invasiver Arten durch Kanäle (und andere Wasserstraßen). Da der Bewuchs, wie bereits beschrieben, aus mehreren sukzessiven Schritten aufgebaut ist, kann die Entfernung gleichsam gegen Mikroorganismen wie Algen, Bakterien oder Protozoen wirksam sein, sowie gegen aquatische Makrophyten und Invertebraten wie Mollusken oder Crustaceen. Die Wirksamkeit hängt dabei von der eingesetzten Reinigungstechnik und dem Grad des Bewuchses ab. Jede Art, die sich auf einer harten Oberfläche halten kann, kann Teil eines Bewuchses an einem Schiff sein. Zusätzlich fördert die Sukzession des Bewuchses das Anhaften weiterer Arten und die Entstehung einer Matrix, die auch mobilen Arten wie z.B. Krebsen eine Möglichkeit gibt, über den Bewuchs über große Strecken verbreitet zu werden (Arndt et al. 2021). Ein prominentes Beispiel, gegen deren Ausbreitung eine Entfernung von Bewuchs wirksam wäre, stellen die Dreikantmuscheln der Gattung *Dreissena* dar (im deutschen Wasserstraßennetz jedoch bereits weit verbreitet. Siehe Kapitel 2 „Floren- und Faunentransfer in Kanälen“). Diese können sich durch das Ausbilden von Byssusfäden an festen Oberflächen anhaften und so z.B. an Schiffen, Booten oder Angelausrüstung stromaufwärts verbracht werden (Angarano et al. 2009). Gegen die Ausbreitung stromabwärts zeigt die Entfernung von Bewuchs jedoch wahrscheinlich eine deutlich geringere Wirkung, da die Larven der *Dreissena* Arten ein freischwimmendes Stadium durchlaufen, in dem sie mit der Strömung verdriftet werden können (Mackie 1991).

Anwendung

Die Reinigung von Bewuchs erfolgt bisher nur in Häfen oder Docks. Eine Entfernung von Bewuchs zu Beginn einer Kanalpassage ist bisher nicht bekannt. Abdo et al. (2018) testeten erfolgreich die Anwendung eines sonarbasierten Erkennungssystem für Bewuchs an Schiffsrümpfen passierender Frachtschiffe. Mit Hilfe dieser Technologie ließe sich der Grad des Befalls eines Schiffes, z.B. am Beginn einer Kanalpassage erkennen, und mögliche Gegenmaßnahmen könnten folgen. Eine Reinigung und Entsorgung des Bewuchses wäre dann z.B. an Schleusen oder anderen Bauwerken denkbar, an denen Schiffe für eine Weile stationär sind. Schleusenbecken könnten zudem theoretisch mit einer Einkapselung versehen werden, um Schiffe von Bewuchs zu befreien. Inglis et al. (2012) geben jedoch die Verweildauer in der Einkapselung, auch mit Behandlung des umgebenden Wassers mit Essigsäure, mit 48 h an. Der Einsatz alternativer Biozide oder Hitze könnte diese Zeit aber möglicherweise reduzieren. Auch eine gezielte Behandlung mit Bioziden, Hitze oder Salz und Filtration des Wassers im Schleusenbecken wäre theoretisch möglich.

3.3.2 Chemische Maßnahmen

3.3.2.1 Chemikalien

Funktionsweise

Toxische chemische Substanzen als Barriere zielen entweder auf eine Vermeidungsreaktion der Organismen ab oder wirken darüber hinaus tödlich und verhindern so eine Invasion. Chlor wird z.B. von Fischen bereits in subletalen Konzentrationen detektiert und löst eine Vermeidungsreaktion aus (Cherry et al. 1979). Bei Fischbekämpfungsmitteln (Pisciziden) wie Rotenon oder Antamycin a hingegen zeigt sich keine Vermeidungsreaktion der Fische (Chapman et al. 2003). Da diese Substanzen jedoch dazu entwickelt wurden, möglichst effektiv Fische abzutöten, wäre eine Detektion des Piscizids und eine dadurch ausgelöste Meidung unerwünscht.

Gruppenspezifische Wirksamkeit

Die gruppenspezifische Wirksamkeit einer Barriere aus Chemikalien hängt von den eingesetzten Substanzen ab. International ist eine Reihe an Fischbekämpfungsmitteln auf dem Markt erhältlich, die sich in ihrer fischspezifischen Toxizität und ihrer Wirkung auf Nicht-Zielorganismen unterscheiden (Chapman et al. 2003, Noatch & Suski 2012). Antamycin zeigte z.B. im Vergleich zu Rotenon nur minimale Auswirkungen auf Makroinvertebratengemeinschaften (Hamilton et al. 2009). Zur Bekämpfung in den USA invasiver Meererneunaugen wurde das Lamprizid-Biozid 3-trifluoromethyl-4-nitrophenol entwickelt, das auch eine letale Wirkung auf viele Makroinvertebraten hat (Dermott & Spence 1984, Jeffrey et al. 1986). Auch zur Desinfektion von Booten an Land, Kleidung oder Ausrüstungsgegenständen, um den Transfer invasiver Invertebraten, Einzeller, Pilze und Viren zu verhindern, können Chemikalien als „Barriere“ eingesetzt werden. Zu nennen ist hier z.B. das Breitbanddesinfektionsmittel Virkon® (Lanxess, DE) oder Chlor (Barbour et al. 2013). Beim Einsatz von Bioziden ist immer die schädigende Wirkung auf Nicht-Zielorganismen mit abzuwägen und die geltenden gesetzlichen Bestimmungen zu berücksichtigen.

Anwendung

Denkbar wäre die Behandlung einzelner Abschnitte eines Kanals oder Schleusenbecken mit Bioziden als Sofortmaßnahme, um die weitere Ausbreitung eine Art zu verhindern. Auf Grund der hohen Schäden an Nicht-Zielorganismen und möglichen Auswirkungen auf die Umwelt weiter stromabwärts ist ein Einsatz nach Ansicht von Moy et al. (2011) und Noatch & Suski (2012) nur im äußersten Notfall denkbar und auch nur dann, wenn die eingesetzten Substanzen nicht persistent sind. Viele der weltweit eingesetzten Biozide sind in Deutschland nach der aktuellen Gesetzeslage nicht zugelassen. Eingesetzt wurde in den USA z.B. das Piscizid Rotenon im Jahr 2009, als die elektrische Barriere im CAWS auf Grund von Wartungsarbeiten abgeschaltet werden musste. Der Schutz der mit 7 Milliarden US-Dollar bewerteten Fischerei in den Great Lakes wurde hier gegen die Vernichtung von Nicht-Zielorganismen aufgewogen (Noatch & Suski 2012). Ein zusätzlicher Nachteil des Einsatzes toxischer chemischer Substanzen als Barriere ist es, dass sich die Stoffe im Wasser lösen, verdünnt werden und so mit der Strömung verdriften. Eine Richtungsweisung der Barriere, die eine Flucht möglich macht, ist so selbst bei „detektierbaren“ Stoffen unwahrscheinlicher (Putland & Mensinger 2019). Chlor wurde bereits häufiger zur Entfernung von Bewuchs eingesetzt, da es stark oxidierend wirkt und so für viele Organismen tödlich ist (Cherry et al. 1979, Noatch & Suski 2012). Das auf Neunaugen spezifisch wirksame Lamprizid-Biozid 3-trifluoromethyl-4-nitrophenol wurde in den Zuflüssen der Great Lakes, USA großflächig und über mehrere Jahre eingesetzt, um die

Reproduktion adulter Meerneunaugen an potenziellen Laichplätzen zu verhindern. Der Einsatz wurde jedoch auf Grund von Schäden an Nicht-Zielorganismen und schwindender Akzeptanz der Gesellschaft gegenüber Chemikalien in der Umwelt reduziert, und alternative Barrieren gewinnen wieder an Bedeutung (Dermott & Spence 1984, Gaden et al. 2021, Noatch & Suski 2012).

3.3.2.2 Pheromone

Funktionsweise

Bei Pheromonen handelt es sich um körpereigene Substanzen, die von einem Organismus abgesondert werden und bei einem anderen Organismus eine Reaktion auslösen. Pheromone spielen dabei im Lebenszyklus der meisten Organismen eine entscheidende Rolle bei der Reproduktion, zur Erkennung der Gruppenzugehörigkeit oder in Räuber-Beute-Beziehungen (Sorensen & Johnson 2016, Sorensen & Stacey 2004). Fluchtreaktionen auf Alarmpheromone wurden bereits bei vielen Organismen beobachtet, wie z.B. bei Schnecken, Krebsen oder Fischen (Little et al. 2011). Sexualhormone dienen der Erkennung und Auffindung potenzieller Geschlechtspartner und haben eine anlockende Wirkung (Johnson et al. 2005, Sorensen & Johnson 2016). Der große Vorteil des Einsatzes von Pheromonen gegenüber toxischen Substanzen ist deren art- oder gruppenspezifische Wirkung und das damit einhergehende extrem geringe Risiko für Nicht-Zielorganismen (Noatch & Suski 2012).

Gruppenspezifische Wirksamkeit

Pheromone als Maßnahme zur Kontrolle von Organismen wurden bisher im aquatischen Bereich lediglich für Fische, und vereinzelt für höhere Krebse untersucht. Da es sich bei Pheromonen meist um komplexe Gemische unterschiedlicher chemischer Verbindungen handelt und nur wenige Verbindungen bisher entschlüsselt sind, lässt sich die Wirkung von Pheromonen und deren Einsetzbarkeit als Maßnahme in Kanälen nur schwer abschätzen. Da Pheromone aber im Lebenszyklus der meisten Organismen eine Rolle spielen, ist auch von einer potentiellen Wirksamkeit für alle Organismengruppen auszugehen (Sorensen & Johnson 2016, Sorensen & Stacey 2004). Da Pheromone zusätzlich meist art- oder gruppenspezifisch wirken, ist jedoch noch ein hoher Forschungsbedarf vorhanden (Noatch & Suski 2012). Fische aus der Ordnung der Karpfenartigen (Cypriniformes) zeigten z.B. eine Fluchtreaktion auf bestimmte chemische Stoffe, die freigesetzt werden, wenn die Haut eines Artgenossen verletzt wird. Der Grund hierfür ist wahrscheinlich die durch die Verbindung Hypoxanthin-3-N-oxid und/oder eine Mischung ähnlicher Substanzen hervorgerufene Warnung vor einem Fressfeind (Little et al. 2011, Sorensen & Johnson 2016, Sorensen & Stacey 2004). Diese konnte bereits in Feldversuchen nachgewiesen werden (Brown et al. 2000). Für invasive Meerneunaugen (*P. marinus*) wurden bereits mehrere Pheromone identifiziert, die Individuen anlocken oder abstoßen (Sorensen & Johnson 2016, Wagner et al. 2011, Wagner et al. 2006). Wagner et al. (2011) konnten in einem Laborversuch z.B. eine starke Fluchtreaktion adulter Meerneunaugen auf ein Extrakt aus verwesenden Artgenossen nachweisen. Stebbing et al. (2003) konnten im Labor mittels Stress- und Alarmpheromonen eine Vermeidungsreaktion bei Signalkrebsen (*Pacifastacus leniusculus*) auslösen. Diese ließ sich im Feld bisher jedoch nur bedingt reproduzieren.

Anwendung

Bisher findet sich keine Anwendung von Pheromonen als Maßnahme gegen die Ausbreitung invasiver Arten in Kanälen. Es wurden jedoch Sexualpheromone der Meerneunaugen (*P.*

marinus) in den USA identifiziert und erfolgreich im Feld getestet, um migrierende Neunaugen in Fallen zu locken oder in Zuflüsse mit schlechten Laichbedingungen zu leiten (Johnson et al. 2005). Sollen Organismen mittels Sexualpheromonen in Fallen gelockt und so aus dem Kanal entfernt werden, zeigen diese ihre anziehende Wirkung jedoch wahrscheinlich lediglich auf geschlechtsreife Individuen. Ebenso wäre der Einsatz des von Wagner et al. (2011) beschriebenen Extrakts, ähnliche Substanzen anderer Arten, sowie Alarmpheromone, wie sie z.B. bei Hautverletzungen von Fischen freigesetzt werden, als Barriere denkbar.

3.3.2.3 Hypoxie (O₂) / Hyperkapnie (CO₂)

Funktionsweise

Fische und Krebse meiden Zonen mit reduzierter Sauerstoff- (Hypoxie) oder erhöhter CO₂-Konzentration (Hyperkapnie) (Donaldson et al. 2016, Kramer 1987, Noatch & Suski 2012, Pihl et al. 1991). Die meisten Fischarten sind dazu mit Chemorezeptoren in ihren Kiemen ausgestattet, die erhöhte CO₂-Konzentrationen (Hyperkapnie) im Wasser detektieren. Die Vermeidung dieser Bereiche geschieht dann wahrscheinlich, um der schlechteren Wasserqualität zu entkommen und so Energie einzusparen, die für den körperinternen Abbau der erhöhten CO₂-Menge nötig wäre (Kates et al. 2012, Suski 2020). CO₂ im Wasser kann dabei auf zwei Arten als Barriere wirken. Erstens wird durch die Detektion der erhöhten Konzentration eine Vermeidungsreaktion ausgelöst, und zweitens hat CO₂ ab einer gewissen Konzentration eine betäubende Wirkung auf Vertebraten und Invertebraten (Bierbower & Cooper 2010, Suski 2020). Die Vermeidung erfolgt dabei unabhängig von der Körpergröße der Fische, im Gegensatz zu elektrischen Barrieren, deren Wirkung bei kleineren Individuen reduziert ist (Cupp et al. 2017). Der benötigte Schwellenwert der CO₂-Konzentration, der eine betäubende Wirkung hervorruft, ist jedoch nicht art- und größenübergreifend erforscht und ist wahrscheinlich abhängig von der Umgebungstemperatur und der Wasserchemie (Suski 2020). Vorteilig am Einsatz von CO₂ als Barriere gegenüber anderen Chemikalien ist es, dass CO₂ natürlich in der Umwelt vorkommt und nicht persistent ist (Treanor et al. 2017). Zusätzlich zeigen Fische keine Gewöhnung an erhöhte CO₂-Konzentrationen (Suski 2020). Eine starke Absenkung der Sauerstoffkonzentration wäre z.B. durch die Zugabe von Nährstoffen und damit einer Beschleunigung des aeroben Abbaus oder über eine Begasung des Wassers mit Stickstoff möglich. Eine für Fische effektive Barriere für alle Größenklassen wäre theoretisch ab einem Sauerstoff-Schwellenwert von 1,5 mg/L erreicht (Noatch & Suski 2012). In Abhängigkeit der Art und der Umweltbedingungen können aber auch bereits höhere Sauerstoffkonzentrationen zur Meidung bestimmter Bereiche führen (Whitmore et al. 1960). Ein Nachteil von Hypoxie- und Hyperkapnie-Barrieren sind die hohen Kosten für Gas oder Stickstoffdünger, und im Fall von Nährstoffeinbringungen die Gefahr der biologischen Belastung des Wassers weiter stromabwärts (Moy et al. 2011).

Gruppenspezifische Wirksamkeit

Donaldson et al. (2016) zeigten in einem Versuchsteich, dass sowohl invasive asiatische Karpfenarten, als auch in den USA einheimische Fischarten (*Ictiobus cyprinellus*, *Ictalurus punctatus*, *Polyodon spathula* und *Perca flavescens*), Bereiche mit erhöhter CO₂-Konzentration meiden. Diese Ergebnisse konnte auch durch Cupp et al. (2017) in einem Freilandversuch mit Strömung bestätigt werden. Als Schwellenwert für eine CO₂-Konzentration, bei der die meisten Fische eine Vermeidung zeigen, kann von einer Konzentration von 70-120 mg/L CO₂ ausgegangen werden (Donaldson et al. 2016, Kates et al. 2012, Suski 2020). CO₂-Konzentrationen von 74 mg/L bzw. 196 mg/L führten bei den weit verbreiteten invasiven Dreikantmuscheln (*Dreissena spp.*) nach 96 Stunden bzw. 48 Stunden zum Tod (Treanor et al. 2017). Die

Mortalität von Amphipoden durch CO₂ wurde lediglich bei einer höheren Konzentration von 509 mg/L untersucht, die Wirkdauer reduzierte sich dabei jedoch auf 20 Minuten (Treanor et al. 2017). Auch für Flusskrebse konnte eine Meidung erhöhter CO₂-Konzentrationen nachgewiesen werden (Bierbower und Cooper 2010). Das Hyperkapnie auch eine Vermeidungsreaktion bei Mollusken auslöst, konnten Szklaruk et al. (2021) in einem Versuch mit den aquatischen Schnecken *Cipangopaludina chinensis* und *Physella acuta* beobachten.

Anwendung

Barrieren mit reduzierter Sauerstoffverfügbarkeit oder erhöhter CO₂-Konzentration sind bisher nur als Konzepte entwickelt worden. Ihre Vorteile wären klar gegeben, da Sauerstoffreduktion ab einem Schwellenwert und einer gewissen Dauer für alle atmenden Organismen als Barriere wirksam wäre. Gleichzeitig kommen beide Substanzen natürlicherweise in der Natur vor und hätten nur einen geringen Einfluss auf die Umgebung außerhalb der Barriere. Um auch dem schiffsgebundenen Transfer von Arten zu begegnen, müsste eine derartige Barriere jedoch idealerweise mit einer Reinigung der Schiffe und einer Behandlung des Ballastwassers kombiniert werden, da sich durch die Photosyntheseaktivität von Organismen, die Teil des Bewuchses sind, Sauerstoffrefugien bilden könnten. CO₂ könnte als Verhaltensbarriere z.B. an einer Schleuse genutzt werden, um den Transfer von Organismen in die Schleusenkammer zu unterbinden. Zusätzlich könnte in Abschnitten im Kanal die CO₂-Konzentration erhöht bzw. die O₂-Konzentration reduziert werden, um stromaufwärts migrierende Organismen zu betäuben. Diese würden dann von der Strömung wieder flussabwärts verdriftet werden (Cupp et al. 2017, Suski 2020). Wie eine konstante Hypoxie oder Hyperkapnie über einen längeren Abschnitt eines Kanals technisch möglich und gleichzeitig ökonomisch vertretbar wäre, ist jedoch unklar (Donaldson et al. 2016, Noatch & Suski 2012). Eine Barriere durch Hyperkapnie ist jedoch nicht als 100 % effektiv einzuschätzen, kann aber mit anderen Barriersystemen kombiniert werden, um so eine Redundanz aufzubauen (Kates et al. 2012). Wird CO₂ in Wasser eingeleitet, kommt es zu einer Senkung des pH-Werts, da das Kohlenstoffdioxid mit Wasser zu Kohlensäure reagiert. Diese Versauerung kann eine zusätzliche Barriere-Wirkung darstellen, gefährdet aber auch die Umwelt stromabwärts (Donaldson et al. 2016). Eine Anhebung des pH-Werts nach der Barriere wäre z.B. durch die Zugabe von gemahlenem Kalkstein möglich (Treanor et al. 2017). Im CAWS war eine Barriere durch Hypoxie in Überlegung, da durch die Einleitung organisch belasteter Abwasser Teile des Kanals periodisch sehr geringe Sauerstoffkonzentrationen aufwiesen. Diese Idee wurde jedoch nicht weiter verfolgt, wahrscheinlich auf Grund der Auswirkungen des belasteten Abwassers auf die Umwelt weiter Stromabwärts (Noatch & Suski 2012).

3.3.2.4 Ozon (O₃)

Funktionsweise

Ozon wirkt stark oxidierend, und hat bereits in geringen Konzentrationen eine letale Wirkung auf viele aquatische Organismen. Auf Grund dieser Eigenschaft wird Ozon bereits in der Aquakultur, zur Desinfektion von Ballastwasser und zur Abwasserbehandlung eingesetzt. Der Vorteil am Einsatz von Ozon im Vergleich zu anderen Chemikalien ist es, dass das Gas nur eine kurze Kontaktzeit benötigt, um zu wirken, schnell im Wasser abgebaut wird und nur eine geringe Schadwirkung für die Umwelt hat. Ozon wird dafür am besten über eine möglichst große Oberfläche an das Wasser abgegeben. Dies wird meist über einen Diffusor erreicht, der das Gas in Form kleiner Blasen freisetzt. Im Wasser zerfällt Ozon relativ schnell wieder in Sauerstoff und Hydroxidionen (Buley et al. 2017).

Gruppenspezifische Wirksamkeit

Ozon wirkt bereits in geringen Konzentrationen letal auf Pilze, Bakterien, Zoo- und Phytoplankton sowie Viren. Höhere Konzentrationen führen zu Beeinträchtigungen und Mortalität bei Fischen (Buley et al. 2017). Speziell gegen invasive Arten wurde die letale Wirkung von Ozon für Muscheln der Gattung *Dreissena* (Harrington et al. 1997, van Benschoten et al. 1993) untersucht, sowie für Algen (Herwig et al. 2006) und Cyanobakterien (Zamyadi et al. 2015). Ob erhöhte Ozon-Konzentrationen eine Verhaltensänderung bei Fischen hervorrufen, wie es z.B. bei CO₂ der Fall ist, ist bisher nicht untersucht (Buley et al. 2017). Mittlere und hohe Ozonkonzentrationen (Redoxpotential > 300 mV) führen jedoch zu Veränderungen und Nekrose von Fischzellen und können letale Auswirkungen haben (Buley et al. 2017).

Anwendung

Die Anwendung erhöhter Ozon-Konzentrationen als nicht-physische Barriere in Kanälen wäre denkbar, wurde bisher jedoch nicht erprobt. Laut Buley et al. (2017) liegt auch noch keine Technologie vor, die es ermöglichen würde, die Mengen Ozon im Wasserkörper zu lösen, die für eine Barriere in einem Kanal nötig wären. Zusätzlich müsste das System die Ozon-Konzentration im Wasser auch unter wechselnden Umweltbedingungen konstant halten können. Beeinflusst wird die Löslichkeit und der Abbau von Ozon im Wasser z.B. von der Temperatur, dem pH-Wert, dem Wasserdruck und der Ozonmenge, die eingeleitet wird (Buley et al. 2017). Ein großer Vorteil von Ozon als Barriere für invasive Arten wäre dessen Wirkung gegen Organismengruppen, gegen die andere Barrieretypen (z.B. elektrisch, akustisch, visuell) keine Wirkung zeigen. Ozon könnte demnach in Kombination mit anderen Barrieren eingesetzt werden, um diese Lücke zu schließen und auch Bakterien, Plankton, Viren oder andere Pathogene vom Transfer durch Kanäle abzuhalten (Buley et al. 2017). Um die benötigte Menge Ozon und die Auswirkungen auf die Umwelt zu reduzieren, könnten im Gegensatz zu offenen Kanalabschnitten relativ abgeschlossene Bereiche, wie z.B. Schleusenammern, mit Ozon behandelt werden (Buley et al. 2017). Auch hier sind dennoch Verluste vorhanden, da jeder Schleusungsvorgang zum teilweisen Wasseraustausch führt. Beim Einsatz von Ozon als Barriere ist jedoch auch die toxische Wirkung des Gases auf den Menschen zu beachten, und entsprechende Vorsichtsmaßnahmen sind zu treffen (Buley et al. 2017).

3.3.2.5 Osmotisch

Funktionsweise

Eine Veränderung der Konzentration gelösten Salzes im Wasser kann bei Organismen, die an geringere oder höhere Salzgehalte angepasst sind, einen osmotischen Schock auslösen und so zu einer erhöhten Mortalität führen (Kartvedt & Aksnes 1992, Netto et al. 2012, Tang & Aldridge 2021). Zusätzlich gibt es für die meisten Organismen Optima der Salzkonzentration. Eine Abweichung der Salinität von diesen Werten führt zu erhöhtem Energieverbrauch im Organismus, und könnte deshalb potentiell eine Vermeidungsreaktion ähnlich der der Hyperkapnie hervorrufen.

Gruppenspezifische Wirksamkeit

Viele Süßwasserfische meiden Bereiche mit höheren Salzkonzentrationen, wie z.B. in Mündungsbereichen von Flüssen, da ihnen die nötige anatomische Anpassung der Kiemen fehlt, die es ihnen erlaubt Salz auszuscheiden (Whitfield 2015). Diese Meidungsreaktion wäre als Barriere für invasive Fischarten einsetzbar. Santagata et al (2008) untersuchten die Überlebensrate von 54 Süßwasserarten, die im Ballastwasser von Schiffen vorkommen können, in

Meerwasser und kamen zu dem Ergebnis, dass Salzwasser vor allem wirksam gegen Zooplankton ist. Die Larven von Dekapoden, Mollusken und Rankenfußkrebse überlebten die Wirkdauer von 24 Stunden meist. Umgekehrt führte auch eine plötzliche Senkung des Salzgehalts zum Tod vieler im Salzwasser lebender Zooplanktonarten (Kaartvedt und Aksnes 1992).

Anwendung

Eine künstliche Veränderung der Salinität wurde bisher noch nicht als Ausbreitungsbarriere in Kanälen eingesetzt. Eine prominente Anwendung dieses Konzepts findet sich jedoch in Form des Ballastwasseraustauschs auf hoher See (Santagata et al. 2008, Tang & Aldridge 2021). Eine Veränderung des Salzgehalts mit dem Ziel, invasive Arten abzutöten oder zu schwächen, wäre z.B. an Schleusenbecken oder in Kombination mit einer Einkapselung möglich. Auch eine Behandlung des Bewuchses und des Bilgewassers von Sport- und Freizeitbooten mit Salz vor dem Umsetzen in andere Gewässer wäre denkbar. Zu beachten beim Einsatz von Salz ist, dass dieses auf die meisten Organismen eine relativ lange Wirkdauer hat, je nach Salzkonzentration auch mehrere Tage (Tang & Aldridge 2021). Im Panamakanal zeigt sich, dass durch die unterschiedliche Salinität des Kanals (süßwassergespeist) im Vergleich zu den verbundenen Meeren eine Barriere entsteht, die die Ausbreitung invasiver Arten reduziert. Der Kanal wird vom Süßwasser des Gatun Sees gespeist, dessen Salzkonzentration sich deutlich von der des Pazifischen- bzw. Atlantischen Ozeans unterscheidet (Galil et al. 2007).

3.4 Resümee

Die Recherche zu vorhandenen und möglichen technischen Maßnahmen zur Verhinderung oder Minimierung der Einbringung und des Transfers von Organismen in Kanälen, sowie von Vorschlägen zur Optimierung dieser Maßnahmen, lässt sich auf die folgenden Punkte zusammenfassen:

Als wirkungsvollste Methode, um die Ausbreitung aquatischer Organismen über künstliche Kanäle zu verhindern, ist die hydraulische Trennung einzuschätzen. Diese ist z.B. über den Rückbau der Kanalverbindung zu erreichen. Da die meisten Kanäle jedoch zur Schifffahrt, Freizeitnutzung oder Wasserleitung genutzt werden, werden Maßnahmen benötigt, die die hydraulische Verbindung aufrechterhalten. Da alle untersuchten Maßnahmen nicht gleichsam gegen alle Organismengruppen wirksam sind und zusätzlich immer eine Redundanz vorhanden sein muss, sollte eine mögliche Maßnahme in Kanälen immer an die Bedingungen vor Ort angepasst sein und aus einer Kombination mehrerer Systeme bestehen. Zudem ist, nach der Einschätzung mehrerer Experten, der vollständige und dauerhafte Ausschluss aller Organismen als äußerst komplex und wahrscheinlich nicht realisierbar anzusehen. Die Behandlung von Ballastwasser, das einen weiteren Einbringungs- und Ausbreitungspfad in Kanälen darstellt, wird in einem eigenen Maßnahmenplan behandelt, und ist deswegen nicht Teil des vorliegenden Forschungsprojekts.

Weltweit gibt es nur wenige Beispiele einer Anwendung technischer Maßnahmen zur Verhinderung der Ausbreitung invasiver Arten über Kanäle. Das prominenteste Beispiel stellt die elektrische Barriere im Chicago Area Waterways System (CAWS) dar, die das Eindringen asiatischer Karpfenarten aus dem Einzugsgebiet des Mississippi in die Great Lakes verhindern soll. Eine ähnliche, kleinere Barriere findet sich im Süden der USA im Central Arizona Projekt (CAP). Außer diesen elektrischen Barrieren gibt es keine Systeme, die in Kanälen und/oder dauerhaft in Benutzung sind. Es wurde jedoch eine Vielzahl potentieller Maßnahmen entwickelt und

getestet oder auch bereits zeitweise in ähnlichen Systemen eingesetzt. Zusätzlich finden sich Technologien, die in anderen Bereichen, wie z.B. dem Fischschutz oder dem Management invasiver Neunaugen, Verwendung finden, deren Anwendung aber auch als Maßnahme in Kanälen denkbar wäre. Grundsätzlich lassen sich die Technologien anhand ihrer Wirkweise in physikalische und chemische Anwendungen unterteilen, wobei es auch zu Überschneidungen und Kombinationen kommt. Die im Kapitel 3.3.1 beschriebenen physikalischen Technologien umfassen: „Mechanische und hydraulische Barrieren“, „Elektrische Barrieren“, „Akustische Barrieren“, „Licht Barrieren“, „Luftblasenvorhänge“ und „Entfernung von Bewuchs/Anhaftungen“. Die im Kapitel 3.3.2 beschriebenen chemischen Maßnahmen umfassen: „Chemikalien“, „Pheromone“, „Hypoxie (O₂) /Hyperkapnie (CO₂)“, „Ozon (O₃)“ und „Osmotisch“. Verhaltensbarrieren, die auf eine Reaktion der Organismen abzielen, zeichnen sich meist durch eine sehr geringe Beeinträchtigung der Umwelt und der Nutzung des Kanals aus. Ihre Effektivität wird jedoch als sehr viel geringer, als die physischer Barrieren eingeschätzt und es liegen nur wenige unabhängige Untersuchungen vor. Zudem können sie keine Wirkung gegen den Pfad „Ausbreitung mit der Strömung“ zeigen. Eine Einschätzung der Effektivität (basierend auf Literaturrecherche und Expertenbefragung) der international eingesetzten und theoretisch möglichen Maßnahmen in Kanälen gegenüber einzelnen Organismengruppen ist in Tabelle 1 zusammenfassend dargestellt. Die Auswahl der Organismengruppen orientiert sich an den im Kapitel 2 „Floren- und Faunentransfer durch Kanäle“ identifizierten Gruppen und deren ausbreitungsrelevanten Prozessen. Zu beachten ist, dass viele der Maßnahmen Unterschiede in ihrer Wirkung auf Ebene der Arten gezeigt haben, und deshalb eine spezifische Bewertung, mit einer feineren Auflösung nötig ist, bevor eine Technologie eingesetzt werden kann. Zusätzlich wurde die Wirkung vieler Maßnahmen nur für die Artengruppe der Fische untersucht, woraus sich eine inhomogene Verteilung des Wissensstands ergibt. Um die Ausbreitung der Organismengruppe der Fische zu reduzieren oder zu verhindern, bieten sich vor allem mechanische/hydraulische Barrieren, elektrische Barrieren oder Chemikalien an. Hypoxie/Hyperkapnie und Pheromone zeigen ebenso Potential, sind jedoch nur wenig erforscht. Die Einbringung und Ausbreitung von Pflanzen und Pilzen in Kanälen ließe sich am besten über die Entfernung von Bewuchs und Anhaftungen an Schiffen verhindern. Wichtig ist hier, dass die entfernte Biomasse behandelt wird. Haben die Organismen einen Kanal jedoch bereits bis zu einem Punkt (z.B. einer Schleuse) besiedelt, ist die weitere Ausbreitung auch ohne Schiffe als Ausbreitungsvektoren sehr wahrscheinlich. Gegen Pilze, die von Wirtsorganismen übertragen werden, können zusätzlich Maßnahmen wirksam sein, die sich gegen diese Organismen richten. Weichtiere werden am effektivsten durch die Reinigung von Bewuchs und Anhaftungen an Schiffen betroffen. Gleiches gilt für die meisten Gliederfüßer, wobei es zusätzlich mechanische und hydraulische Barriersysteme gegen Flusskrebse gibt. Als Sofortmaßnahme gegen alle Organismengruppen wäre der Einsatz unterschiedlicher Chemikalien möglich. Dieser ist jedoch meist mit hohen Umweltauswirkungen verbunden und sollte nur im äußersten Notfall und nur nach Abwägung aller Möglichkeiten und unter Beachtung gesetzlicher Regelungen durchgeführt werden. Zudem stellt der Einsatz von Chemikalien immer nur einen zeitlich begrenzten Schutz dar.

Tab. 1: Auflistung der international eingesetzten und theoretisch möglichen Maßnahmen in Kanälen, um den Transfer und die Einbringung invasiver Arten über diesen Vektor zu verhindern oder zu verlangsamen, sowie der relevanten Organismengruppen aus dem Reich der Wirbellosen & Wirbeltiere. Die Relevanz der Maßnahmen für die jeweilige Artengruppe ist in drei Stufen gegliedert: + „geringe Relevanz“; ++ „mittlere Relevanz“; +++ „hohe Relevanz“. Die Einstufung erfolgte basierend auf Fachwissen (Experten) und der durchgeführten Literaturrecherche.

Maßnahmen	Relevanz der Maßnahmen			
	Fische (Pisces)	Pflanzen (Spermatophyta) Pilze (Fungi)	Weichtiere (Mollusca)	Gliederfüßer (Arthropoda)
Mechanische Barrieren	+++ (größenspezifisch)	+ (Pilze: Wirtorganismen)		++ (größenspezifisch)
Hydraulische Barrieren	++ (Schwimmstärke) (Nur stromauf)	+ (Pilze: Wirtorganismen)		++ (Nur stromauf)
Elektrische Barrieren	+++ (größenspezifisch)	+ (Pilze: Wirtorganismen)		++
Akustische Barrieren	+ (artspezifisch)			
Licht Barrieren	+ (artspezifisch)			
Luftblasenvorhänge	+			
Kombination Luftblasen/Licht/Akustisch	++ (artspezifisch)			
Entfernung von Bewuchs	+ (v.a. Eier)	+++	+++	+++
Chemikalien	+++	+++	+++	+++
Pheromone	++ (artspezifisch)		+ (artspezifisch)	+ (artspezifisch)
Hypoxie/Hyperkapnie	+++		++	++
Ozon	+	++	++	++
Osmotisch	+		+	+

Tab. 2: Auflistung der international eingesetzten und theoretisch möglichen Maßnahmen in Kanälen, um den Transfer und die Einbringung invasiver Arten über diesen Vektor zu verhindern oder zu verlangsamen, sowie deren Vor- und Nachteile, ob und in welcher Form diese bereits eingesetzt wurde und unter welchen Bedingungen ein Einsatz der Maßnahme denkbar wäre.

Maßnahmen	Vorteile	Nachteile	Anwendung	Einsatzbedingungen
Mechanische Barrieren	Potentiell hohe Effektivität	Nur für größere Organismen, Passierbarkeit für Schiffe eingeschränkt	Im Fischschutz an Wasserkraftwerken oder Kühlwasserentnahmen	Nur in Kanälen ohne Schifffahrt
Hydraulische Barrieren	Hohe Umweltverträglichkeit, Potentiell hohe Effektivität gegen Migration stromaufwärts	Hohe Fließgeschwindigkeiten nötig, Nur gegen Migration stromaufwärts, Nur schwimmschwache Arten	Prototypen in kleinen Gewässern, wie z.B. Fischpässen	Verengung im Kanalquerschnitt nötig um Fließgeschwindigkeit zu erreichen
Elektrische Barrieren	Schiffbarkeit bleibt erhalten	Größenselektiv, Gefahr für Menschen	Kommerzielle Anwendung im CAWS und CAP	Technisches Ausbauprofil, Unterbrechungsfreie Stromversorgung
Akustische Barrieren	Hohe Umweltverträglichkeit, Schiffbarkeit bleibt potentiell erhalten	Artselektiv, Wirkung wird in Frage gestellt	Im Fischschutz an Wasserkraftwerken oder Kühlwasserentnahmen	Akustik muss vor Ort geprüft werden
Licht Barrieren	Hohe Umweltverträglichkeit Schiffbarkeit bleibt potentiell erhalten	Wirkung nicht überprüft, oder wird in Frage gestellt	Im Fischschutz an Wasserkraftwerken oder Kühlwasserentnahmen	Geringe Trübung
Luftblasenvorhänge	Hohe Umweltverträglichkeit Schiffbarkeit bleibt erhalten	Wirkung nicht überprüft, oder wird in Frage gestellt	Im Fischschutz an Wasserkraftwerken oder Kühlwasserentnahmen Aquakultur	Geringe Trübung, relativ flaches Wasser
Kombination Luftblasen/Licht/Akustisch	Hohe Umweltverträglichkeit Schiffbarkeit bleibt erhalten	Wirkung wird in Frage gestellt	Im Fischschutz an Wasserkraftwerken oder Kühlwasserentnahmen	Siehe: Einzelmaßnahmen
Entfernung von Bewuchs	Effektiv gegen Organismen, die von anderen Maßnahmen nicht betroffen werden	Aufwendig, Reinigung im Wasser mit Behandlung bisher nur Prototypen	In Häfen und Docks	Zeit und Platzintensiv

Fortsetzung Tabelle 2

Maßnahmen	Vorteile	Nachteile	Anwendung	Einsatzbedingungen
Chemikalien	Gegen alle Organismengruppen einsetzbar	Umweltschäden, Kosten, Nur Momentlösung	Im Management invasiver Arten (z.B. in CAWS)	Verhältnismäßigkeit ist zu prüfen
Pheromone	Theoretisch gegen alle Organismengruppen einsetzbar, Artselektiv	Wenig erforscht	Im Management invasiver Arten (z.B. in Great Lakes, USA)	Stoffe und Wirkung müssen bekannt sein
Hypoxie/Hyperkapnie	Theoretisch gegen alle Organismengruppen einsetzbar, geringe Umweltauswirkung	Wenig erforscht, Kosten, Gaslogistik	Keine	
Ozon	Theoretisch gegen alle Organismengruppen einsetzbar, kurze Wirkdauer	Wenig erforscht, Gefahr für Menschen	Desinfektion	Verhältnismäßigkeit ist zu prüfen
Osmotisch	geringe Umweltauswirkung	Anwendung wenig erforscht	Suezkanal	

CAWS: Chicago Area Waterways System; CAP: Central Arizona Project

3.5 Quellen

- Abdo, D., Duggan, R., McDonald, J. (2018): Sounding out pests: the potential of hydroacoustics as a surveillance and compliance tool in aquatic biosecurity. *Biological Invasions* 20 (12): 3409-3416.
- Angarano, M., McMahon, R., Schetz, J. (2009): Cannabinoids inhibit zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) byssal attachment: a potentially green antifouling technology. *Biofouling* 25 (2): 127-138.
- Aquatic Control Engineering (2023): Fish Deterrent Systems | Aquatic Control Engineering. <https://www.aquaticcontrol.co.uk/products/fish-deterrent-systems/> (letzter Zugriff: 09.03.2023)
- Arndt, E., Robinson, A., Hester, S. (2021): Factors that influence vessel biofouling and its prevention and management. Final report for CEBRA Project 190803. CEBRA – Centre of Excellence for Biosecurity Risk Analysis. Melbourne: 106 S.
- Bajer, P., Claus, A., Wein, J., Kukulski, E. (2018): Field test of a low-voltage, portable electric barrier to guide invasive common carp into a mock trap during seasonal migrations. *Management of Biological Invasions* 9 (3): 291-297.
- Baker, J. (2008): The effect of strobe light and sound behavioral deterrent systems on impingement of aquatic organisms at plant Barry, Alabama. Masters thesis. Auburn University. Auburn: 217 S.
- Barbour, J., McMenamin, S., Dick, J., Alexander, M., Caffrey, J. (2013): Biosecurity measures to reduce secondary spread of the invasive freshwater Asian clam, *Corbicula fluminea* (Müller, 1774). *Management of Biological Invasions* 4 (3): 219-230.

- Benejam, L., Saura-Mas, S., Montserrat, J., Torres, F., Macies, M. (2015): Could electric fish barriers help to manage native populations of European crayfish threatened by crayfish plague (*Aphanomyces astaci*). *Management of Biological Invasions* 6 (3): 307-310.
- Bierbower, S., Cooper, R. (2010): The effects of acute carbon dioxide on behavior and physiology in *Procambarus clarkii*. *Journal of experimental zoology. Part A, Ecological genetics and physiology* 313 (8): 484-497.
- Brown, G., Adrian, J., Smyth, E., Leet, H., Brennan, S. (2000): Ostariophysan Alarm Pheromones: Laboratory and Field Tests of the Functional Significance of Nitrogen Oxides. *Journal of Chemical Ecology* 26 (1): 405-416.
- Buley, R., Hasler, C., Tix, J., Suski, C., Hubert, T. (2017): Can ozone be used to control the spread of freshwater Aquatic Invasive Species? *Management of Biological Invasions* 8 (1): 13-24.
- Bullen, C., Carlson, T. (2003): Non-physical fish barrier systems: their development and potential applications to marine ranching. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 13 (2): 201-212.
- Bzonek, P., Kim, J., Mandrak, N. (2021): Individual variation influences avoidance behaviour of invasive common carp (*Cyprinus carpio*) and native buffalo (*Ictiobus*) to stroboscopic and acoustic deterrents. *Marine and Freshwater Research* 72 (11): 1682–1688.
- Bzonek, P., Kim, J., Mandrak, N. (2020): Short-term behavioural response of common carp, *Cyprinus carpio*, to acoustic and stroboscopic stimuli. *Management of Biological Invasions* 11 (2): 279-292.
- Cech, J., Mussen, T. (2010): *Vibrating or Flashing Screens: Investigating Fish`s Ability to avoid Screens and Louvers using Vibrations and Strobe Lights as Deterrence*. University of California. Davis: 48 S.
- Chai, J., Lee, D.-J., Tippetts, B., Lillywhite, K. (2021): Implementation of an Award-Winning Invasive Fish Recognition and Separation System. *Electronics* 10 (17): Nr. 2182.
- Chapman, D., Benson, A., Embke, H., King, N., Kočovský, P., Lewis, T., Mandrak, N. (2021): Status of the major aquaculture carps of China in the Laurentian Great Lakes Basin. *Journal of Great Lakes Research* 47 (1): 3-13.
- Chapman, D., Fairchild, J., Carollo, B., Deters, J., Feltz, K., Witte, C. (2003): *An Examination of the Sensitivity of Bighead Carp and Silver Carp to Antamycin A and Rotenon*. USGS. Columbia: 22 S.
- Cherry, D., Larrick, S., Giattina, J., Dickson, K., Cairns, J., JR. (1979): Avoidance and Toxicity Responses of Fish to Intermittent Chlorination. *Environment International* 2: 85-90.
- Chucholl, C. (2019): *Artenschutz durch Krebsperren*. LFVBW – Landesfischereiverband Baden-Württemberg e.V. Stuttgart: 23 S.
- Chucholl, C., Dümpelmann, C. (2017): *Erstellung einer Expertise zu Krebsperren und alternativen Schutzmaßnahmen für den Steinkrebs*. Sondergutachten 2017. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie Abteilung Naturschutz. Gießen: 40 S.
- Clarkson, R. (2004): Effectiveness of Electrical Fish Barriers Associated with the Central Arizona Project. *North American Journal of Fisheries Management* 24 (1): 94-105.
- Cupp, A., Erickson, R., Fredricks, K., Swyers, N., Hatton, T., Amberg, J. (2017): Responses of invasive silver and bighead carp to a carbon dioxide barrier in outdoor ponds. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 74 (3): 297-305.
- Davis, J., LeRoy, J., Shanks, M., Jackson, P., Engel, F., Murphy, E., Baxter, C., Trovillion, J., McInerney, M., Barkowski, N. (2017): Effects of tow transit on the efficacy of the Chicago Sanitary and Ship Canal Electric Dispersal Barrier System. *Journal of Great Lakes Research* 43 (6): 1119-1131.

- Davis, J., Jackson, P., Engel, F., LeRoy, J., Neeley, R., Finney, S., Murphy, E. (2016): Entrainment, retention, and transport of freely swimming fish in junction gaps between commercial barges operating on the Illinois Waterway. *Journal of Great Lakes Research* 42 (4): 837-848.
- Dawson, H., Reinhardt, U., Savino, J. (2006): Use of Electric or Bubble Barriers to Limit the Movement of Eurasian Ruffe (*Gymnocephalus cernuus*). *Journal of Great Lakes Research* 32 (1): 40-49.
- Dennis III, C. (2019): Evaluating the ability of sound, an air curtain, and high-intensity light, both alone and together, to deter bighead and common carps. Dissertation. University of Minnesota. Minnesota: 174 S.
- Dermott, R., Spence, H. (1984): Changes in Populations and Drift of Stream Invertebrates Following Lampricide Treatment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 41: 1695-1701.
- Dettmers, J., Boisvert, B., Barkley, T., Sparks, R. (2005): Potential impact of steel-hulled barges on movement of fish across an electric barrier to prevent the entry of invasive carp into Lake Michigan. US Fish and Wildlife Service, Center for Aquatic Ecology. Illinois: 20 S.
- Donaldson, M., Amberg, J., Adhikari, S., Cupp, A., Jensen, N., Romine, J., Wright, A., Gaikowski, M., Suski, C. (2016): Carbon Dioxide as a Tool to Deter the Movement of Invasive Bigheaded Carps. *Transactions of the American Fisheries Society* 145 (3): 657-670.
- Ebel, G. (2013): *Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen. = Fish protection and downstream passage at hydro Power stations: Handbuch Rechen- und Bypasssysteme; Ingenieurbiologische Grundlagen, Modellierung und Prognose, Bemessung und Gestaltung. Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie 4. Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie Dr. Ebel. Halle (Saale): 484 S.*
- Egg, L., Pander, J., Mueller, M., Geist, J. (2019): Effectiveness of the electric fish fence as a behavioural barrier at a pumping station. *Marine and Freshwater Research* 70 (10): 1-6.
- Egly, R., Polak, R., Cook, Z., Moy, H., Staunton, J., Keller, R. (2021): Development and First Tests of a Lab-Scale Electric Field for Investigating Potential Effects of Electric Barriers on Aquatic Invasive Invertebrates. *Frontiers in Ecology and Evolution* 9: Nr. 631762
- Finnoff, D., Shogren, J., Leung, B., Lodge, D. (2007): Take a risk: Preferring prevention over control of biological invaders. *Ecological Economics* 62 (2): 216-222.
- Flammang, M., Weber, M., Thul, M. (2014): Laboratory Evaluation of a Bioacoustic Bubble Strobe Light Barrier for Reducing Walleye Escapement. *North American Journal of Fisheries Management* 34 (5): 1047-1054.
- Gaden, M., Brant, C., Stedman, R., Cooke, S., Young, N., Lauber, T., Nguyen, V., Connelly, N., Knuth, B. (2021): Shifting baselines and social license to operate: Challenges in communicating sea lamprey control. *Journal of Great Lakes Research* 47: 800-808.
- Galil, B., Nehring, S., Panov, V. (2007): Waterways as Invasion Highways – Impact of Climate Change and Globalization. In: Nentwig, W. (Hrsg.): *Biological Invasions*. Springer, Berlin: 59-74.
- GEF-UNDP-IMO (2022): *Biofouling Management for Recreational Boating: Recommendations to Prevent the Introduction and Spread of Invasive Aquatic Species*. GloFouling Partnerships Project Coordination Unit International Maritime Organization. London: 80 S.
- Gerard T. Haymes, Paul H. Patrick (1986): Exclusion of Adult Alewife, *Alosa pseudoharengus* Using Low-Frequency Sound for Application at Water Intakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 43/1986: 855-862.
- GOBIO – Büro für biologische Gutachten (2018): *Modellprojekt Krebsperren zum Schutz von Dohlenkrebs- und Steinkrebsbeständen*. Handlungsleitfaden. Regierungspräsidium Karlsruhe. Karlsruhe: 12 S.

- Gross, J., Irvine, K., Wilmoth, S., Wagner, T., Shields, P., Fox, J. (2013): The Effects of Pulse Pressure from Seismic Water Gun Technology on Northern Pike. *Transactions of the American Fisheries Society* 142 (5): 1335-1346.
- Hamel, M., Brown, M., Chipps, S. (2008): Behavioral Responses of Rainbow Smelt to in situ Strobe Lights. *North American Journal of Fisheries Management* 28 (2): 394-401.
- Hamilton, B., Moore, S., Williams, T., Darby, N., Vinson, M. (2009): Comparative Effects of Rotenone and Antimycin on Macroinvertebrate Diversity in Two Streams in Great Basin National Park, Nevada. *North American Journal of Fisheries Management* 29 (6): 1620-1635.
- Harrington, D., van Benschoten, J., Jensen, J., Lewis, D., Neuhauser, E. (1997): Combined use of heat and oxidants for controlling adult zebra mussels. *Wat. Res.* 31 (11): 2783-2791.
- Haug, J., Frees, C., Brinkmeier, B., Aufleger, M. (2022): Ethohydraulic Experiments Investigating Retention Rates of an Electrified Bar Rack. *Water* 14 (24): Nr. 4036.
- Herwig, R., Cordell, J., Perrins, J., Dinnel, P., Gensemer, R., Stubblefield, W., Ruiz, G., Kopp, J., House, M., Cooper, W. (2006): Ozone treatment of ballast water on the oil tanker S/T Tonsina: chemistry, biology and toxicity. *Marine Ecology Progress Series* 324: 37-55.
- Holliman, F., Killgore, K., Shea, C. (2015): Development of Operational Protocols for Electric Barrier Systems on the Chicago Sanitary and Ship Canal: Induction of passage-preventing behaviors in small sizes of Silver Carp. ANSRP Technical Notes Collection. ERDC/TN ANSRP-15-1. ANSRP – Aquatic Nuisance Species Research Program. Vicksburg: 11 S.
- Hoover, J., Adams, S., Killgore, K. (2003): Can Hydraulic Barriers Stop the Spread of the Round Goby? ANSRP Technical Notes Collection. ERDC/TN ANSRP-03-1. ANSRP – Aquatic Nuisance Species Research Program. Vicksburg: 8 S.
- Hopkins, G., Prince, M., Cahill, P., Fletcher, L., Atalah, J. (2016): Desiccation as a mitigation tool to manage biofouling risks: trials on temperate taxa to elucidate factors influencing mortality rates. *Biofouling* 32 (1): 1-11.
- Hopkins, G., Forrest, B., Coutts, A. (2010): The effectiveness of rotating brush devices for management of vessel hull fouling. *Biofouling* 26 (5): 555-566.
- HyFish GmbH (2023): Technisches Prinzip Seilrechen FishProtector. <https://www.seilrechen.at/deutsch/fishprotector/prinzip-des-fishprotectors/> (letzter Zugriff: 18.04.2023).
- IMO (2023): Resolution MEPC.378(80) (adopted on 7 July 2023). 023 Guidelines for the Control and Management of Ships` Biofouling to Minimize the Transfer of Invasive Aquatic Species. IMO, International Maritime Organization. London: 64 S.
- IMO (2012): Guidance for minimizing the Transfer of Invasive Aquatic Species as Biofouling (Hull Fouling) for recreational Craft. IMO, International Maritime Organization. London: 7 S.
- Inglis, G., Floerl, O., Woods, C. (2012): Scenarios of Vessel Biofouling Risk and their Management. An evaluation of options. MAF Technical Paper No: 2012/07. Ministry for Primary Industries. Wellington: 126 S.
- Jeffrey, K., Beamish, F., Ferguson, S., Kolton, R., MacMahon, P. (1986): Effects of the lampricide, 3-trifluoromethyl-4-nitrophenol (TFM) on the macroinvertebrates within the hyporheic region of a small stream. *Hydrobiologia* 134/1986: 43-51.
- Jerde, C. (2021): Can we manage fisheries with the inherent uncertainty from eDNA? *Journal of Fish Biology* 98 (2): 341-353.
- Jesus, J., Cortes, R., Teixeira, A. (2021): Acoustic and Light Selective Behavioral Guidance Systems for Freshwater Fish. *Water* 13 (6): Nr. 745.

- Jesus, J., Amorim, M., Fonseca, P., Teixeira, A., Natário, S., Carrola, J., Varandas, S., Torres Pereira, L., Cortes, R. (2019a): Acoustic barriers as an acoustic deterrent for native potamodromous migratory fish species. *Journal of Fish Biology* 95 (1): 247-255.
- Jesus, J., Teixeira, A., Natário, S., Cortes, R. (2019b): Repulsive Effect of Stroboscopic Light Barriers on Native Salmonid (*Salmo trutta*) and Cyprinid (*Pseudochondrostoma duriense* and *Luciobarbus bocagei*) Species of Iberia. *Sustainability* 11 (5): Nr. 1332.
- Johnson, N., Snow, B., Bruning, T., Jubar, A. (2021): A seasonal electric barrier blocks invasive adult sea lamprey (*Petromyzon marinus*) and reduces production of larvae. *Journal of Great Lakes Research* 47: 310-319.
- Johnson, N., Siefkes, M., Li, W. (2005): Capture of Ovulating Female Sea Lampreys in Traps Baited with Spermiating Male Sea Lampreys. *North American Journal of Fisheries Management* 25 (1): 67-72.
- Kaartvedt, S., Aksnes, D. (1992): Does Freshwater Discharge Cause Mortality of Fjord-Living Zooplankton? *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 34/1992: 305-313.
- Kates, D., Dennis, C., Noatch, M., Suski, C. (2012): Responses of native and invasive fishes to carbon dioxide: potential for a nonphysical barrier to fish dispersal. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 69 (11): 1748-1759.
- Katopodis, C., Koon, E., Hanson, L. (1994): Sea Lamprey Barriers: New Concepts and Research Needs. 1994 Project Completion Report 1. Great Lakes Fishery Commission. Ann Arbor: 64 S.
- Keuneke, R., Anderer, P., Hermens, G., Pietzsch, B., Mannmann, E., Schwevers, U., Adam, B., Mögeltönder-Löwenberg, S., Lehmann, B. (2021): Evaluierung von Maßnahmen zur Wiederherstellung der Durchgängigkeit gemäß § 35 WHG. Ergebnisse des gleichnamigen F+E-Vorhabens des Bundesamtes für Naturschutz. *Naturschutz und biologische Vielfalt Heft 173*. Bundesamt für Naturschutz. Bonn-Bad Godesberg: 591 S.
- Kim, J., Mandrak, N. (2017a): Effects of strobe lights on the behaviour of freshwater fishes. *Environmental Biology of Fishes* 100 (11): 1427-1434.
- Kim, J., Mandrak, N. (2017b): Effects of vertical electric barrier on the behaviour of common carp. *Management of Biological Invasions* 8 (4): 497-505.
- Knott, J., Mueller, M., Pander, J., Geist, J. (2023): Bigger than expected: Species- and size-specific passage of fish through hydropower screens. *Ecological Engineering* 188: Nr. 106883.
- Kobus, H. (1975): Air Bubble Screens as a Tool for Water Quality Control. *Proceedings International Water Resources Association* 1975: 163-171.
- Königson, S., Fjälling, A., Lunneryd, S.-G. (2002): Reactions in individual fish to strobe light. Field and aquarium experiments performed on whitefish (*Coregonus lavaretus*). *Hydrobiologia* 483/2002: 39-44.
- Kramer, D. (1987): Dissolved oxygen and fish behavior. *Environmental Biology of Fishes* 18 (2): 81-92.
- Krieg, R., King, A., Zenker, A. (2021): Barriers against invasive crayfish species in natural waters and fish passes - Practical experience. *Global Ecology and Conservation* 25: Nr. e01421.
- Ladich, F., Fay, R. (2013): Auditory evoked potential audiometry in fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 23 (3): 317-364.
- Layhee, M., Gross, J., Parsley, M., Romine, J., Glover, D., Suski, C., Wagner, C., Sepulveda, A., Gresswell, R. (2013): Asian Carp Behavior in Response to Static Water Gun Firing. *Fact Sheet 2013-3098*. U.S. Department of the Interior. Washington: 4 S.

- Leander, J., Klaminder, J., Hellström, G., Jonsson, M. (2021): Bubble barriers to guide downstream migrating Atlantic salmon (*Salmo salar*): An evaluation using acoustic telemetry. *Ecological Engineering* 160: 1-7.
- LeRoy, J., Davis, J., Shanks, M., Jackson, P., Murphy, E., Baxter, C., Trovillion, J., McInerney, M. (2019): Efficacy of increasing discharge to reduce tow-mediated fish passage across an electric dispersal barrier system in a confined channel. *Journal of Great Lakes Research* 45 (6): 1320-1331.
- Lewis, J. (2016): PROJECT 16214. Assessment of Preventative Biofouling Management Measures. MPI Technical Paper No: 2016/69. Ministry for Primary Industries. Wellington: 125 S.
- Little, E., Calfee, R., Fabacher, D., Sanders, L. (2011): Fright Reaction and Avoidance Induced by Exposure to Conspecific Skin Extracts in Invasive Bighead and Silver Carps. *American Fisheries Society Symposium* 74/2011: 215-225.
- Mackie, G. (1991): Biology of the exotic zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, in relation to native bivalves and its potential impact in Lake St. Clair. *Hydrobiologia* 219 (1): 251-268.
- Maes, J., Turnpenny, A., Lambert, D., Nedwell, J., Parmentier, A., Ollevier, F. (2004): Field evaluation of a sound system to reduce estuarine fish intake rates at a power plant cooling water inlet. *Journal of Fish Biology* 64 (4): 938-946.
- Miehls, S., Johnson, N., Hrodey, P. (2017): Test of a Nonphysical Barrier Consisting of Light, Sound, and Bubble Screen to Block Upstream Movement of Sea Lampreys in an Experimental Raceway. *North American Journal of Fisheries Management* 37 (3): 660-666.
- Morrisey, D., Woods, C. (2015): In-water cleaning technologies: Review of information. MPI Technical Paper No: 2015/38. Ministry for Primary Industries. Wellington: 53 S.
- Morrisey, D., Gadd, J., Page, M., Floerl, O., Woods, C., Lewis, J., Bell, A., Georgiades, E. (2013): In-water cleaning of vessels: Biosecurity and chemical contamination risks. MPI Technical Paper No: 2013/11. Ministry for Primary Industries. Wellington: 267 S.
- Moy, P., Polls, I., Dettmers, J. (2011): The Chicago sanitary and ship canal aquatic nuisance species dispersal barrier. *American Fisheries Society Symposium* 74: 121-137.
- Murphy, K., Davies, H., Shafer, H., Cox, K., Nikolich, K., Juanes, F. (2020): Impacts of noise on the behavior and physiology of marine invertebrates: A meta-analysis. 178th Meeting of the Acoustical Society of America. San Diego: 14 S.
- Nehring, S. (2005): International shipping – a risk for aquatic biodiversity in Germany. *Neobiota* 6: 125-143.
- Netto, S., Domingos, A., Kurtz, M. (2012): Effects of Artificial Breaching of a Temporarily Open/Closed Estuary on Benthic Macroinvertebrates (Camacho Lagoon, Southern Brazil). *Estuaries and Coasts* 35 (4): 1069-1081.
- Nissen, A., Vetter, B., Rogers, L., Mensinger, A. (2019): Impacts of broadband sound on silver (*Hypophthalmichthys molitrix*) and bighead (*H. nobilis*) carp hearing thresholds determined using auditory evoked potential audiometry. *Fish physiology and biochemistry* 45 (5): 1683-1695.
- Noatch, M., Suski, C. (2012): Non-physical barriers to deter fish movements. *Environmental Reviews* 20 (1): 71-82.
- O'Farrell, M., Burger, C., Crump, R., Smith, K. (2014): Blocking or guiding upstream-migrating fish: a commentary on the success of the graduated field electric fish barrier. *WIT Transactions on State-of-the-art in Science and Engineering* 71: 165-175.
- Parasiewicz, P., Wiśniewolski, W., Mokwa, M., Zioła, S., Prus, P., Godlewska, M. (2016): A low-voltage electric fish guidance system—NEPTUN. *Fisheries Research* 181: 25-33.

- Parker, A., Rogers, P., Steward, J., Glover, D., Finney, S., Simmonds Jr., R. (2014): Fish Behavior and Abundance at the Electric Dispersal Barrier in the Chicago Sanitary and Shipping Canal at Reduced and Current Voltage Operating Parameters. Region 3 Final Report 2015. U.S. Fish and Wildlife Service. Marion: 98 S.
- Patrick, P., Christie, A. (1985): Responses of fish to a strobe light/ Air-Bubble Barrier. Fisheries Research 3/1985: 157-172.
- Pegg, M., Chick, J. (2004): An Evaluation of Barriers for Preventing the Spread of Bighead and Silver Carp to the Great Lakes. Illinois-Indiana Sea Grant. West Lafayette: 20 S.
- Perry, R., Romine, J., Adams, N., Blake, A., Burau, J., Johnston, S., Liedtke, T. (2014): Using a non-physical behavioural barrier to alter migration routing of juvenile Chinook Salmon in the Sacramento-San Joaquin River Delta. River Research and Applications 30 (2): 192-203.
- Pihl, L., Baden, S., Diaz, R. (1991): Effects of periodic hypoxia on distribution of demersal fish and crustaceans. Marine Biology 1991: 349-360.
- Piola, R., Hopkins, G. (2012): Thermal treatment as a method to control transfers of invasive biofouling species via vessel sea chests. Marine pollution bulletin 64 (8): 1620-1630.
- Poletto, J., Cocherell, D., Mussen, T., Ercan, A., Bandeh, H., Kavvas, M., Cech, J., Fangue, N. (2015): Fish-protection devices at unscreened water diversions can reduce entrainment: evidence from behavioural laboratory investigations. Conservation physiology 3 (1): 1-12.
- Popper, A., Hice-Dunton, L., Jenkins, E., Higgs, D., Krebs, J., Mooney, A., Rice, A., Roberts, L., Thomsen, F., Vigness-Raposa, K., Zeddies, D., Williams, K. (2022): Offshore wind energy development: Research priorities for sound and vibration effects on fishes and aquatic invertebrates. The Journal of the Acoustical Society of America 151 (1): Nr. 205.
- Putland, R., Mensinger, A. (2019): Acoustic deterrents to manage fish populations. Reviews in Fish Biology and Fisheries 29 (4): 789-807.
- Rabitsch, W., Heger, T., Jeschke, J., Saul, W.-C., Nehring, S. (2018): Analyse und Priorisierung der Pfade nicht vorsätzlicher Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten in Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 1143/2014 / Analysis and prioritisation of pathways of unintentional introduction and spread of invasive alien species in Germany in accordance with Regulation (EU) No 1143/2014. BfN-Skripten 490: 103 S.
- Rajagopal, S., Jenner, H., Venugopalan, V. (2012): Operational and Environmental Consequences of Large Industrial Cooling Water Systems. Springer. Dordrecht: 497 S.
- Ramalho, R., Anastácio, P. (2015): Factors inducing overland movement of invasive crayfish (*Procambarus clarkii*) in a ricefield habitat. Hydrobiologia 746 (1): 135-146.
- Rasmussen, J., Regier, H., Sparks, R., Taylor, W. (2011): Dividing the waters: The case for hydrologic separation of the North American Great Lakes and Mississippi River Basins. Journal of Great Lakes Research 37 (3): 588-592.
- Rivera, J., Glover, D., Kocovsky, P., Garvey, J., Gaikowski, M., Jensen, N., Adams, R. (2018): Water guns affect abundance and behavior of bigheaded carp and native fish differently. Biological Invasions 20 (5): 1243-1255.
- Ross, Q., Dunning, D., Menezes, J., Kenna, M., Tiller, G. (1996): Reducing Impingement of Alewives with High-Frequency Sound at a Power Plant Intake on Lake Ontario. North American Journal of Fisheries Management 16 (3): 548-559.
- Ruebush, B. (2011): In-situ tests of sound-bubble-strobe light barrier technologies to prevent the range expansions of Asian carp. Natural Resources and Environmental Sciences. Urbana: 45 S.

- Rytwinski, T., Algera, D., Taylor, J., Smokorowski, K., Bennett, J., Harrison, P., Cooke, S. (2017): What are the consequences of fish entrainment and impingement associated with hydroelectric dams on fish productivity? A systematic review protocol. *Environmental Evidence* 6 (1).
- Sand, O., Enger, P., Karlsen, H., Knudsen, F. (2001): Detection of Infrasound in Fish and Behavioral Responses to Intense Infrasound in Juvenile Salmonids and European Silver Eels. A Minireview. *American Fisheries Society Symposium* 26/2001: 183-193.
- Sand, O., Enger, P., Karlsen, H., Knudsen, F., Kvernstuen, T. (2000): Avoidance Responses to Infrasound in Downstream Migrating European Silver Eels, *Anguilla anguilla*. *Environmental Biology of Fishes* 57 (3): 327-336.
- Santagata, S., Gasiūnaite, Z., Verling, E., Cordell, J., Eason, K., Cohen, J., Bacela, K., Quilez-Badia, G., Johengen, T., Reid, D., Ruiz, G. (2008): Effect of osmotic shock as a management strategy to reduce transfers of non-indigenous species among low-salinity ports by ships. *Aquatic Invasions* 3 (1): 61-76.
- Savino, J., Jude, D., Kostich, M. (2001): Use of electrical barriers to deter movement of round goby. *Behavioral Technologies for Fish Guidance: American Fisheries Society Symposium*. American Fisheries Society. Bethesda: 171-182.
- Scianni, C., Georgiades, E. (2019): Vessel In-Water Cleaning or Treatment: Identification of Environmental Risks and Science Needs for Evidence-Based Decision Making. *Frontiers in Marine Science* 6: Nr. 467
- Sonny, D., Knudsen, F., Enger, P., Kvernstuen, T., Sand, O. (2006): Reactions of cyprinids to infrasound in a lake and at the cooling water inlet of a nuclear power plant. *Journal of Fish Biology* 69 (3): 735-748.
- Sorensen, P., Johnson, N. (2016): Theory and Application of Semiochemicals in Nuisance Fish Control. *Journal of Chemical Ecology* 42 (7): 698-715.
- Sorensen, P., Stacey, N. (2004): Brief review of fish pheromones and discussion of their possible uses in the control of non-indigenous teleost fishes. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 38 (3): 399-417.
- Späh, H. (2015): Gutachterliche Beratungen Fischrückführung HKW-Linden. Fischereifachliche Anmerkungen zur Machbarkeitsstudie der Ingenieurgesellschaft Heidt & Peters von Oktober 2015. Stadtwerke Hannover AG. Hannover: 6 S.
- Sparks, R., Barkley, T., Creque, S., Dettmers, J., Stainbrook, K. (2010): Evaluation of an electric fish dispersal barrier in the Chicago Sanitary and Ship Canal. *American Fisheries Society Symposium* 74: 139-161.
- Stebbing, P., Watson, G., Bentley, M., Fraser, D., Jennings, R., Rushton, S., Sibley, P. (2003): Reducing the Threat: The Potential use of Pheromones to Control Invasive Signal Crayfish. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 2003: 219-224.
- Stewart, P. (1981): An Investigation into the Reactions of Fish to Electrified Barriers and Bubble Curtains. *Fisheries Research* 1/1981: 3-22.
- Suski, C. (2020): Development of Carbon Dioxide Barriers to Deter Invasive Fishes: Insights and Lessons Learned from Bigheaded Carp. *Fishes* 5 (3): 25.
- Szklaruk, N., Copic, C., Egly, R., Keller, R. (2021): The Impacts of a Dissolved Carbon Dioxide Barrier on Behavior of Aquatic Invasive Snails *Cipangopaludina chinensis* and *Physella acuta*. Posterpräsentation. Loyola University Chicago, School of Environmental Sustainability. Chicago: 1 S.
- Taft, E. (2000): Fish protection technologies: a status report. *Environmental Science & Policy* 3: 349-359.

- Tamburri, M. (2019): Evaluation of Subsea Global Solutions In-Water Cleaning and Capture Technology for Ships. ACT/MERC IWCC Evaluation Report. ACT- Alliance for Coastal Technologies & MERC – Maritim Environmental Resource Center. Solomons: 61 S.
- Tang, F., Aldridge, D. (2021): Using osmotic shock to control invasive aquatic species. *Journal of Environmental Management* 279: Nr. 111604.
- Taylor, R., Pegg, M., Chick, J. (2005): Response of bighead carp to a bioacoustic behavioural fish guidance system. *Fisheries Management and Ecology* 12 (4): 283-286.
- Terraphase (2012): In-Water Hull Cleaning Summary Report 11-28-12. US DOT – Maritime Administration. Alameda: 50 S.
- Tidau, S., Briffa, M. (2016): Review on behavioral impacts of aquatic noise on crustaceans. Fourth International Conference on the Effects of Noise on Aquatic Life 10–16 July 2016 Dublin. *Proceedings of Meetings on Acoustics* 27: Nr. 010028.
- Travade, F., Larinier, M. (2006): French Experience In Downstream Migration devices. Internationales DWA-Symposium zur Wasserwirtschaft 3.-7. April 2006. DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. Hennef: 11 S.
- Treanor, H., Ray, A., Layhee, M., Watten, B., Gross, J., Gresswell, R., Webb, M. (2017): Using carbon dioxide in fisheries and aquatic invasive species management. *Fisheries* 42 (12): 621-628.
- Tutzer, R., Röck, S., Walde, J., Haug, J., Brinkmeier, B., Aufleger, M., Unfer, G., Führer, S., Zeiringer, B. (2022): A Physical and Behavioral Barrier for Enhancing Fish Downstream Migration at Hydropower Dams: The Flexible FishProtector. *Water* 14 (3): 378.
- Tutzer, R., Röck, S., Walde, J., Zeiringer, B., Unfer, G., Führer, S., Brinkmeier, B., Haug, J., Aufleger, M. (2021): Ethohydraulic experiments on the fish protection potential of the hybrid system FishProtector at hydropower plants. *Ecological Engineering* 171: Nr. 106370.
- van Benschoten, J., Jensen, J., Brady, T., Lewis, D., Sferrazza, J., Neuhauser, E. (1993): Response of Zebra Mussel veligers to chemical oxidants. *Wat. Res.* 27 (4): 575-582.
- van der Zanden, J., Olden, J. (2008): A management framework for preventing the secondary spread of aquatic invasive species. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 65 (7): 1512-1522.
- Wagner, C., Stroud, E., Meckley, T. (2011): A deathly odor suggests a new sustainable tool for controlling a costly invasive species. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 68 (7): 1157-1160.
- Wagner, C., Jones, M., Twohey, M., Sorensen, P. (2006): A field test verifies that pheromones can be useful for sea lamprey (*Petromyzon marinus*) control in the Great Lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63 (3): 475-479.
- Welton, J., Beaumont, W., Clarke, R. (2002): The efficacy of air, sound and acoustic bubble screens in deflecting Atlantic salmon, *Salmo salar* L., smolts in the River Frome, UK. *Fisheries Management and Ecology* 9 (1): 11-18.
- Whitfield, A. (2015): Why are there so few freshwater fish species in most estuaries? *Journal of Fish Biology* 86 (4): 1227-1250.
- Whitmore, C., Warren, C., Doudoroff, P. (1960): Avoidance Reactions of Salmonid and Centrarchid Fishes to Low Oxygen Concentrations. *Transactions of the American Fisheries Society* 89 (1): 17-26.
- Wiegleb, J., Hirsch, P., Seidel, F., Rauter, G., Burkhardt-Holm, P. (2022): Flow, force, behaviour: assessment of a prototype hydraulic barrier for invasive fish. *Hydrobiologia* 849 (4): 1001-1019.

- Wittmann, M., Cooke, R., Rothlisberger, J., Lodge, D. (2014): Using Structured Expert Judgment to Assess Invasive Species Prevention: Asian Carp and the Mississippi—Great Lakes Hydrologic Connection. *Environmental Science & Technology* 48 (4): 2150-2156.
- Zamyadi, A., Coral, L., Barbeau, B., Dorner, S., Lapolli, F., Prévost, M. (2015): Fate of toxic cyanobacterial genera from natural bloom events during ozonation. *Water Research* 73: 204-215.
- Zielinski, D., McLaughlin, R., Castro-Santos, T., Paudel, B., Hrodey, P., Muir, A. (2019): Alternative Sea Lamprey Barrier Technologies: History as a Control Tool. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture* 27 (4): 438-457.
- Zielinski, D., Sorensen, P. (2016): Bubble Curtain Deflection Screen Diverts the Movement of both Asian and Common Carp. *North American Journal of Fisheries Management* 36 (2): 267-276.
- Zielinski, D., Voller, V., Svendsen, J., Hondzo, M., Mensinger, A., Sorensen, P. (2014): Laboratory experiments demonstrate that bubble curtains can effectively inhibit movement of common carp. *Ecological Engineering* 67: 95-103.
- Zielinski, D. (2011): Bubble Barrier Technologies for Common Carp. Masters thesis. University of Minnesota. Minnesota: 99 S.

4 Recherche und Analyse zu Kenndaten und Priorisierung von Kanälen in Deutschland

Julius Gorenz¹, Melina Klarl¹, Joachim Pander¹, Jürgen Geist¹ und Stefan Nehring²

¹Technische Universität München, Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie, Freising

²Bundesamt für Naturschutz, Bonn

4.1 Einführung ins Thema

Das deutsche Binnenwasserstraßennetz erstreckt sich über das gesamte Bundesgebiet auf einer Strecke von 7.476 km. Davon bestehen rund 25 % aus künstlich geschaffenen Kanälen (DWSV 2023). Diese wurden eingerichtet, um Schifffahrt möglich zu machen, Fahrzeiten zu verkürzen und voneinander getrennte Gewässer zu verbinden. Neben den schiffbaren Kanälen gibt es auch eine Vielzahl meist kleinerer Kanäle, die z.B. der Wasserleitung dienen, oder aus historischen- oder Erholungszwecken erhalten werden. Das entstandene Netz an Wasserwegen ist jedoch nicht nur von wirtschaftlicher und kultureller Bedeutung, sondern auch von großer ökologischer Relevanz. In den letzten Jahrzehnten ist die Ausbreitung invasiver Arten entlang von Kanälen zunehmend in den Fokus gerückt und stellt nicht erst heute eine ernsthafte Herausforderung für die Biodiversität dar (Da Asth et al. 2021, Leuven et al. 2009, Müller et al. 2002, Nehring 2002, Rabitsch et al. 2018). Kanäle bieten einen wichtigen Pfad für den Transfer invasiver Arten, da sie natürliche terrestrische Barrieren überwinden (wie z.B. Wasserscheiden) und so die Ausbreitung von Arten über ihr natürliches Vorkommen hinaus ermöglichen. Besonders hervorzuheben sind dabei Kanäle, die natürliche Einzugsgebietsgrenzen überwinden und so den Austausch zwischen vorher voneinander getrennten Ökosystemen ermöglichen (Rabitsch et al. 2018). Neben dem schiffsgebundenen Transfer über Bewuchs und Ballastwasser, hat sich für viele Arten auch die eigenständige oder strömungsbedingte Ausbreitung von Organismen oder deren Propagationsformen als wichtiger Ausbreitungspfad entlang von Kanälen gezeigt (Rabitsch et al. 2018). Die Einführung nicht einheimischer Arten in Ökosysteme kann schwerwiegende ökologische Folgen haben, wenn die „neuen“ Arten konkurrenzstärker als einheimische Arten sind, diese verdrängen und so die Biodiversität gefährden (Hubo et al. 2007, Lambdon et al. 2008). Zusätzlich können große ökonomische Schäden entstehen, z.B. wenn invasive Quaggamuscheln (*Dreissena rostriformis*) Kühl- und Abwasserrohre an Kraftwerken durch ihren mehrschichtigen Bewuchs verschließen (Basen 2016).

Ziel dieses Kapitels ist es, aufbauend auf einer Literaturrecherche und unter Zuhilfenahme von Expertenaussagen, ein Priorisierungskonzept für ausgewählte Kanäle zu entwickeln, das eine nachvollziehbare und wissenschaftlich begründete Einstufung der Dringlichkeit der Anwendung von Maßnahmen zur Verhinderung der Ausbreitung gebietsfremder Arten über künstliche Wasserwege ermöglicht. Mit Hilfe dieser Einstufung kann dann eine ressourceneffiziente Maßnahmenplanung durchgeführt werden. Dazu wurden die zur Charakterisierung und Priorisierung der wichtigsten Kanäle Deutschlands notwendigen Informationen gesammelt und in einem Steckbriefformat zusammengestellt. Aufbauend auf den Informationen in den Steckbriefen wurde dann unter Verwendung des Priorisierungskonzeptes die Priorisierung der Kanäle für potentielle Maßnahmen durchgeführt.

4.2 Steckbriefe der Kanäle Deutschlands

Die Verbindung von mindestens zwei Flusseinzugsgebieten wurde als Mindestkriterium für einen Kanal festgelegt, um in die Liste der Steckbriefe aufgenommen zu werden. Dies begründet sich darin, dass Kanäle die lediglich Gewässer im selben Einzugsgebiet verbinden, nicht die natürliche Ausbreitungsbarriere überwinden, die die Grenzen von Einzugsgebieten bilden (Siehe auch: Kapitel 4.3 „Priorisierungskonzept für Kanäle“).

Aus den in Tabelle 1 gelisteten Kriterien wurden die Kriterien „Einzugsgebiet“, „Korridor“, „Europ. Hauptwasserscheide“ und „Schiffsungebundener Transfer“ für die Einteilung der Kanäle in ihre Priorisierungsstufen herangezogen. Alle weiteren in Tabelle 1 und den Steckbriefen genannten Kriterien dienen der Bestimmung der Grundkriterien und der Charakterisierung der Kanäle.

Tab. 1: Steckbriefkriterien und deren Erklärung

Kriterium	Erklärung
Gewässerkennzahl (GKZ)	eine Kennzahl, die nach der Richtlinie der Gebiets- und Gewässerverschlüsselung der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), allen Gewässern in Deutschland, sowie ihren Einzugsgebieten zugeteilt wird (Bayrisches Landesamt für Umwelt 2023, LAWA 2005).
Wasserstraßenklasse	wird mit römischen Ziffern angegeben und definiert welche Schiffstypen und Schubverbände auf den Wasserstraßen zugelassen sind (FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV 2022).
Lage	Die Bundesländer Deutschlands, in denen der Kanal verortet ist.
Zuständigkeit	Listet behördliche und private Organisationen, die mit dem Kanal in Verbindung stehen. Die Art der Zuständigkeit wird nach dem Namen der Institution zusammengefasst angegeben. Genannt werden hier z.B. die verantwortlichen Wasserstraßen- und Schifffahrtsämter, Wasserstraßenneubauämter, Kultur- und Fischereivereine, sowie Verbände.
Einzugsgebiete	„Ein Gebiet, aus welchem über Ströme, Flüsse und möglicherweise Seen der gesamte Oberflächenabfluss an einer einzigen Flussmündung, einem Ästuar oder Delta ins Meer gelangt“ (Europäische Gemeinschaft 2000). Im Kanalsteckbrief sind die Einzugsgebiete der Gewässer genannt, die durch den Kanal verbunden werden.
Korridor	beschreibt, ob und wenn ja, an welchem der unter anderen von Galil et al. (2007) vorgeschlagenen Invasionskorridore für gebietsfremde Arten in Europa ein Kanal teilhat.
Hauptwasserscheide	trennt Abflussgebiete verschiedener Ozeane (Busskamp und Krahe 2002).
Europ. Hauptwasserscheide	Kurz für Europäische Hauptwasserscheide. Im Kanalsteckbrief wird unter dem Begriff die Trennung der Einzugsgebiete der Gewässer, die in die nördlichen europäischen Meere Atlantik, Nord- und Ostsee und die südlichen europäischen Meere Mittelmeer, Schwarzes, Asowsches und Kaspisches Meer entwässern, verstanden.

Kriterium	Erklärung
Wasseraustausch	Beschreibt den Salzgehalt der durch den Kanal verbundenen Wasserkörper (Süß-, Brack- oder Salzwasser).
Wasserkörper	Beschreibt den Salzgehalt des Wasserkörpers des Kanals (Süß-, Brack- oder Salzwasser).
Gewässergüteklasse	beschreibt die organische Belastung von Gewässern auf Basis des Saprobien-Indexes. Güteklasse I steht dabei für ein unbelastetes und Güteklasse IV für ein sehr stark verschmutztes Gewässer (LAWA 1995).
Ökologisches Potenzial	Ökologischer Zustand künstlicher oder erheblich veränderter Gewässernach Wasser-Rahmenrichtlinie der EU (UBA 2021)
Schiffbar	Gibt an, ob ein Kanal von Schiffen befahren werden kann oder nicht (Ja/Nein).
Länge	Gesamtlänge des Kanals.
Wasserspiegelbreite	Umfasst den bei mittlerem Wasserstand überspülten Bereich eines Gewässers (Hütte & Niederhauser 1998).
Sohlbreite	Die mittlere Breite der Gewässersohle innerhalb eines ausgewählten Gewässerabschnittes. Für die Bestimmung der Sohlbreite wird der Abstand zwischen linkem und rechtem Böschungsfuß verwendet (Hütte und Niederhauser 1998).
Wassertiefe	Baulich vorgesehener Abstand zwischen Gewässersohle und Wasserspiegel.
Kanalquerschnitt	Beschreibt das Profil des Ausbauquerschnitts des Kanals, wie z.B. Trapezprofil, Rechteckprofil oder Rechteck-Trapezprofil.
Fahrrinntiefe	Der Abstand zwischen Gewässersohle und Wasserspiegel. Beeinflusst durch Erosion und Ablagerung von Geschiebe (WSA, Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Elbe). Angaben im Steckbrief nach Klassifizierung Abladetiefen/Fahrrinntiefen WSV (FGeoWSV 2022).
Durchfahrtshöhe	Maximal zulässige Höhe der Wasserfahrzeuge zur Durchfahrt von Brücken oder anderen baulichen Einrichtungen an oder über Binnenwasserstraßen (Polizei Nordrhein-Westfalen Duisburg, Direktion Wasserschutzpolizei 2020).
Transportleistung	Die Transportleistung wird entweder in Tonnenkilometer (tkm) bzw. Personenkilometer (Pkm) angegeben und ist ein Produkt aus der zurückgelegten Strecke und der Menge der beförderten Güter, oder als absolute Mengen in Tonnen (t), gemessen an einem bestimmten Punkt oder Abschnitt des Kanals (Destatis 2023).
Maximale Schiffsgröße	Für den Kanal maximal zulässige Länge, Breite und Tiefgang von Schiffen und Zugverbänden.
Anzahl Schleusen	Gesamtzahl der Schleusen in Hauptkanal und/oder Stich und Verbindungskanälen.

Kriterium	Erklärung
Schleusentypen	Art der eingesetzten Schleusen. Mögliche Bauweisen: Einzelschleuse, Schachtschleuse, Doppelschleuse, Zwillingschleuse, Koppelschleuse, Rundkammerschleuse, Hotopp-Schleuse, Flussschleusen, Schiffshebewerk.
Schleusentyp Beginn	Art der Schleuse am Beginn des Kanals (km 0-5).
Schleusentyp Ende	Art der Schleuse am Ende des Kanals (in den letzten 5 km bis zur Mündung in anderen Gewässerkörper).
Größe Schleusenkammern	Länge und Breite der Schleusenkammern in Meter. Zusätzlich ist hier das Minimum und Maximum der Hubhöhe der Schleusen im Hauptkanal angegeben. Die Hubhöhe beschreibt den Höhenunterschied, der durch den Schleusenvorgang überwunden wird.
Höhenunterschied	Unterschied in der Geländehöhe zwischen Anfangs- und Endpunkt eines Kanals (WIGES 2023).
Weitere technische Bauwerke	Technischen Bauwerke, die außer den Schleusen am Kanal vorhanden sind, wie Häfen, Brücken, Kanalbrücken, Unterführungen, Hochwasserschutztore, Wasserkraftwerke, Düker, Ein- und Auslassbauwerke und weiteren.
Kommerzielle Nutzung	Nicht freizeitliche Nutzung des Kanals durch z.B. Container- und Berufsschifffahrt oder Flusskreuzfahrten. Binnenschifffahrt: Gütertransport ohne Containerschiffe (z.B. Stück- oder Schüttgut) Containerschifffahrt: Gütertransport mit Containerschiffen
Freizeitnutzung	Nutzung des Kanals z.B. durch Motor- und Sportboote, zum Baden oder Angeln.
Weitere Nutzung	Nutzung des Kanals in einer Form, die nicht in die Kategorien kommerzielle oder Freizeitnutzung fällt. Beispiele sind hier die Wasserüberleitung, die Nutzung des Kanals als Vorfluter oder zur Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen.
Artentransfer	Verschleppung gebietsfremder Arten (Schiffsgebunden und –ungebunden) entlang des europäischen Binnenwasserstraßennetzes (Rabitsch & Essl 2010).
Schiffsgebundener Transfer	Transfer von Arten im Ballastwasser von Schiffen und an Schiffsrümpfen (Nehring et al. 2015b).
Schiffsungebundener Transfer	Transfer von Arten durch anthropogene Einflüsse (Aquakulturprodukte; Aufwuchs von Kulturnuscheln), natürliche Fernausbreitung (Transport mit Wasserströmung) oder selbstständige Fortbewegung (Nehring et al. 2015b).

Schleusentypen

Schleusen haben sich als vielversprechende Orte für technische Maßnahmen in Kanälen gezeigt, da sie Engstellen in Kanälen darstellen und meist über die nötige Infrastruktur für Barrieremaßnahmen verfügen. Zusätzlich konnte Schleusen selbst eine gewisse Barrierewirkung für invasive Organismen zugeschrieben werden (Kim & Mandrak 2016). Partenscky (1986) gibt einen Überblick über gängige Schleusentypen: Die am häufigsten eingesetzte

Binnenschiffahrtsschleuse ist die Kammerschleuse, die aus einer Schleusenkammer und Schleusentoren am Unter- und Oberhaupt aufgebaut ist. Bei größeren Hubhöhen wird die Kammerschleuse um eine Betonschürze erweitert, die die Kammerwände am Unterhaupt verbindet, um die Statik der Kammerschleuse zu erhöhen. Diese wird dann als Schachtschleuse bezeichnet. Als Doppelschleusen versteht man zwei nebeneinander angeordnete Kammer oder Schachtschleusen, die bei größerem Verkehrsaufkommen eingesetzt werden. Einen Sonderfall der Doppelschleuse bildet die Zwillingschleuse, bei der die Füll- und Entleerungssysteme der Schleusenkammern so miteinander gekoppelt sind, dass diese gegenläufig schleusen. Kesselschleusen zeichnen sich dadurch aus, dass die Schleusenkammer beidseitig verbreitert ausgeführt ist, um gleichzeitig Schiffe unterschiedlicher Größen aufnehmen zu können. Schleusen können zusätzlich als Sparschleusen ausgelegt sein, die neben der Schleusenkammer angeordnete Sparbecken nutzen, um einen Teil des, für die Schleusung benötigten Wassers wiederzuverwenden. Einen Sonderfall bilden die für den Elbe-Lübeck-Kanal entwickelten Hotopp-Schleusen. Dabei wird der Wasserstand in der Schleusenkammer mit Hilfe eines Vakuums und eines Hebers reguliert (WSA Elbe 2023). Schiffshebewerke werden bei sehr großen Hubhöhen eingesetzt, um Wasserverluste und Schleusungszeiten zu reduzieren. Dies wird durch den Hub eines mit Wasser gefüllten Trogs erreicht, wodurch der Wasserverlust stark reduziert werden kann und kein Sunk- und Schwall im Unterwasser der Schleuse auftritt (Partenscky 1986).

Im Folgenden sind die entsprechenden Kanäle Deutschlands mit ihren technischen Daten und Faktoren, die für eine Charakterisierung und spätere Priorisierung wichtig sind in einem Steckbriefformat dargestellt. Die verwendete Literatur ist im Anschluss an jeden Steckbrief genannt, um auch eine, aus dem Rahmen dieses Berichts losgelöste Nutzung der Steckbriefe möglich zu machen.

4.2.1 Dortmund-Ems-Kanal

Allgemeine Beschreibung

Der Dortmund-Ems-Kanal (DEK) verbindet das Ruhrgebiet mit der Nordsee im Bereich der Emsmündung (Dortmund → Datteln → Greven → Bergeshövede → Meppen → Papenburg → Leer → Emden → Nordsee)^{5,14} (Tab. 2). Dabei ist er in die DEK-Südstrecke (Dortmund-Abzweigung des Mittellandkanals bei Bergeshövede) und die DEK-Nordstrecke (Abzweigung Mittellandkanal bei Bergeshövede-Papenburg) unterteilt¹⁴. Die als Dortmund-Ems-Kanal bezeichnete Bundeswasserstraße endet bei Papenburg und wird im weiteren Verlauf bis Emden als Unterems bezeichnet^{5,33}. Von Emden bis zur offenen See wird sie dann als Außenems bezeichnet¹³. In Oldersum zweigt der 9 km lange Ems-Seitenkanal zum Binnenhafen Emden ab, der heute jedoch nur noch geringe Bedeutung für den Schiffsverkehr hat⁵. Bis Kanalkilometer 14,75 ist der DEK lediglich ein Stichkanal zum Hafen Dortmund. Erst ab der Mündung des Rhein-Herne-Kanals in den DEK, dient dieser der Verbindung von zwei Wasserkörpern³⁸. Über den DEK wurden 2021 ca. 17,5 mio. t Güter transportiert. Die Mengen schwanken jedoch je nach Ausbauzustand der verschiedenen Kanalabschnitte⁵. Der südlichste Abschnitt zwischen dem Hafen Dortmund und der Einmündung des Wesel-Datteln-Kanals weist den geringsten Güterverkehr auf (1,9 Mio.t.), gefolgt von der DEK-Südstrecke von Datteln bis zu Abzweigung des Mittellandkanals (12 Mio.t.)⁵. Den höchsten Anteil am Containerverkehr erreicht die DEK-Nordstrecke nördlich des Küstenkanals mit 21.360 TEU Containern⁵.

Tab. 2: Steckbrief des Dortmund-Ems-Kanals

Allgemeine Informationen	
Gewässerkennzahl	DE: 0501 ⁶
Wasserstraßenklasse	IV; Vb (Hafen Dortmund bis Wesel-Datteln-Kanal) ²
Lage	Niedersachsen/Nordrhein-Westfalen ¹⁴
Zuständigkeit	WSA Westdeutsche Kanäle: Verwaltung ^{11, 34} WSA Ems-Nordsee (Meppen und Emden): Verwaltung ^{11, 34, 35} Generaldirektion Wasserstraßen- und Schifffahrt (GDWS): Fachaufsicht ^{11, 34} WNA Datteln: Ausbau, Neubau und Beseitigung von Bundeswasserstraßen; Verkehrsablauf und Verkehrssicherung ^{11, 34} Landesfischereiverband Westfalen und Lippe e.V.: Fischereirecht und Bewirtschaftung ¹⁶
Wasserscheide	Rhein – Ems ³⁵ ; Nordsee – Nordsee ³⁵
Korridor	Westlicher Korridor (Mittelmeer – Nordsee) ³⁷
Überquerung Europ. Hauptwasserscheide	Außerhalb Deutschlands ³⁷
Wasseraustausch	Süßwasser – Salzwasser ³⁴
Wasserkörper	Unter- und Außenems: Salz-/Brackwasser ³³ Ab Wehr Herbrum: Süßwasser ³³ Unterems: Brack-/Süßwasser ⁴
Gewässergüteklasse	Hauptkanal: II/ II-III/ III-IV ^{4, 24} Unterems: II-III/ III/ III-IV ^{3, 17}
Ökologisches Potential	Nicht klassifiziert ¹³
schiffbar	Ja ^{10,34}
Technische Daten	
Länge	265,5 km ¹⁴
Wasserspiegelbreite	42-77 m ^{36,25}
Sohlbreite	42-58 m ^{36,25}
Wassertiefe	4 m ^{36,25}
Kanalquerschnitt	Kombiniertes Rechteck-Trapez Profil ³⁶
Fahrinnentiefe	Südstrecke: ≤2,50-2,80 m ¹⁰ Nordstrecke: ≤2,70 m ¹⁰ Unterems: Seeschiffahrtsstraße ohne Abladebeschränkung ¹⁰
Durchfahrtshöhe	≥ 4,45 m ¹²
Transportleistung	17,5 Mio. t. ¹
Maximale Schiffsgröße	Südstrecke: L:185 m / B:11,40 m / T:<2,80 m ^{27,14, 34} Nordstrecke: L: 90 m/ B: 10,60 m / T:<2,60 m ³⁴

Technische Daten	
Anzahl Schleusen	Hauptkanal: 15 ³⁴ Seitenkanal: 2 ³⁴
Schleusentyp	<p>Außer Betrieb: Altes Schiffshebewerk Henrichenburg ²³ Neues Schiffshebewerk Henrichenburg ²³ Alte Schachtschleuse Henrichenburg ²³</p> <p>Hauptkanal: Schleusen mit Sparbecken: Neue Schleuse Henrichenburg ³⁸, Schleuse Bevergern ^{26,35,28}, Schleuse Gleesen ^{26,35,29}, Schleuse Meppen ^{9,35}</p> <p>Schleusen ohne Sparbecken: Schleuse Rodde ^{26,35,31}, Schleuse Venhaus ^{26,35,32}, Schleuse Hesselte ^{26,35,30}</p> <p>Ohne weitere Informationen: Schleuse Münster ²¹, Schleuse Altenrheine ^{26,35}, Schleuse Varloh, Schleuse Hüntel ³⁵, Schleuse Hilter ³⁵, Schleuse Dütthe ³⁵, Schleuse Bollingerfähr ³⁵, Schleuse Herbrum ^{23,35}</p> <p>Seeschleuse Papenburg ²³</p> <p>Seitenkanal: Seeschleuse Oldersum ^{15,35}, Schleuse Borßum ¹⁵</p>
Größe Schleusenkammern	L: 110-135 m/B: 11,45 m ¹⁴ Hauptkanal: 3,36- 8,10 m ^{26,28,31,32,30,29}
Höhenunterschied	70 m ³⁴
Weitere technische Bauwerke	Seitenkanal: 8 Brücken ³⁴ Südstrecke: 34 Brücken, 21 Düker, 5 Kanalbrücken, 1 Pumpwerk ²⁷ Emssperrwerk Gandersum ^{35,18} 484 größere Bauwerke ³⁴ (Eisenbahn-, Straßen-, Fußgänger-, Fahrrad-, Kanalbrücken, Düker) ^{36,8}
Nutzung	
Kommerzielle Nutzung	Binnenschifffahrt ¹⁵ Containerschifffahrt ⁵
Freizeitnutzung	Kreuzfahrtschiffe ⁴ Motor- und Sportboote ^{15,23} Ruderboote ⁸ Badebetrieb ^{24,36} Angelfischerei ¹⁶
Artentransfer	<p>Schiffsgebundener Transfer: Nachweis: Weichtiere (Mollusca; Bivalvia) ⁷ Gliederfüßer (Arthropoda) ²² Fische (Pisces) ²⁰</p> <p>Annahme: Fadenwürmer (Nematoda) ¹⁹</p>

Nutzung	
	Ringelwürmer (Annelida) ¹⁹ Braunalgen (Ochrophyta) ¹⁹ Schiffsungebundener Transfer: Nachweis: Weichtiere (Mollusca) ⁷ Gliederfüßer (Arthropoda) ²² Fische (Pisces) ²⁰
Weitere Nutzung	Seitenkanal: Entwässerung der Emsmarschen zwischen Oldersum und Em-den ¹⁵

Literatur:

- ¹ BDB, Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V. (2022): Daten & Fakten 2021-2022. Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V. Duisburg: 7 S.
- ² Blau, F. (2020): Teil 4: Längen der Hauptschifffahrtswege der Binnenwasserstraßen des Bundes Liste 4 Zuordnung der dem allgemeinen Verkehr dienenden Binnenwasserstraßen des Bundes zu den Wasserstraßenklassen, bezogen auf die WSV: 10 S.
- ³ Blondzig, K., Rechenberg, B.: Die Wasserqualität unserer Flüsse. Nationatlas Bundesrepublik Deutschland – Relief, Boden, Wasser. LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. Potsdam: 134-135
- ⁴ Boekhoff, M., Konermann, V., Stocksieker, C. (2023): Naturschutzziele für die Unterems. Bund für Umwelt und Naturschutz (BUND), NABU Niedersachsen, WWF Deutschland. Berlin: 82 S.
- ⁵ WSV, Wasserstraßen und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2023): Der Dortmund-Ems-Kanal. https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/wasserstrassen/01_bundeswasserstrassen/05_westdeutsches_Kanalnetz/Dortmund_Ems_Kanal.html;jsessionid=DDF988B6EDC308EF10A0C5E512A6BF52.live11294?nn=1731228 (Letzter Zugriff: 22.05.2023)
- ⁶ BKG, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2023): ELWIS Viewer. <https://via.bund.de/wsv/elwis/map/> (Letzter Zugriff: 22.05.2023)
- ⁷ Deutsch, A. (1990): Weitere Nachweise von *Menetus dilatatus* (Gould) (Gastropoda, Pulmonata) in Nordrhein-Westfalen. *Natur und Heimat* 50 (4): 104-105.
- ⁸ DRV, Deutscher Ruder Verband (2023): Dortmund-Ems-Kanal. <https://gewaesser.rudern.de/dortmund-ems-kanal> (Letzter Zugriff: 23.05.2023)
- ⁹ Emsland (2023): Schleuse Meppen. https://www.emsland.com/de/emslan/wlan/detail/POI/p_100028707/schleuse-meppen (Letzter Zugriff: 23.05.2023)
- ¹⁰ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2013): Abladetiefen/Fahrrinnentiefen nach BinSchStrO und Schifffahrtspolizeiverordnung und schifffahrtspolizeilichen Anordnungen (Kernnetz der Netzkategorisierung). Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.
- ¹¹ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2021): Übersicht der Dienstorte der WSV. Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.
- ¹² GDWS, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (2020): Brücken: Durchfahrtshöhen im Zuge des Dortmund-Ems-Kanals (DEK)- Süd. Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt. Bonn: 2 S.

- ¹³ BfG, Bundesanstalt für Gewässerkunde (2022): Karten zum 3. WRRL-Bewirtschaftungsplan (Stand 14.04.2022). <https://geoportal.bafg.de/karten/wfdmaps2022/#> (Letzter Zugriff: 04.12.2023)
- ¹⁴ GDWS, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (2021): Aktionsplan Westdeutsche Kanäle – Nordrhein-Westfalen. Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt. Bonn: 15 S.
- ¹⁵ GDWS, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (2021): Aktionsplan Westdeutsche Kanäle – Nordrhein-Westfalen. Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt. Bonn: 15 S.
- ¹⁶ Landesfischereiverband Westfalen und Lippe e.V. (2023): Kanäle des Landesfischereiverbandes. https://www.lfv-westfalen.de/content/angeln/gewaesser/LFV_kanaele.php (Letzter Zugriff: 22.05.2023)
- ¹⁷ Lange, J. (2006): Ausbau der Unterems. Eine Chronik der Maßnahmen seit 1984 mit einer Bewertung der Umweltfolgen. WWF Deutschland. Berlin: 24 S.
- ¹⁸ Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2023): Das Emssperrwerk: Eines der modernsten Sperrwerke in Europa. <https://www.nlwkn.niedersachsen.de/emssperrwerk/das-emssperrwerk-bei-gandersum-sturmflutschutz-und-staufunktion-45676.html> (Letzter Zugriff: 22.05.2023)
- ¹⁹ Rabitsch, W., Nehring, S. (2017): Naturschutzfachliche Invasivitäts-bewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde aquatische Pilze, Niedere Pflanzen und Wirbellose Tiere. BfN-Skripten 458: 222 S.
- ²⁰ Renners, U. (2013): Ein gefräßiger Globalisierungsgewinner. Schwarzmundgrundel macht sich auch in Westfalen breit. Westfälische Nachrichten. <https://www.wn.de/muensterland/schwarzmundgrundel-macht-sich-auch-in-westfalen-breit-2012655?&npg> (Letzter Zugriff: 05.04.2024)
- ²¹ Schiff und Technik (2023): Schleuse Münster. <http://www.schiffundtechnik.com/lexikon/s/schleuse-muenster.html> (Letzter Zugriff: 23.05.2023)
- ²² Schöll, F. (2007): Das Makrozoobenthos des Rheins 2006/2007. Rhein-Messprogramm Biologie 2006/2007 Teil II-D. IKS R - Internationale Kommission zum Schutz des Rheins. Koblenz: 41 S.
- ²³ Skipper Guide (2020): Dortmund-Ems-Kanal. <https://www.skipperguide.de/wiki/Dortmund-Ems-Kanal> (Letzter Zugriff: 23.05.2023)
- ²⁴ Stadt Münster, Amt für Kommunikation (2023): Baden im Kanal ist gefährlich Schiffsverkehr gefährdet Badende / Trinkwasserqualität in offenen Gewässern nicht erreichbar. <https://www.muenster.de/pressemitteilungen/web/frontend/output/index.php?offset=/design/standard/page/297/show/275835> (Letzter Zugriff: 22.05.2023)
- ²⁵ van Ooyen, H. (2021): Fertigteile für den Ausbau des Dortmund-Ems-Kanals. <https://www.ingenieur.de/fachmedien/bauingenieur/special-infrastrukturbau/fertigteile-fuer-den-ausbau-des-dortmund-ems-kanals/> (Letzter Zugriff: 23.05.2023)
- ²⁶ WNA Datteln, Wasserstraßen-Neubauamt Datteln (2023): Das Projekt Neue Schleusen DEK-Nord. https://wna-datteln.wsv.de/Webs/WNA/WNA-Datteln/DE/Projekte/aktuelle_projekte/Dortmund-Ems-Kanal-Nordstrecke/Dortmund-Ems-Kanal-Nordstrecke_node.html (Letzter Zugriff: 23.05.2023)
- ²⁷ WNA Datteln, Wasserstraßen-Neubauamt Datteln(2023): Dortmund-Ems-Kanal-Südstrecke. https://wna-datteln.wsv.de/Webs/WNA/WNA-Datteln/DE/Projekte/aktuelle_projekte/Dortmund-Ems-Kanal-Suedstrecke/Dortmund-Ems-Kanal-Suedstrecke_node.html (Letzter Zugriff: 23.05.2023)
- ²⁸ WNA Datteln, Wasserstraßen-Neubauamt Datteln (2023): Schleusenstandort Bevergern (2023). https://wna-datteln.wsv.de/Webs/WNA/WNA-Datteln/DE/Projekte/aktuelle_projekte/Dortmund-Ems-Kanal-Nordstrecke/Planung/Schleusenstandort_Bevergern/Schleusenstandort_Bevergern_node.html (Letzter Zugriff: 22.05.2023)

- ²⁹ WNA Datteln, Wasserstraßen-Neubauamt Datteln(2023): Schleusenstandort Gleesen. https://wna-datteln.wsv.de/Webs/WNA/WNA-Datteln/DE/Projekte/aktuelle_projekte/Dortmund-Ems-Kanal-Nordstrecke/Planung/Schleusenstandort_Gleesen/Schleusenstandort_Gleesen_node.html (Letzter Zugriff: 22.05.2023)
- ³⁰ WNA Datteln, Wasserstraßen-Neubauamt Datteln (2023): Schleusenstandort Hesselte. https://wna-datteln.wsv.de/Webs/WNA/WNA-Datteln/DE/Projekte/aktuelle_projekte/Dortmund-Ems-Kanal-Nordstrecke/Planung/Schleusenstandort_Hesselte/Schleusenstandort_Hesselte_node.html (Letzter Zugriff: 22.05.2023)
- ³¹ WNA Datteln, Wasserstraßen-Neubauamt Datteln (2023): Schleusenstandort Rodde. https://wna-datteln.wsv.de/Webs/WNA/WNA-Datteln/DE/Projekte/aktuelle_projekte/Dortmund-Ems-Kanal-Nordstrecke/Planung/Schleusenstandort_Rodde/Schleusenstandort_Rodde_node.html (Letzter Zugriff: 22.05.2023)
- ³² WNA Datteln, Wasserstraßen-Neubauamt Datteln (2023): Schleusenstandort Venhaus. https://wna-datteln.wsv.de/Webs/WNA/WNA-Datteln/DE/Projekte/aktuelle_projekte/Dortmund-Ems-Kanal-Nordstrecke/Planung/Schleusenstandort_Venhaus/Schleusenstandort_Venhaus_node.html (Letzter Zugriff: 22.05.2023)
- ³³ WSA EMS-Nordsee, Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Ems-Nordsee (2023): Außen- und Unterems. https://www.wsa-ems-nordsee.wsv.de/Webs/WSA/Ems-Nordsee/DE/Wasserstrassen/11_UnserRevier/111_AussenUnterems/AuUnEms_node.html (Letzter Zugriff: 23.05.2023)
- ³⁴ WSA Ems-Nordsee, Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Ems-Nordsee (2023): Der Dortmund-Ems-Kanal. https://www.wsa-ems-nordsee.wsv.de/Webs/WSA/Ems-Nordsee/DE/Wasserstrassen/11_UnserRevier/113_DEK/dek_text.html;jsessionid=1CB8F5BA634DE39C96290D433757396E.live11312?nn=1708512 (Letzter Zugriff: 23.05.2023)
- ³⁵ WSA EMS-Nordsee, Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Ems-Nordsee (2023): Unser Revier. https://www.wsa-ems-nordsee.wsv.de/Webs/WSA/Ems-Nordsee/DE/Wasserstrassen/11_UnserRevier/unserRevier_node.html (Letzter Zugriff: 23.05.2023)
- ³⁶ WSA Rheine, Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Rheine (2014): Der Dortmund-Ems-Kanal. Ausbau der Stadtstrecke Münster. Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Rheine. Rheine: 13 S.
- ³⁷ Galil, B., Nehring, S., Panov, V. (2007): Waterways as Invasion Highways – Impact of Climate Change and Globalization. In: Nentwig, W. (Hrsg.): Biological Invasions. Springer, Berlin: 59-74.
- ³⁸ WSA Westdeutsche Kanäle, Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Westdeutsche Kanäle (2023): Schleuse Henrichenburg. <https://www.wsa-westdeutsche-kanale.wsv.de/Webs/WSA/Westdeutsche-Kanaele/DE/Wasserstrassen/BauwerkeAnlagen/Schleusen/SchleuseHenrichenburg.html> (Letzter Zugriff: 28.08.2023)

4.2.2 Elbe-Lübeck-Kanal

Allgemeine Beschreibung

Der Elbe-Lübeck-Kanal (ELK) schafft durch die Verbindung von Trave und Elbe eine Anbindung der Ostsee an das europäische Binnenwasserstraßennetz^{3,17} (Tab. 3). Um die Wasserscheide zwischen den Einzugsgebieten der Flusssysteme Trave und Elbe zu überqueren, müssen im nördlichen Aufstieg fünf Schleusen (Büssau, Krummesse, Berkenthin, Behlendorf und Donnerschleuse) passiert werden. Der südliche Abstieg in Richtung Elbe wird über zwei Schleusen (Witzeeze und Lauenburg) möglich gemacht^{3,17}. Bis auf den Neubau der Schleuse Lauenburg handelt es sich bei den Schleusen des ELK um wasserkraftbetriebene Hotopp-Schleusen, die eigens für den ELK entwickelt wurden^{3,16}. Die Abmessungen dieser Schleusen entsprechen jedoch nicht mehr den Anforderungen der modernen Schifffahrt, weshalb der ELK heute hauptsächlich zum Transport von Schüttgut durch kleinere Binnenschiffe und von Motor- und

Sportbooten genutzt wird ^{1,3,17}. Die jährliche Transportleistung über den ELK beläuft sich auf ca. 0,6 Mio. t ³. Um den ELK auch für Großmotorgüterschiffe befahrbar zu machen, wurde im Verkehrswegeplan 2030 des Bundes der Ausbau des Kanals beschlossen. Die Ausbaumaßnahmen wurden jedoch im Jahr 2022 bis zum Abschluss einer Bedarfsplanüberprüfung (2023) zurückgestellt ^{1,3,18}.

Tab. 3: Steckbrief des Elbe-Lübeck-Kanals

Allgemeine Informationen	
Gewässerkennzahl	DE: 9622 ¹¹
Wasserstraßenklasse	III ²
Lage	Schleswig-Holstein ¹
Zuständigkeit	WSA Elbe: Verwaltung ²³ Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS): Fachaufsicht ^{22,21,25} WNA Hannover: Ausbau, Neubau und Beseitigung von Bundeswasserstraßen; Verkehrsablauf und Verkehrssicherung ³ Landes Sportfischer Verband Schleswig-Holstein e.V. und darin organisierte Angelvereine ⁹ : Fischereirecht und Bewirtschaftung
Einzugsgebiete	Elbe – Trave ^{3,1,4}
Korridor	Nördlicher- und zentraler Korridor (Pontokaspische Meere – Ostsee) ²⁶
Überquerung Europ. Hauptwasserscheide	Außerhalb Deutschlands ²⁶
Wasseraustausch	Süßwasser – Süßwasser ¹¹
Wasserkörper	Süßwasser ¹¹
Gewässergüteklasse	Nicht klassifiziert ⁸
Ökologisches Potenzial	Mäßig ²⁷
schiffbar	Ja ^{1,2,3}
Technische Daten	
Länge	62 km ³
Wasserspiegelbreite	32 m ⁵
Sohlbreite	22 m ⁵
Wassertiefe	2,5 m ^{5,3}
Kanalquerschnitt	Trapezprofil ⁵
Fahrrinntiefe	< 2,20 m ¹⁰
Durchfahrtshöhe	4,63 m ³
Transportleistung	ca. 0,6 Mio. t ³
Maximale Schiffsgröße	L: 80 m/B: 8,20 m/T: 2 m ³
Anzahl Schleusen	Hauptkanal: 7 ^{3,5}

Technische Daten	
Schleusentypen	Ohne weitere Informationen: Lauenburg ³ Hotopp-Schleusen: Büssau, Krummesse, Berkenthin, Behlendorf, Donnerschleuse, Witzeeze ^{3, 16}
Schleusentyp Beginn	Hotopp-Schleuse (Büssau) ^{3, 16}
Schleusentyp Ende	Keine Informationen (Lauenburg)
Größe Schleusenammern/ Trog Schiffshebewerk	Hauptkanal: L: 80 m/B: 12 m ³ Hubhöhe Hauptkanal: 1,50-4,85 m ⁶
Höhenunterschied	11,81 m ⁶
Weitere technische Bauwerke	19 Straßen- und Fußgängerbücken ¹³ 4 Eisenbahnbrücken ¹³ 1 Wehr ¹³ 1 Fähranlage ¹³ 11 Einleitbauwerke ¹³ 7 Düker und Durchlässe ¹³ 53 Häfen und Anlegestellen ⁶
Nutzung	
Kommerzielle Nutzung	Berufsschifffahrt ^{17,1,3} Binnenhäfen ¹⁷
Freizeitnutzung	Motor- und Sportboote ^{13,7,15} , Yachthäfen ^{13,7,15} Ausflugsschiffe ¹² Kanus und Ruderboote ¹⁵ Angelfischerei ⁹
Artentransfer	Schiffsgebundener Transfer: Nachweise: Keine Annahme: Fische (Pisces) ¹⁴ Weichtiere (Mollusca) ^{19,20} Schiffsungebundener Transfer: Annahme: Fische (Pisces) ¹⁴ Gliederfüßer (Arthropoda) ²⁴
Weitere Nutzung	Keine

Literatur:

¹ Landesportal Schleswig-Holstein (2022): Elbe-Lübeck-Kanal. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/S/schifffahrt_haefen/elbe_luebeck_kanal.html (Letzter Zugriff: 16.05.2023)

² FGeoWSV (2022): Klassifizierung der Binnenwasserstraßen des Bundes. Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.

³ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, Wasserstraßen Neubauamt Hannover (2023): Elbe-Lübeck-Kanal. (Letzter Zugriff: 16.05.2023)

- ⁴ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2023): Karte der Gewässereinzugsgebiete und Bundeswasserstraßen. <https://via.bund.de/wsv/desktop/map/?parameter=visible&value=ezg> (Letzter Zugriff: 15.05.2023)
- ⁵ Nautischer Verein Lübeck e.V. (2023): Elbe-Lübeck-Kanal. <https://nautischer-verein-luebeck.de/elbe-luebeck-kanal/> (Letzter Zugriff: 16.05.2023)
- ⁶ ELWIS, Elektronischer Wasserstraßen-Informationsservice des WSV (2023): Karte der Bundeswasserstraßen und Schleusen. <https://via.bund.de/wsv/elwis/map/> (Letzter Zugriff: 16.05.2023)
- ⁷ Yachthafen Lauenburg (2023): Skippertreff Marina & Beach Lauenburg. <https://www.yachthafen-lauenburg.de/> (Letzter Zugriff: 16.05.2023)
- ⁸ Blondzig, K., Rechenberg, B.: Die Wasserqualität unserer Flüsse. Nationatlas Bundesrepublik Deutschland – Relief, Boden, Wasser. LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. Potsdam: 134-135
- ⁹ LSFV, Landes Sportfischer Verband Schleswig-Holstein e.V. (2023): LSFV-Gewässer. <https://www.lsfv-sh.de/lsv-gewaesser/> (Letzter Zugriff: 16.05.2023)
- ¹⁰ FGeoWSV Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2013): Abladetiefen/Fahrrinntiefen nach BinSchStrO und Schifffahrtspolizeiverordnung und schifffahrtspolizeilichen Anordnungen (Kernnetz der Netzkategorisierung). Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.
- ¹¹ Landesregierung Schleswig-Holstein, Digitaler Atlas Nord (2023): Amtliches Wasserwirtschaftliches Gewässerverzeichnis. https://danord.gdi-sh.de/viewer/resources/apps/Wasserland_AWGV/index.html?lang=de#/ (Letzter Zugriff: 23.05.2023)
- ¹² Herzogtum Lauenburg (2023): Schiffsausfüge auf der Elbe. <https://www.herzogtum-lauenburg.de/schiffsausfluege-auf-der-elbe-1> (Letzter Zugriff: 23.05.2023)
- ¹³ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2023): Karte der Bundeswasserstraßen und Wasserstraßendatenbank der WSV (WADABA). https://via.bund.de/wsv/desktop/map/?zoom=10¢er=8.92823%2C52.303011&vl=bwastrwms%2Ctopplu_grau&route_option=bsf (Letzter Zugriff: 16.05.2023)
- ¹⁴ LIB, Leibniz-Institut zur Analyse des Biodiversitätswandels (2021): Schwarzmundgrundel. <https://www.neobiota-nord.de/de/aktuelles/artikel/schwarzmundgrundel/> (Letzter Zugriff: 25.05.2023)
- ¹⁵ WSV Mölln, Wassersportverein Mölln von 1925 e.V. (2023): Internetseite. <https://www.wsv-mölln.de/> (Letzter Zugriff: 16.05.2023)
- ¹⁶ WSA Elbe, Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Elbe (2023): Hotopp-Schleuse am Elbe-Lübeck-Kanal. Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Elbe. Dresden: 16 S.
- ¹⁷ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2023): Elbe-Lübeck-Kanal. https://www.wsa-elbe.wsv.de/Webs/WSA/Elbe/DE/Wasserstrassen/07_Elbe-Luebeck-Kanal/Elbe-Luebeck-Kanal_node.html (Letzter Zugriff: 16.05.2023)
- ¹⁸ GDWS, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (2022): Elbe-Lübeck-Kanal: Betrieb dauerhaft gesichert - Ausbaumaßnahmen zurückgestellt. Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt. Bonn: 2 S.
- ¹⁹ UBA, Umwelt Bundesamt (2023): Bewuchssituation im Lübecker Hafen. <https://www.umweltbundesamt.de/luebeck#wer-es-genauer-wissen-moechte> (Letzter Zugriff: 25.05.2023)
- ²⁰ Paulus, M., Teubner, D., Hochkirch, A., Veith, M. (2014): Journey into the past: using cryogenically stored samples to reconstruct the invasion history of the quagga mussel (*Dreissena rostriformis*) in German river systems. *Biological Invasions* 16 (12): 2591-2597.

- ²¹ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2021): Übersicht der Dienstorte der WSV. Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.
- ²² WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes: Planfeststellung (2023). <https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/wasserstrassen/planfeststellung/planfeststellung-node.html> (Letzter Zugriff: 09.05.2023)
- ²³ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, WSA Elbe (2023): Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Elbe. https://www.wsa-elbe.wsv.de/Webs/WSA/Elbe/DE/WSA-Elbe/Elbe_node.html (Letzter Zugriff: 16.05.2023)
- ²⁴ LSFV, Landessportfischerverband Schleswig-Holstein (2022): Der Fischbestand der Elbe – Befischung 2022. <https://www.lsfv-sh.de/der-fischbestand-der-elbe-befischung-2022/> (Letzter Zugriff: 01.06.2023)
- ²⁵ GDWS, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (2023): Aufgaben. https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/gdws/01_ueber-uns/aufgaben/aufgaben-node.html (Letzter Zugriff: 06.06.2023)
- ²⁶ Galil, B., Nehring, S., Panov, V. (2007): Waterways as Invasion Highways – Impact of Climate Change and Globalization. In: Nentwig, W. (Hrsg.): Biological Invasions. Springer, Berlin: 59-74.
- ²⁷ BfG, Bundesanstalt für Gewässerkunde (2022): Karten zum 3. WRRL-Bewirtschaftungsplan (Stand 14.04.2022). <https://geoportal.bafg.de/karten/wfdmaps2022/#> (Letzter Zugriff: 04.12.2023)

4.2.3 Elbe-Seitenkanal

Allgemeine Beschreibung

Der Elbe-Seitenkanal (ESK) bietet der Binnenschifffahrt eine Möglichkeit, den von wechselnden Wasserständen betroffenen Abschnitt der Elbe zwischen Lauenburg und Magdeburg zu umfahren, und liefert zudem eine Streckenverkürzung von bis zu 33 km ^{3,5} (Tab. 4). Der ESK zweigt dafür aus der Scheitelhaltung des Mittellandkanals zwischen Braunschweig und Wolfsburg ab und mündet nach 115,3 km und einem Höhenunterschied von 61 m bei der Staustufe Geesthacht in die Elbe (Edesbüttel →Allertal →Lüneburger Heide →Artlenburg) ^{3,5}. Dabei wird die Wasserscheide der Einzugsgebiete von Weser und Elbe überquert ⁴. Der Abstieg in Richtung Elbe wird durch die Schachtschleusengruppe Uelzen (Höhenunterschied 23 m) und das Schiffshebewerk Lüneburg (Höhenunterschied 38 m) überwunden ⁵. Jährlich werden ca. 10 Mio. Tonnen Güter auf dem ESK transportiert, wobei es Prognosen gibt, die von bis zu 94 Mio. t im Jahr 2030 ausgehen ^{7,15}. Zusätzlich zu seiner Funktion als Binnenwasserstraße wird der ESK zur Beregnung von 15.000 ha Landfläche genutzt ¹¹. Dazu wird Wasser aus Weser und Elbe an den Schleusen des Mittellandkanals und des ESK gehoben und bis zur oberen Haltung des ESK geleitet ¹¹.

Tab. 4: Steckbrief des Elbe-Seitenkanals

Allgemeine Informationen	
Gewässerkennzahl	DE: 5938 ¹²
Wasserstraßenklasse	Vb ^{7,2,5}
Lage	Niedersachsen ^{3,7}
Zuständigkeit	WSA Mittellandkanal/Elbe-Seitenkanal: Verwaltung ³ Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS): Fachaufsicht ^{27,28,26}

Allgemeine Informationen	
	WNA Hannover: Ausbau, Neubau und Beseitigung von Bundeswasserstraßen; Verkehrsablauf und Verkehrssicherung ¹⁶ Anglerverband Niedersachsen e.V. und darin organisierte Angelvereine ⁹ ; Anglerverband Hamburg e.V. und darin organisierte Angelvereine ¹³ ; Fischereirecht und Bewirtschaftung.
Einzugsgebiete	Weser – Elbe ⁴
Korridor	Keiner ²⁹
Überquerung Europ. Hauptwasserscheide	Nein ²⁹
Wasseraustausch	Süßwasser – Süßwasser ¹⁰
Wasserkörper	Süßwasser ¹⁰
Gewässergüteklasse	II und II-III ⁸
Ökologisches Potenzial	Nicht klassifiziert ³⁰
schiffbar	Ja ^{2,3,7}
Technische Daten	
Länge	115,2 km ^{3,5}
Wasserspiegelbreite	53 m ⁵
Sohlbreite	19-26 m ⁵
Wassertiefe	4-4,5 m ⁵
Kanalquerschnitt	Trapezprofil, Böschung 1:3 ⁵
Fahrrinntiefe	≤ 2,80 m ¹
Durchfahrtshöhe	5,25 m ⁵
Transportleistung	ca. 10,9 Mio. t ^{7,15} , Prognose 2030: bis zu 94 Mio. t ⁷
Maximale Schiffsgröße	L: 110 m/B: 11,45 m/T: 2,8 m ¹⁵ ; Schubverbände: L: 185 m/B: 11,45 m/T: 2,8 m ^{15,7}
Anzahl Schleusen/Schiffshebwerke	Hauptkanal: 2 ^{3,15,5}
Schleusentypen	Schachtschleusen ohne Sparbecken: Uelzen I ³ Schachtschleusen mit Sparbecken: Uelzen II ³ Doppel Senkrechtschiffshebwerk: Lüneburg ³
Schleusentyp Beginn	Keine ⁴
Schleusentyp Ende	Keine ⁴
Größe Schleusenammern/Tröge	Hauptkanal: L: 185-190 m/B: 12-12,5 m ^{3,7} Schiffshebwerk: L: 100 m/B: 12 m ³ Hubhöhe Hauptkanal: 23-38 m ³

Technische Daten	
Höhenunterschied	61 m ³
Weitere technische Bauwerke	Schiffshebewerk Lüneburg ^{6,30} 51 Straßen- und Fußgängerbücken ^{30,5} 4 Eisenbahnbrücken ^{30,5} 3 Kanalbrücken ⁵ 5 Sicherheits- und Hochwassersperrtore ⁵ 32 Düker und Durchlässe ^{30,5} 48 Einleit-/Auslassbauwerke und Schöpfwerke ³⁰ 6 Häfen ¹⁹
Nutzung	
Kommerzielle Nutzung	Containerschifffahrt ⁵ , Binnenschifffahrt ⁵
Freizeitnutzung	Sport- und Ruderboote ¹⁸ , Yachthäfen ¹⁹ Ausflugsschiffe ^{17,14} Angelfischerei ^{13,9}
Artentransfer	Schiffsgebundener Transfer: Nachweis: Fische (Pisces) ²¹ Gliederfüßer (Arthropoda) ^{22,23} Weichtiere (Mollusca) ²³ Annahme: Gliederfüßer (Arthropoda) ²² Ringelwürmer (Annelida) ²⁴ Schiffsungebundener Transfer: Nachweis Fische (Pisces) ^{20,21} Gliederfüßer (Arthropoda) ^{22,23} Weichtiere (Mollusca) ²³ Annahme: Gliederfüßer (Arthropoda) ²⁵
Weitere Nutzung	Wasserleitung zur Beregnung; Hochwasserabführung ^{5,11}

Literatur:

- ¹ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2013): Abladetiefen/Fahrrinntiefen nach BinSchStrO und Schifffahrtspolizeiverordnung und schifffahrtspolizeilichen Anordnungen (Kernnetz der Netzkategorisierung). Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.
- ² FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2022): Klassifizierung der Binnenwasserstraßen des Bundes. Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.
- ³ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, WSA Mittelland-Kanal/Elbe-Seitenkanal (2023): Elbe-Seitenkanal. https://www.wsa-mittellandkanal-elbe-seitenkanal.wsv.de/Webs/WSA/Mittellandkanal-ESK/DE/Wasserstrassen/Bundeswasserstrassen/ElbeSeitenkanal/ElbeSeitenkanal_node.html (Letzter Zugriff: 02.06.2023)
- ⁴ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2023): Karte der Gewässereinzugsgebiete und Bundeswasserstraßen. <https://via.bund.de/wsv/desktop/map/?parameter=visible&value=ezg> (Letzter Zugriff: 05.05.2023)

- ⁵ WSV, Wasserstraßen und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2020): Der Elbe Seitenkanal. Technische Daten. Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Mittelland-Kanal/Elbe-Seitenkanal. Braunschweig: 2 S.
- ⁶ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2020): Schiffshebewerk Lüneburg. Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Mittellandkanal/Elbe-Seitenkanal. Braunschweig: 2 S.
- ⁷ BESK, Bündnis Elbe-Seitenkanal e.V. (2023): Der Elbe Seitenkanal <https://www.besk-niedersachsen.de/2-0-Der-Elbe-Seitenkanal.html> (Letzter Zugriff: 02.06.2023)
- ⁸ Blondzig, K., Rechenberg, B.: Die Wasserqualität unserer Flüsse. Nationatlas Bundesrepublik Deutschland – Relief, Boden, Wasser. LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. Potsdam: 134-135
- ⁹ AVN, Anglerverband Niedersachsen e.V. (2023): Elbe-Seitenkanal. <https://www.av-nds.de/angeln-beim-avn/elbe-seitenkanal/> (Letzter Zugriff: 05.06.2023)
- ¹⁰ Baumgärtner, M., Fricke, D., Kuckluck, B., Martens, H., Müller, W., Schürmann, B., Schulze, M., Strüfing, U. (2001): Gewässergütebericht ELBE 2000. NLWK, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft und Küstenschutz – Betriebsstellen Lüneburg und Stade. Lüneburg: 154 S.
- ¹¹ Kreisverband der Wasser- und Bodenverbände Uelzen (2023): Dachverband Beregnung Elbe-Seitenkanal. <https://wasser-uelzen.de/dachverband-beregnung-elbe-seitenkanal/> (Letzter Zugriff: 05.06.2023)
- ¹² Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz ((2023): Flächenverzeichnis zur Hydrographischen Karte Niedersachsen. https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/service/umweltkarten/wasser_hydrologie/gewassernetz_und_kuestengewasser/gewaessernetz-und-kuestengewasser-niedersachsens-8267.html. (Letzter Zugriff: 05.06.2023)
- ¹³ AVHH, Anglerverband Hamburg e.V. (2023): Unsere Gewässer – Elbe-Seitenkanal. <https://anglerverband-hh.de/unsere-gewaesser/elbe-seitenkanal> (Letzter Zugriff: 05.06.2023)
- ¹⁴ Herzogtum Lauenburg Marketing und Service GmbH (2023): Schiffsausflüge auf der Elbe. <https://www.herzogtum-lauenburg.de/schiffsausfluege-auf-der-elbe-1> (Letzter Zugriff: 05.06.2023)
- ¹⁵ GDWS, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (2022): Der Elbe-Seitenkanal. https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/wasserstrassen/01_bundeswasserstrassen/05_westdeutsches_Kanalnetz/ESK.html (Letzter Zugriff: 02.06.2023)
- ¹⁶ WNA Hannover, Wasserstraßen Neubauamt Hannover (2023): Über uns. https://www.wna-hannover.wsv.de/Webs/WNA/NBA-Hannover/DE/NBA/UeberUns/ueberuns_node.html (Letzter Zugriff: 05.06.2023)
- ¹⁷ Personenschifffahrt Jürgen Wilke (2023): Ihr Ausflugsschiff für Fahrten auf der Elbe zwischen Hamburg und Hitzacker sowie auf dem Elbe-Lübeck- und Elbe-Seitenkanal. <https://www.personenschifffahrt-wilcke.de/> (Letzter Zugriff: 05.06.2023)
- ¹⁸ DRV, Deutscher Ruderverband (2022): Gewässerkatalog des Deutschen Ruderverband e.V. – Elbe-Seitenkanal. <https://gewaesser.rudern.de/elbe-seiten-kanal> (Letzter Zugriff: 05.06.2023)
- ¹⁹ ELWIS, Elektronischer Wasserstraßen-Informationsservice des WSV (2023): Karte der Bundeswasserstraßen und Schleusen. <https://via.bund.de/wsv/elwis/map/> (Letzter Zugriff: 02.06.2023)
- ²⁰ AV Wunsdorf, Angelverein Wunsdorf e.V. (2023): Projekt invasive Fischarten. <https://www.av-wunstorf.de/projekte/> (Letzter Zugriff: 12.06.2023)
- ²¹ Nehring, S., Rabitsch, W., Kowarik, I., Essl, F. (Hrsg.) (2015): Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde Wirbeltiere. BfN-Skripten 409: 222 S.

- ²² Grabow, K., Eggers, T., Martens, A. (1998): *Dikerogammarus villosus* Sovinsky (Crustacea: Amphipoda) in norddeutschen Kanälen und Flüssen. *Lauterbornia* 33: 103-107.
- ²³ Müller, R., Wolter, C., Peschel, T. (2018): Neobiota in Berliner Gewässern im Jahr 2018. Wirbellose Tiere, Fische und Wasserpflanzen. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Abteilung Integrativer Umweltschutz Referat Wasserrecht, Wasserwirtschaft und Geologie, Fachbereich Wasserwirtschaft, Wasserrahmenrichtlinie, Hochwasserschutz (II B 24). Berlin: 147 S.
- ²⁴ Tittizer, T. (2001): Neozoen in mitteleuropäischen Gewässern. *Rundgespräche der Kommission für Ökologie* 22/2001: 59-74
- ²⁵ Nehring, S., Leuchs, H. (2000): Neozoen im Makrozoobenthos der Brackgewässer an der deutschen Nordseeküste. *Lauterbornia* 39: 73-116.
- ²⁶ GDWS, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (2023): Aufgaben. https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/gdws/01_ueber-uns/aufgaben/aufgaben-node.html (Letzter Zugriff: 06.06.2023)
- ²⁷ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2021): Übersicht der Dienstorte der WSV. Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.
- ²⁸ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2023): Planfeststellung. <https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/wasserstrassen/planfeststellung/planfeststellung-node.html> (Letzter Zugriff: 09.05.2023)
- ²⁹ Galil, B., Nehring, S., Panov, V. (2007): Waterways as Invasion Highways – Impact of Climate Change and Globalization. In: Nentwig, W. (Hrsg.): *Biological Invasions*. Springer, Berlin: 59-74.
- ³⁰ BfG, Bundesanstalt für Gewässerkunde (2022): Karten zum 3. WRRL-Bewirtschaftungsplan (Stand 14.04.2022). <https://geoportal.bafg.de/karten/wfdmaps2022/#> (Letzter Zugriff: 04.12.2023)

4.2.4 Ems-Jade-Kanal

Allgemeine Beschreibung

Der Ems-Jade-Kanal (EJK) dient neben der Verbindung zwischen den Seehäfen Emden und Wilhelmshaven (Emden -> Aurich -> Wilhelmshaven) auch der Entwässerung und Urbarmachung der früheren Hochmoorgebiete ⁸ (Tab. 5). Er führt außerdem zu vielen Binnenwasserwegen wie dem Larrelter Tief, Hinter Tief, Trecktief, Fehntjer Tief, Emsseitenkanal und ermöglicht über den Nordgeorgsfehnkanal eine Verbindung zum Großfehnkanal, dem Leda-Jümme-Gebiet, dem Elisabethfehnkanal und dem Küstenkanal ¹⁴. Der Frachtverkehr auf dem Kanal ist sehr gering und kann, wegen des geringen Querschnitts und der Schleusenabmessungen, heute kaum noch mit dem Gütertransport auf Schiene und Straße mithalten ¹⁴. Im Gegensatz dazu hat die Anzahl der Freizeitskipper in den letzten Jahren jedoch erheblich zugenommen ¹⁴.

Tab. 5: Steckbrief des Ems-Jade-Kanals

Allgemeine Informationen	
Gewässerkennzahl	DE: 06040 ⁷
Wasserstraßenklasse	Nicht klassifiziert ⁵
Lage	Niedersachsen ³
Zuständigkeit	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN): Verwaltung ⁸

Allgemeine Informationen	
	Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS): Fachaufsicht ¹⁴ Bezirksfischereiverein Ostfriesland ^{8,2} Sportfischereiverein Wilhelmshaven ^{8,2} : Fischereirecht und Bewirtschaftung
Einzugsgebiete	Ems – Weser ^{3,5}
Korridor	Keiner ¹⁵
Überquerung Europ. Hauptwasserscheide	Nein ¹⁵
Wasseraustausch	Salzwasser/Brackwasser – Salzwasser/Brackwasser ^{3,5}
Wasserkörper	Süßwasser/Brackwasser ^{8,3,5}
Gewässergüteklasse	II-III/III ³
Ökologisches Potential	Nicht klassifiziert ¹⁷
schiffbar	Ja ¹⁴
Technische Daten	
Länge	72 km ^{8,13}
Wasserspiegelbreite	20 m ²
Sohlbreite	Keine Informationen
Wassertiefe	Max. 3 m ²
Kanalquerschnitt	Keine Informationen
Fahrrinntiefe	Keine Informationen
Durchfahrtshöhe	4,50 m von Emden bis Aurich; 4,00 m von Aurich bis Wilhelmshaven ¹³
Transportleistung	Keine Informationen
Maximale Schiffsgröße	L: 33 m/B: 6,20 m/T: 1,70 m ⁸
Anzahl Schleusen	6 ^{14,8,13}
Schleusentypen	Kesselschleuse: Emden mit 4 Schleusenkammern ^{14,8} Kammerschleusen: Rahe ¹⁴ , Wiesens ¹⁴ , Upschört ¹⁴ , Wiesede ¹⁴ , Mariensiel ¹⁴ Seeschleuse: Wilhelmshaven ¹⁴
Schleusentyp Beginn	Seeschleuse (Wilhelmshaven) ¹⁴
Schleusentyp Ende	Kesselschleuse (Emden) ^{14,8}
Größe Schleusenkammern	Kesselschleuse: 33 m Durchmesser ⁸ , H:1,3 m ⁴ Kammerschleuse: H: 0,5-2,7 m; L: 33-50 m; B: 6,2-6,5 m ⁴
Höhenunterschied	4,6 m ¹⁴
Weitere technische Bauwerke	15 feste Brücken ⁸ 27 bewegliche Brücken ⁸ 10 Häfen ¹⁶

Nutzung	
Kommerzielle Nutzung	Binnenschifffahrt ^{14,8}
Freizeitnutzung	Motor- und Sportboote ⁸ Fahrgastschiffe ¹² Kanus und Ruderboote ⁸ Angelfischerei ²
Artentransfer	Schiffsgebundener Transfer Annahme: Weichtiere (Mollusca) ^{6,11} Gliederfüßer (Arthropoda) ^{2,8} Fadenwürmer (Nematoda) ⁹ Ringelwürmer (Annelida) ⁸ Fische (Pisces) ^{10,1} Braunalgen (Ochrophyta) ⁹ Schiffsungebundener Transfer Annahme: Weichtiere (Mollusca) ^{6,11} Gliederfüßer (Arthropoda) ^{2,8} Fische (Pisces) ^{10,1}
Weitere Nutzung	Keine

Literatur:

- ¹ Anglerverband Niedersachsen e.V (2016): Schwarzmundgrundel. Eine fremde Fischart breitet sich aus. Anglerverband Niedersachsen e.V. Hannover: 2 S.
- ² Blinker Redaktion (2016): Ems-Jade-Kanal: Gut für Zander, Karpfen und Aal. <https://www.blinker.de/angelmethoden/angeln-allgemein/angelgewaesser/ems-jade-kanal-gut-fuer-zander-und-karpfen/> (Letzter Zugriff: 22.06.2023)
- ³ Blondzig, K., Rechenberg, B.: Die Wasserqualität unserer Flüsse. Nationatlas Bundesrepublik Deutschland – Relief, Boden, Wasser. LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. Potsdam: 134-135
- ⁴ Landesverband Motorbootsport Niedersachsen e.V. (2023): Kartenwerk Ems-Jade-Kanal. Deutscher Motoryachtverband e.V. Duisburg: 5 S.
- ⁵ FGeoWSV (2022): Klassifizierung der Binnenwasserstraßen des Bundes. Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.
- ⁶ Junk, I., Schumacher, A., Schmitt, N., Weber, S., Koschorreck, J., Krehenwinkel, H. (2022): Tiefkalte Schätze: 30-jähriges Biodiversitätsmonitoring in deutschen Küstenökosystemen anhand von eDNA archivierter Blasentang- und Miesmuschelproben. Posterpräsentation. Universität Trier. Trier: 1 S.
- ⁷ Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (2021): Niedersächsischer Beitrag zu den Bewirtschaftungsplänen 2021 bis 2027 der Flussgebiete Elbe, Weser, Ems und Rhein. Hannover: 328 S.
- ⁸ NLWKN, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2005): Ems-Jade-Kanal von Emden nach Wilhelmshaven. Wegweiser für Wassersportfreunde, Wanderer und Radwanderer: 6 S.

- ⁹ Rabitsch, W., Nehring, S. (2017): Naturschutzfachliche Invasivitäts-bewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde aquatische Pilze, Niedere Pflanzen und Wirbellose Tiere. BfN-Skripten 458: 222 S.
- ¹⁰ Renners, U. (2013): Ein gefräßiger Globalisierungsgewinner. Schwarzmundgrundel macht sich auch in Westfalen breit. Westfälische Nachrichten. <https://www.wn.de/muensterland/schwarzmundgrundel-macht-sich-auch-in-westfalen-breit-2012655?&npg> (Letzter Zugriff: 22.06.2023)
- ¹¹ Schückel, U., Kröncke, I. (2023): Langzeitveränderungen (1930s, 1970s, 2009) in den Makrofaunagemeinschaften und benthischen Nahrungsnetzen des Jadebusens. Senkenberg World of Biodiversity. Frankfurt: 25 S.
- ¹² Seehafenstadt Emden (2023): Kanalfahrten mit der „MS Stadt Auricht“. <https://www.emden-touristik.de/emden-erleben/emden-zu-wasser/fahrt-mit-der-ms-stadt-auricht> (Letzter Zugriff: 22.06.2023)
- ¹³ Straßburger, J. (2015): Wasserstraßen 2015. Höchstgeschwindigkeiten, Tiefgänge, Durchfahrtshöhen, Anzahl der Schleusen. Delius Klasing Verlag. Bielefeld: 8 S.
- ¹⁴ Seggern, F. von, Wietelmann, M. (1957): 100 Jahre Ems-Jade-Kanal. Geschichte und Bedeutung einer Wasserstraße. In: Oldenburger Landesverein für Geschichte, Natur- und Heimatkunde (Hrsg.): Oldenburger Jahrbuch 89: 243-272.
- ¹⁵ Galil, B., Nehring, S., Panov, V. (2007): Waterways as Invasion Highways – Impact of Climate Change and Globalization. In: Nentwig, W. (Hrsg.): Biological Invasions. Springer, Berlin: 59-74.
- ¹⁶ Landesverband Motorbootsport Niedersachsen e.V. (2023): Kartenwerk Ems-Jade-Kanal (Deutscher Motoryachtverband e.V.): 5 S. https://lm-n.de/fileadmin/LV_DATEN/NI/Downloads/Kartenwerke/Ems-Jade-Kanal.pdf (Letzter Zugriff: 27.11.2023)
- ¹⁷ BfG, Bundesanstalt für Gewässerkunde (2022): Karten zum 3. WRRL-Bewirtschaftungsplan (Stand 14.04.2022). <https://geoportal.bafg.de/karten/wfdmaps2022/#> (Letzter Zugriff: 04.12.2023)

4.2.5 Finowkanal

Allgemeine Beschreibung

Der Finowkanal (FWK) verläuft parallel zum Oder-Havel-Kanal im Bundesland Brandenburg zwischen der Schleuse Zerpen und der Schleuse Liepen und verbindet die Einzugsgebiete von Elbe und Oder und damit von Nord- und Ostsee ^{8,9} (Tab. 6). Es handelt sich hierbei um die älteste noch bestehende künstliche Wasserstraße Deutschlands. Heute ist sie für den Güterverkehr annähernd bedeutungslos, da dieser mittlerweile fast ausschließlich über den deutlich größeren Oder-Havel-Kanal stattfindet ⁹. Der FWK ist auf seiner gesamten Länge für Sport- und Ruderboote befahrbar und überwindet den Höhenunterschied zwischen Havel und Oder mittels 12 Schleusen (Ruhlsdorf, Leesenbrück, Grafenbrück, Schöpfurth, Heegermühle, Wolfswinkel, Drahthammer, Kupferhammer, Eberswalde, Ragöse, Stecher und Liepe) ^{9,14,15}. Entlang des FWK finden sich mehrere Industriedenkmäler der frühen Industrialisierung Deutschlands ⁹.

Tab. 6: Steckbrief des Finowkanals

Allgemeine Informationen	
Gewässerkennzahl	DE: 69626 ^{3,4,5,6,7}
Wasserstraßenklasse	Nicht klassifiziert ²

Allgemeine Informationen	
Lage	Brandenburg ^{3,4,5,6,7}
Zuständigkeit	WSA Oder-Havel: Verwaltung ¹² Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS): Fachaufsicht ^{10,11,29} Landes Anglerverband Brandenburg e.V. ²⁰ , Kreis Anglerverband (KAV) Barnim e.V. ^{15,16} : Fischereirecht und Bewirtschaftung Zweckverband Region Finowkanal: Förderung der wassertouristischen Entwicklung ¹⁵ Unser Finowkanal e.V.: Erhalt und Förderung des industriellen Kulturerbes Finowkanal ⁹
Einzugsgebiete	Elbe – Oder ⁸
Korridor	Zentraler- und nördlicher Korridor (Pontokaspische Meere – Ostsee/Nordsee) ³⁰
Überquerung Europ. Hauptwasserscheide	Außerhalb Deutschlands ³⁰
Wasseraustausch	Süßwasser – Süßwasser ^{21,22}
Wasserkörper	Süßwasser ^{3,4,5,6,7}
Gewässergüteklasse	Nicht klassifiziert ²⁸
Ökologisches Potenzial	Unbefriedigend bis mäßig ³²
schiffbar	Ja ¹⁴
Technische Daten	
Länge	42 km ¹⁴
Wasserspiegelbreite	Keine Informationen
Sohlbreite	Keine Informationen
Wassertiefe	Keine Informationen
Kanalquerschnitt	Keine Informationen
Fahrrinntiefe	Nicht klassifiziert ²
Durchfahrtshöhe	3,94 m ¹⁸
Transportleistung	Keine Informationen
Maximale Schiffsgröße	L: 41,5 m/B: 5,10 m/T: 1,20 m ^{15,17}
Anzahl Schleusen	Hauptkanal: 12 ^{13,14}
Schleusentypen	Ohne weitere Informationen: ²⁷ Ruhlsdorf, Lessenbrück, Grafenbrück, Schöpfurt, Heegermühle, Wolfswinkel, Drathammer, Kupferhammer, Eberswalde, Ragöse, Stecher, Liepe
Schleusentyp Beginn	Keine Informationen (Ruhlsdorf) ²⁷
Schleusentyp Ende	Keine Informationen (Liepe) ²⁷
Größe Schleusenammern	Hauptkanal: L: 37,80 m - 41,50 m/ B: 9,42 m – 9,64 m ^{15,27} Hubhöhe Hauptkanal: 1,7-4,0 m ¹⁵

Technische Daten	
Höhenunterschied	36 m ²⁶
Weitere technische Bauwerke	19 Straßen- und Fußgängerbücken ¹³ 5 Eisenbahnbrücken ¹³ 2 Rohrbrücken ¹³ 29 Düker und Durchlässe ¹³ 9 Wehre ¹³ 2 Wasserkraftanlagen ¹³ 2 Häfen ³¹
Nutzung	
Kommerzielle Nutzung	Keine Informationen
Freizeitnutzung	Motor- und Sportboote ¹⁵ , Yachthäfen ¹⁵ Kanus und Ruderboote ¹⁵ Angelfischerei ^{20,15,16}
Artentransfer	Schiffsgebundener Transfer: Nachweise: Keine Nachweise Annahme: Gliederfüßer (Arthropoda) ^{23,24,25} Ringelwürmer (Annelida) ²⁵ Schiffsungebundener Transfer: Nachweise: Keine Nachweise Annahme: Weichtiere (Mollusca) ^{24, 25} Gliederfüßer (Arthropoda) ²⁵ Fische (Pisces) ²⁸
Weitere Nutzung	Keine

Literatur:

- ¹ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2013): Abladetiefen/Fahrrinntiefen nach BinSchStrO und Schifffahrtspolizeiverordnung und schifffahrtspolizeilichen Anordnungen (Kernnetz der Netzkategorisierung). Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.
- ² FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2022): Klassifizierung der Binnenwasserstraßen des Bundes. Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.
- ³ APW, Auskunftsplattform Wasser des Land Brandenburg (2021): WRRL-Steckbrief für den Oberflächenwasserkörper Finowkanal-1715. LfU – Landesamt für Umwelt. Potsdam: 5 S.
- ⁴ APW, Auskunftsplattform Wasser des Land Brandenburg (2021): WRRL-Steckbrief für den Oberflächenwasserkörper Finowkanal-575. LfU – Landesamt für Umwelt. Potsdam: 6 S.
- ⁵ APW, Auskunftsplattform Wasser des Land Brandenburg (2021): WRRL-Steckbrief für den Oberflächenwasserkörper Finowkanal-577. LfU – Landesamt für Umwelt. Potsdam: 6 S.
- ⁶ APW, Auskunftsplattform Wasser des Land Brandenburg (2021): WRRL-Steckbrief für den Oberflächenwasserkörper Finowkanal-578. 12/2021. LfU – Landesamt für Umwelt. Potsdam: 7 S.

- ⁷ APW, Auskunftsplattform Wasser des Land Brandenburg (2021): WRRL-Steckbrief für den Oberflächenwasserkörper Finowkanal-579. LfU – Landesamt für Umwelt. Potsdam: 6 S.
- ⁸ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2023): Karte der Gewässereinzugsgebiete und Bundeswasserstraßen. <https://via.bund.de/wsv/desktop/map/?parameter=visible&value=ezg> (Letzter Zugriff: 05.05.2023)
- ⁹ Unser Finowkanal e.V. (2023): Verein zur Förderung des industriellen Kulturerbes Finowkanal. <https://www.unser-finowkanal.eu/> (Letzter Zugriff: 09.05.2023)
- ¹⁰ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes: Planfeststellung (2023). <https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/wasserstrassen/planfeststellung/planfeststellung-node.html> (Letzter Zugriff: 09.05.2023)
- ¹¹ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2021): Übersicht der Dienstorte der WSV. Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.
- ¹² GDWS, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (2023): Zuständigkeiten für Bundeswasserstraßen. https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/wasserstrassen/01_bundeswasserstrassen/Zustandigkeiten/Zustandigkeiten_node.html. (Letzter Zugriff: 08.05.2023)
- ¹³ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2023): Karte der Bundeswasserstraßen und Wasserstraßendatenbank der WSV (WADABA). https://via.bund.de/wsv/desktop/map/?zoom=10¢er=8.92823%2C52.303011&vl=bwastrwms%2Ctopplu_grau&route_option=bsf (Letzter Zugriff: 05.05.2023)
- ¹⁴ Gemeinde Schorfheide (2023): Der Finowkanal. <https://www.schorfheide.de/region-schorfheide/finowkanal.html> (Letzter Zugriff: 09.05.2023)
- ¹⁵ Zweckverband Region Finowkanal (2023): Wassertouristische Entwicklung der Region Finowkanal. Eberswalde. <https://www.finowkanal.info/de/> (Letzter Zugriff: 09.05.2023)
- ¹⁶ KAV Barnim, Kreisanglerverband Barnim e.V. (2023) Gewässerverzeichnis zum download. <https://www.angeln-barnim.de/> (Letzter Zugriff: 05.05.2023)
- ¹⁷ WSV, Wasserstraßen und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2023): Schifffahrtspolizeiliche Anordnung Nr. 56/2023 für die Schifffahrt auf dem Finowkanal § 1.22 der BinSchStrO. ELWIS – Elektronischer Wasserstraßen-Informationsservice. Bonn: 2 S.
- ¹⁸ WSA Oder-Havel, Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Oder-Havel (2022): Durchfahrtshöhen und -breiten an Brücken im Bereich WSA Oder-Havel. WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Bonn: 31 S.
- ¹⁹ Binnenschifffahrt Online (2019): Am Finowkanal wird jetzt geplant. <https://binnenschifffahrt-online.de/2021/02/haefen-wasserstrassen/18876/am-finowkanal-wird-jetzt-geplant/> (Letzter Zugriff: 09.05.2023)
- ²⁰ LAVB, Landesanglerverband Brandenburg e.V. (2023): Gewässerkarte. <https://www.lavb.de/gwsmaps/> (Letzter Zugriff: 05.05.2023)
- ²¹ APW, Auskunftsplattform Wasser des Land Brandenburg (2021): WRRL-Steckbrief für den Oberflächenwasserkörper Havel-17. LfU – Landesamt für Umwelt. Potsdam: S. 6.
- ²² APW, Auskunftsplattform Wasser des Land Brandenburg (2021): WRRL-Steckbrief für den Oberflächenwasserkörper Alte Oder-233. LfU – Landesamt für Umwelt. Potsdam: 7 S.
- ²³ Müller, O., Hertel, A. (2003): Abundanzentwicklung der invasiven Amphipoda *Dikerogammarus villosus* (Sovinski 1894) und *D. cf. haemobaphes* (Eichwald 1841) in der deutschen Oder und den angrenzenden Kanälen (Crustacea; Amphipoda). Schriftenreihe des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Angewandte Wissenschaft Heft 498: 245-249.

- ²⁴ Müller, O., Zettler, M., Gruszka, P. (2001): Verbreitung und Status von *Dikerogammarus villosus* (Sovinski 1894)(Crustacea: Amphipoda) in der mittleren und unteren Strom-Oder und den angrenzenden Wasserstraßen. *Lauterbornia* 41: 105-112.
- ²⁵ Müller, R., Wolter, C., Peschel, T. (2018): Neobiota in Berliner Gewässern im Jahr 2018. Wirbellose Tiere, Fische und Wasserpflanzen. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Abteilung Integrativer Umweltschutz Referat Wasserrecht, Wasserwirtschaft und Geologie, Fachbereich Wasserwirtschaft, Wasserrahmenrichtlinie, Hochwasserschutz (II B 24). Berlin: 147 S.
- ²⁶ WSV, Wasserstraßen und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, Wasserstraßen und Schifffahrtsamt Spree-Havel (2023): Havel-Oder-Wasserstraße (HOW). https://www.wsa-spree-havel.wsv.de/Webs/WSA/Spree-Havel/DE/01_Wasserstrassen/02_Bundeswasserstrassen/25_Havel_Oder_Wasserstrasse/Geschichte.html (Letzter Zugriff: 09.05.2023)
- ²⁷ WSV, Wasserstraßen und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2021): Datentabellen GDWS Magdeburg. Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt. Magdeburg: 12 S.
- ²⁸ Blondzig, K., Rechenberg, B.: Die Wasserqualität unserer Flüsse. Nationatlas Bundesrepublik Deutschland – Relief, Boden, Wasser. LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. Potsdam: 134-135
- ²⁹ GDWS, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (2023): Aufgaben. https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/gdws/01_ueber-uns/aufgaben/aufgaben-node.html (Letzter Zugriff: 06.06.2023)
- ³⁰ Galil, B., Nehring, S., Panov, V. (2007): Waterways as Invasion Highways – Impact of Climate Change and Globalization. In: Nentwig, W. (Hrsg.): *Biological Invasions*. Springer, Berlin: 59-74.
- ³¹ Zweckverband Region Finowkanal (2023): Marina und Bootsverleih. Eberswalde. <https://www.finowkanal.info/de/region-finowkanal/marina-und-bootsverleih> (Letzter Zugriff: 27.11.2023)
- ³² BfG, Bundesanstalt für Gewässerkunde (2022): Karten zum 3. WRRRL-Bewirtschaftungsplan (Stand 14.04.2022). <https://geoportal.bafg.de/karten/wfdmaps2022/#> (Letzter Zugriff: 04.12.2023)

4.2.6 Oder-Havel-Kanal

Allgemeine Beschreibung

Der Oder-Havel-Kanal (OHK) in Brandenburg ist Teil der Havel-Oder-Wasserstraße (HOW), die die Einzugsgebiete von Elbe und Oder und damit Nord- und Ostsee verbindet ⁴ (Tab. 7). Der OHK zweigt bei Oranienburg nahe Berlin von der Havel ab und mündet nach 54 km Kanalstrecke bei Niederfinow in die Alte Oder ^{3,5}. Dabei liegt die Scheitelhaltung zwischen der Schleuse Lehnitz und dem Schiffshebewerk Niederfinow auf 25 km Länge höher als das umliegende Gelände. Das 2022 fertiggestellte neue Schiffshebewerk Niederfinow ermöglicht Schiffen den Abstieg aus dem OHK zur 36 m tiefergelegenen Oder ⁵. Im Zuge des Bundesverkehrswegeplan 2030 wurde eine umfangreiche Modernisierung des OHK beschlossen, die zukünftig den Verkehr von Binnenschiffen der Klasse V ermöglichen soll ^{4,5}. Bei Eberswalde verfügt der Kanal über einen Binnenhafen ³⁰. Verbunden wird der OHK über den Malzer Kanal und die Schleuse Liebenwalde mit der Oberen-Havel-Wasserstraße und über den Werbelinkanal und die Rosenbeckerschleuse mit dem nördlich gelegenen Werbelinsee ^{29,38}. Zudem kreuzt der Finowkanal zwischen Zerpenschleuse und Ruhlsdorfer Schleuse den OHK (siehe auch Kap. 4.2.5 Steckbrief: Finowkanal) ³⁸.

Tab. 7: Steckbrief des Oder-Havel-Kanals

Allgemeine Informationen	
Gewässerkennzahl	DE: 6962694 ⁷
Wasserstraßenklasse	IV ^{1,2} , nach Abschluss der Erneuerung V ⁵
Lage	Brandenburg ²
Zuständigkeit	WSA Oder-Havel: Verwaltung ²³ Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS): Fachaufsicht ^{35,36,39} WNA Berlin: Ausbau, Neubau und Beseitigung von Bundeswasserstraßen; Verkehrsablauf und Verkehrssicherung ⁵ Landes Anglerverband Brandenburg e.V. ⁹ , Kreis Anglerverband (KAV) Barnim e.V. ¹⁰ , Anglerverband Niederbarnim e.V. ¹¹ , KAV Oberhavel e.V. ¹² : Fischerei- recht und Bewirtschaftung.
Einzugsgebiete	Elbe – Oder ^{3,4}
Korridor	Zentraler- und Nördlicher Korridor (Pontokaspische Meere – Nordsee) ⁴⁰
Überquerung Europ. Haupt- wasserscheide	Außerhalb Deutschlands ⁴⁰
Wasseraustausch	Süßwasser – Süßwasser ^{20,21}
Wasserkörper	Süßwasser ^{16,17,18,19}
Gewässergüteklasse	II-III ⁸
Ökologisches Potenzial	Unbefriedigend bis mäßig ⁴¹
schiffbar	Ja ^{1,2,3,5}
Technische Daten	
Länge	54 km ⁵
Wasserspiegelbreite	35 m, nach Ausbau: 55 m ³⁴
Sohlbreite	Keine Informationen
Wassertiefe	2,5 m, nach Ausbau: 4 m ³⁴
Kanalquerschnitt	Trapezprofil ³⁷
Fahrrinntiefe	< 2,20 m, im Ausbau ^{1,5}
Durchfahrtshöhe	5,11 m ¹⁴
Transportleistung	ca. 1,4 -4 Mio. t. ^{22,30}
Maximale Schiffsgröße	L: 85 m/B: 9 m/T: 2,5 m ² ; Nach Ausbau: L: 115 m/B: 11,45 m/T: 2,80 m ⁵
Anzahl Schleusen	Hauptkanal: 2 ³⁸ Verbindungskanäle: 2 ³⁸
Schleusentyp	Kammerschleuse: Lehnitz ³⁸ Schiffshebewerk: Niederfinow ⁵

Technische Daten	
Schleusentyp Beginn	Kammerschleuse (Lehnitz) ³⁸
Schleusentyp Ende	Schiffshebewerk (Niederfinow) ⁵
Größe Schleusenammern/ Trog Schiffshebewerk	Hauptkanal: L: 134 m/B: 11,92 m ¹³ Schiffshebewerk: L: 113 m/B: 12,50 m ⁵ Verbindungskanäle: L: 41,25 m/B: 5,25 m ¹³ Hubhöhe Hauptkanal: 36 m ⁵
Höhenunterschied	36 m ⁵
Weitere technische Bauwerke	Kanalbrücke Eberswalde ⁵ 13 Straßen- und Fußgängerbücken ³² 3 Eisenbahnbrücken ³² 3 Sicherheitstore ³² 25 km Dämme ⁵ 30 Düker und Durchlässe ³² 3 Einleit- und Auslassbauwerke ³² 3 Häfen ³⁸
Nutzung	
Kommerzielle Nutzung	Containerschifffahrt ⁵ , Binnenschifffahrt ⁵
Freizeitnutzung	Motor- und Sportboote ¹⁵ , Yachthäfen ³¹ Ausflugsschiffe ³³ Kanus und Ruderboote ⁶ Angelfischerei ^{9,10,11,12}
Artentransfer	Schiffsgebundener Transfer: Nachweis: Weichtiere (Mollusca) ^{24,26,28} Gliederfüßer (Arthropoda) ^{25,27,28} Fische (Pisces) ²⁸ Annahme: Gliederfüßer (Arthropoda) ^{25,27,28} Ringelwürmer (Annelida) ²⁸ Schiffsungebundener Transfer: Annahme: Weichtiere (Mollusca) ^{24,26, 28} Gliederfüßer (Arthropoda) ²⁸ Fische (Pisces) ²⁸
Weitere Nutzung	Keine

Literatur:

¹ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2013): Abladetiefen/Fahrrinntiefen nach BinSchStrO und Schifffahrtspolizeiverordnung und schifffahrtspolizeilichen Anordnungen (Kernnetz der Netzkategorisierung). Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.

² FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2022): Klassifizierung der Binnenwasserstraßen des Bundes. Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.

- ³ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2023): Die Havel-Oder-Wasserstraße. https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/wasserstrassen/01_bundeswasserstrassen/07_Elbe-Oder/HOW.html (Letzter Zugriff: 05.05.2023)
- ⁴ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2023): Karte der Gewässereinzugsgebiete und Bundeswasserstraßen. <https://via.bund.de/wsv/desktop/map/?parameter=visible&value=ezg> (Letzter Zugriff: 05.05.2023)
- ⁵ WSA Oder- Havel, Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Oder-Havel (2023): Neues und altes Schiffshebwerk in Niederfinow. WSV - Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Bonn: 56 S.
- ⁶ Rodenburg, Heike, DRV, Deutscher Ruderverband e.V. (2019): Gewässerkatalog des Deutschen Ruderverband e.V. Oder-Havel-Kanal. <https://gewaesser.rudern.de/oder-havel-kanal> (Letzter Zugriff: 05.05.2023)
- ⁷ APW, Auskunftsplattform Wasser des Land Brandenburg (2021): WRRL-Steckbrief für den Oberflächenwasserkörper Oder-Havel-Kanal-1494. LfU - Landesamt für Umwelt. Potsdam: 6 S.
- ⁸ Blondzig, K., Rechenberg, B.: Die Wasserqualität unserer Flüsse. Nationatlas Bundesrepublik Deutschland – Relief, Boden, Wasser. LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. Potsdam: 134-135
- ⁹ LAVB, Landesanglerverband Brandenburg e.V. (2023): Gewässerkarte. <https://www.lavb.de/gwsmaps/> (Letzter Zugriff: 05.05.2023)
- ¹⁰ KAV Barnim, Kreisanglerverband Barnim e.V. (2023) Gewässerverzeichnis zum download. <https://www.angeln-barnim.de/> (Letzter Zugriff: 05.05.2023)
- ¹¹ AV Niederbarnim, Anglerverband Niederbarnim e.V. (2023): Gewässerliste. <https://www.av-niederbarnim.de/seite/2200/gew%C3%A4sserliste.html> (Letzter Zugriff: 05.05.2023)
- ¹² KAV Oberhavel, Kreisanglerverband Oberhavel (2023): Gewässerkarte über Link aufrufbar. <http://www.kreisanglerverband-oberhavel-ev.de/> (Letzter Zugriff: 05.05.2023)
- ¹³ WSA, Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Oder-Havel (2022): Abmessung der Schiffsschleusen: 2 S.
- ¹⁴ WSA, Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Oder-Havel (2022): Durchfahrtshöhen und -breiten an Brücken im Bereich WSA Oder-Havel: 31 S.
- ¹⁵ WSA, Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Oder-Havel (2018): Wassersport auf Bundeswasserstraßen zwischen Elbe und Oder: 114 S.
- ¹⁶ APW, Auskunftsplattform Wasser des Land Brandenburg (2021): WRRL-Steckbrief für den Oberflächenwasserkörper Oder-Havel-Kanal-1494. LfU - Landesamt für Umwelt. Potsdam: 6 S.
- ¹⁷ APW, Auskunftsplattform Wasser des Land Brandenburg (2021): WRRL-Steckbrief für den Oberflächenwasserkörper Oder-Havel-Kanal-1495. LfU - Landesamt für Umwelt. Potsdam: 6 S.
- ¹⁸ APW, Auskunftsplattform Wasser des Land Brandenburg (2021): WRRL-Steckbrief für den Oberflächenwasserkörper Oder-Havel-Kanal-1496. LfU - Landesamt für Umwelt. Potsdam: 6 S.
- ¹⁹ APW, Auskunftsplattform Wasser des Land Brandenburg (2021): WRRL-Steckbrief für den Oberflächenwasserkörper Oder-Havel-Kanal-1714. LfU - Landesamt für Umwelt. Potsdam: 6 S.
- ²⁰ APW, Auskunftsplattform Wasser des Land Brandenburg (2021): WRRL-Steckbrief für den Oberflächenwasserkörper Havel-17. LfU - Landesamt für Umwelt. Potsdam: 6 S.
- ²¹ APW, Auskunftsplattform Wasser des Land Brandenburg (2021): WRRL-Steckbrief für den Oberflächenwasserkörper Alte Oder-233. LfU - Landesamt für Umwelt. Potsdam: 6 S.

- ²² Dezernat S (2014): Güterverkehrsströme zwischen Elbe und Oder. Freizeitverkehre in den Regionen Berlin, Brandenburg, Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern. WSV - Wasserstraßen und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Bonn: 59 S.
- ²³ GDWS, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (2023): Zuständigkeiten für Bundeswasserstraßen. https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/wasserstrassen/01_bundeswasserstrassen/Zustandigkeiten/Zustandigkeiten_node.html. (Letzter Zugriff: 08.05.2023)
- ²⁴ Müller, O., Wöhrmann, J., Hoffmann, N., Martens, A. (2016): Die Quagga-Muschel *Dreissena rostriformis* (Deshayes, 1838) in ostbrandenburgischen Seen und Kanälen (Bivalvia: Dreissenidae). *Lauterbornia* 81: 13-19.
- ²⁵ Müller, O., Hertel, A. (2003): Abundanzentwicklung der invasiven Amphipoda *Dikerogammarus villosus* (Sovinski 1894) und *D. cf. haemobaphes* (Eichwald 1841) in der deutschen Oder und den angrenzenden Kanälen (Crustacea; Amphipoda). *Schriftenreihe des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Angewandte Wissenschaft Heft 498*: 245-249.
- ²⁶ Wilke, H.-J. (2006): Erstnachweis von *Corbicula fluminea* (O. F. MÜLLER, 1774) im Odertal (Brandenburg). *Nationalpark-Jahrbuch Unteres Odertal 3/2006*: 78-80.
- ²⁷ Müller, O., Zettler, M., Gruszka, P. (2001): Verbreitung und Status von *Dikerogammarus villosus* (Sovinski 1894) (Crustacea: Amphipoda) in der mittleren und unteren Strom-Oder und den angrenzenden Wasserstraßen. *Lauterbornia* 41: 105-112.
- ²⁸ Müller, R., Wolter, C., Peschel, T. (2018): Neobiota in Berliner Gewässern im Jahr 2018. Wirbellose Tiere, Fische und Wasserpflanzen. *Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Abteilung Integrativer Umweltschutz Referat Wasserrecht, Wasserwirtschaft und Geologie, Fachbereich Wasserwirtschaft, Wasserrahmenrichtlinie, Hochwasserschutz (II B 24)*. Berlin: 147 S.
- ²⁹ Seame, europaweiter Hafenführer und Marina Guide (2023): Schleuse Rosenbeck. <https://www.seame.com/de/poi/10351/schleuse-rosenbeck> (Letzter Zugriff: 09.05.2023)
- ³⁰ Technische Werke Eberswalde GmbH (2023): Der Binnenhafen Eberswalde. <https://www.binnenhafen-eberswalde.de/> (Letzter Zugriff: 09.05.2023)
- ³¹ Haase S., Marina Marienwerder (2023): Marienhafen am Werbeliner Kreuz. <https://www.yachthafen-marienwerder.de/> (Letzter Zugriff: 09.05.2023)
- ³² FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2023): Karte der Bundeswasserstraßen und Wasserstraßendatenbank der WSV (WADABA). https://via.bund.de/wsv/desktop/map/?zoom=10¢er=8.92823%2C52.303011&vl=bwastrwms%2Ctoppluss_grau&route_option=bsf (Letzter Zugriff: 05.05.2023)
- ³³ Neumann, F. (2023): Fahrgastschiffahrt Neumann. Fahrten durch das Schiffshebewerk Niederfinow. <http://www.schiffshebewerk-niederfinow.info/neumann1.htm> (Letzter Zugriff: 09.05.2023)
- ³⁴ Binnenschiffahrt Online (2019): Strabag baut den Oder-Havel-Kanal aus. *Schifffahrts-Verlag Hansa GmbH & Co. KG, Hamburg*. <https://binnenschiffahrt-online.de/2019/03/haefen-wasserstrassen/9069/> (Letzter Zugriff: 09.05.2023)
- ³⁵ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes: Planfeststellung (2023). <https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/wasserstrassen/planfeststellung/planfeststellung-node.html> (Letzter Zugriff: 09.05.2023)
- ³⁶ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2021): Übersicht der Dienstorte der WSV. *Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV*. Hannover: 1 S.
- ³⁷ Wayss & Freytag Ingenieurbau AG (2023): W&F Havel-Oder-Wasserstraße. <https://www.wf-ib.de/projekte/ingenieurbau/wasserbau/havel-oder-wasserstrasse/> (Letzter Zugriff: 12.06.2023)

- ³⁸ ELWIS, Elektronischer Wasserstraßen-Informationsservice des WSV (2023): Karte der Bundeswasserstraßen und Schleusen. <https://via.bund.de/wsv/elwis/map/> (Letzter Zugriff: 16.05.2023)
- ³⁹ GDWS, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (2023): Aufgaben. https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/gdws/01_ueber-uns/aufgaben/aufgaben-node.html (Letzter Zugriff: 06.06.2023)
- ⁴⁰ Galil, B., Nehring, S., Panov, V. (2007): Waterways as Invasion Highways – Impact of Climate Change and Globalization. In: Nentwig, W. (Hrsg.): Biological Invasions. Springer, Berlin: 59-74.
- ⁴¹ BfG, Bundesanstalt für Gewässerkunde (2022): Karten zum 3. WRRL-Bewirtschaftungsplan (Stand 14.04.2022). <https://geoportal.bafg.de/karten/wfdmaps2022/#> (Letzter Zugriff: 04.12.2023)

4.2.7 Küstenkanal

Allgemeine Beschreibung

Der Küstenkanal im nördlichen Emsland ist eine Durchgangswasserstraße zwischen Weser und Ems. Er beginnt bei Oldenburg und mündet bei Dörpen in den Dortmund-Ems-Kanal ¹² (Tab. 8). Er verläuft außerdem durch ein Hochmoorgebiet zwischen Hunte (Einzugsgebiet der Weser) und Ems und dient bis heute als Hauptvorfluter für dieses Gebiet ²⁰. Der Küstenkanal ist ein wichtiges Bindeglied im westdeutschen Kanalnetz (Verbindung der Flussgebiete Rhein, Ems, Weser und Elbe) und ermöglicht den Seehäfen an der Weser einen Zugang zu den Häfen der Ems, des Rhein-Ruhrgebiets und den ARA-Häfen (Amsterdam, Rotterdam, Antwerpen) ^{12,6}. Bei Kampe zweigt der Elisabethfehnkanal, der einzig schiffbare Fehnkanal Deutschlands, ab und verbindet den Küstenkanal mit der Leda bei Osterhausen ⁵. Der Elisabethfehnkanal verfügt über vier manuell bediente Schleusen und wird hauptsächlich von Motor- und Sportbooten genutzt ⁵. Der Güterverkehr auf dem Küstenkanal beträgt ca. 3,4 Mio. Gütertonnen pro Jahr ¹². Außerdem wird er für die Freizeit- und Fahrgastschifffahrt genutzt ^{17,20}.

Tab. 8: Steckbrief des Küstenkanals

Allgemeine Informationen	
Gewässerkennzahl	DE: 3764 ¹¹
Wasserstraßenklasse	IV ⁷
Lage	Niedersachsen ⁷
Zuständigkeit	WSA Ems-Nordsee (Meppen und Emden): Verwaltung ⁸ GDWS Generaldirektion Wasserstraßen- und Schifffahrt ¹² ; Fachaufsicht WNA Datteln: Ausbau, Neubau und Beseitigung von Bundeswasserstraßen; Verkehrsablauf und Verkehrssicherung ¹⁹ Fischereiverein Edeweicht, SFVO Oldenburg, Fischereiverein für den Bezirk der Friesoyther Wasseracht, ASV Dörpen ⁹ Landesfischereiverband Weser-Ems e.V. ¹⁰ : Fischereirecht und Bewirtschaftung
Einzugsgebiete	Weser – Ems ⁷
Korridor	Keiner ²¹
Überquerung Europ. Hauptwasserscheide	Nein ²¹
Wasseraustausch	Süßwasser – Süßwasser ⁷

Allgemeine Informationen	
Wasserkörper	Süßwasser ⁷
Gewässergüteklasse	II-III ³
Ökologisches Potenzial	Nicht klassifiziert ²³
schiffbar	Ja ^{12,7}
Technische Daten	
Länge	70 km ^{12,6}
Wasserspiegelbreite	32-45 m ¹⁸
Sohlbreite	22-24 m ¹⁸
Wassertiefe	3,5-4 m ¹⁸
Kanalquerschnitt	Uferböschung 1:1 – 1:4 ¹⁸
Fahrinnentiefe	Abladetiefe $\geq 2,50$ m ¹² Wassertiefe 3,50 m ¹⁸
Durchfahrtshöhe	$\geq 4,50$ m ¹⁸
Transportleistung	3,4 Mio. t. ¹²
Maximale Schiffsgröße	L:100 m/B:11,45 m/T: $\geq 2,50$ m ¹²
Anzahl Schleusen	Hauptkanal: 2 ¹⁶ Stichkanal Dörpen: 0 ¹⁶
Schleusentypen	Ohne weitere Informationen: Schleuse Oldenburg ¹⁶ Schleuse Dörpen ¹⁶
Schleusentyp Beginn	Keine Informationen (Oldenburg) ²²
Schleusentyp Ende	Keine Informationen (Dörpen) ²²
Größe Schleusenkammern	L: 105 – 112 m/B: 12,0 m ²⁰ Hubhöhe: 1,20 m (Dörpen) – 5,40 m (Oldenburg) ^{6,14}
Höhenunterschied	4,20 m ^{20,14}
Weitere technische Bauwerke	31 Brücken ² 2 Sicherheitstore (Hundsmühle, Sedelsberg) ² 2 Häfen ²²
Nutzung	
Kommerzielle Nutzung	Binnenschifffahrt ¹⁸ Containerschifffahrt ¹²
Freizeitnutzung	Kreuzfahrtschiffe ¹⁷ Motor- und Sportboote ¹⁶ Ruderboote ² Fahrgastschiffe ¹⁷ Angelfischerei ^{9,10}

Nutzung	
Artentransfer	<p>Schiffsgebundener Transfer: Nachweis: Kein Nachweis Annahme: Weichtiere (Mollusca) ⁴ Gliederfüßer (Arthropoda) ^{15,13} Fische (Pisces) ¹</p> <p>Schiffsungebundener Transfer: Nachweis: Kein Nachweis Annahme: Weichtiere (Mollusca) ^{4,15} Gliederfüßer (Arthropoda) ¹⁵ Fische (Pisces) ¹</p>
Weitere Nutzung	<p>Hauptvorfluter zur Entwässerung und Hochwasserentlastung für die Gebiete Ems-Hunte, Leda/Jümme ^{12,6} Ableitung von Hochwasserspitzen aus den Flüssen Sagter Ems, Soeste und Vehne ⁶</p>

Literatur:

- ¹ Anglerverband Niedersachsen e.V. (2016): Schwarzmundgrundel. Eine fremde Fischart breitet sich aus. Anglerverband Niedersachsen e.V. Hannover: 2 S.
- ² Barßeler Ruderverein (2014): Küstenkanal. DRV, Deutscher Ruderverband e.V. (Hrsg.). <https://gewaesser.rudern.de/kuestenkanal> (Letzter Zugriff: 09.06.2023)
- ³ Blondzig, K., Rechenberg, B.: Die Wasserqualität unserer Flüsse. Nationatlas Bundesrepublik Deutschland – Relief, Boden, Wasser. LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. Potsdam: 134-135
- ⁴ Deutsch, A. (1990): Weitere Nachweise von *Menetus dilatatus* (Gould) (Gastropoda, Pulmonata) in Nordrhein-Westfalen. *Natur und Heimat* 50 (4): 104-105.
- ⁵ Erholungsgebiet Thülsfelder Talsperre (2023): Friesoythe-Elisabethfehn-Elisabethfehnkanal. <https://www.thuelsfelder-talsperre.de/Region/24665-Friesoythe-Elisabethfehn---Elisabethfehnkanal.html> (Letzter Zugriff: 09.06.2023)
- ⁶ Erholungsgebiet Thülsfelder Talsperre (2023): Küstenkanal. <https://www.thuelsfelder-talsperre.de/Region/24681-Kuestenkanal.html> (Letzter Zugriff: 09.06.2023)
- ⁷ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2022): Klassifizierung der Binnenwasserstraßen des Bundes. Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.
- ⁸ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2021): Übersicht der Dienstorte der WSV. Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.
- ⁹ Fischereiverein Edeweicht e.V. (2023): Vereinsgewässer. <https://fischereiverein-edeweicht.de/vereinsgewaesser/> (Letzter Zugriff: 09.06.2023)
- ¹⁰ Fischereiverein für den Bezirk der Friesoyther Wasseracht e.V. (2023): Fischereiverein für den Bezirk der Friesoyther Wasseracht e.V. <http://fischereiverein-friesoythe.net/index.php/homepage-frie> (Letzter Zugriff: 09.06.2023)

- ¹¹ Land Niedersachsen (2010): Flächenverzeichnis zur Hydrographischen Karte Niedersachsens. https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/service/umweltkarten/wasser_hydrologie/ge-wassernetz_und_kustengewasser/gewaessernetz-und-kuestengewasser-niedersachsens-8267.html (Letzter Zugriff: 09.06.2023)
- ¹² GDWS, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (2023): Der Küstenkanal. https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/wasserstrassen/01_bundeswasserstrassen/05_westdeutsches_Kanalnetz/kuestenkanal.html (Letzter Zugriff: 09.06.2023)
- ¹³ Herhaus, K. (1978): Die ersten Nachweise von Gammarus tigrinus Sexton, 1939, und Chaetogammarus ischnus (Stebbing, 1906) (Crustacea, Amphipoda, Gammaridae) im Einzugsgebiet der Ems und ihre verbreitungsgeschichtliche Einordnung. *Natur und Heimat* 38/1978: 71-77.
- ¹⁴ IRS Dorsch Gruppe (2023): Dörpen Unterhaupt (Dörpen). <https://www.irs-stahlwasserbau.de/projekte/stahlwasserbau/schleusen/detail/Projekte/show/doerpen-unterhaupt.html> (Letzter Zugriff: 09.06.2023)
- ¹⁵ Schöll, F. (2007): Das Makrozoobenthos des Rheins 2006/2007. Rhein-Messprogramm Biologie 2006/2007 Teil II-D. IKSR – Internationale Kommission zum Schutz des Rheins. Koblenz: 41 S.
- ¹⁶ Skipperguide (2017): Küstenkanal. <https://www.skipperguide.de/wiki/K%C3%BCstenkanal> (Letzter Zugriff: 09.06.2023)
- ¹⁷ Stadt Oldenburg (2021): Handlungsanweisung zur Nutzung der Schiffsanlegestelle im Stadthafen Oldenburg. Stadt Oldenburg. Oldenburg: 6 S.
- ¹⁸ Stengl, T. (2017): Die Baugeschichte des Küstenkanals. In: Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord-west (Hrsg.): Zwischen Weser und Ems 44. Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nordwest. Aurich: 23-30.
- ¹⁹ WNA, Wasserstraßen-Neubauamt Datteln (2023): Sachbereich 3. Bau des Gewässerbettes. <https://wna-datteln.wsv.de/Webs/WNA/WNA-Datteln/DE/WNA-Datteln/UeberUns/Organigramm/Sachbereich3.html> (Letzter Zugriff: 09.06.2023)
- ²⁰ WSA, Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Weser-Jade-Nordsee (2023): Schleusen und Wehre. Schleuse Oldenburg. https://www.wsa-weser-jade-nordsee.wsv.de/Webs/WSA/Weser-Jade-Nordsee/DE/Wasserstrassen/BauwerkeSeezeichen/Schleusen/schleusenund-wehre_node.html;jsessionid=5B41702415A0D5110D90EE61ED394BE7.live21322#doc1729962bodyText3 (Letzter Zugriff: 09.06.2023)
- ²¹ Galil, B., Nehring, S., Panov, V. (2007): Waterways as Invasion Highways – Impact of Climate Change and Globalization. In: Nentwig, W. (Hrsg.): *Biological Invasions*. Springer, Berlin: 59-74.
- ²² ELWIS, Elektronischer Wasserstraßen-Informationsservice des WSV (2023): Karte der Bundeswasserstraßen und Schleusen. <https://via.bund.de/wsv/elwis/map/> (Letzter Zugriff: 30.05.2023)
- ²³ BfG, Bundesanstalt für Gewässerkunde (2022): Karten zum 3. WRRL-Bewirtschaftungsplan (Stand 14.04.2022). <https://geoportal.bafg.de/karten/wfdmaps2022/#> (Letzter Zugriff: 04.12.2023)

4.2.8 Main-Donau-Kanal

Allgemeine Beschreibung

Der Main-Donau-Kanal (MDK) ist ein wichtiger Bestandteil der transeuropäischen Wasserstraße und schafft eine Verbindung von der Nordsee bei Rotterdam bis zum Schwarzen Meer in Rumänien ^{6,30} (Tab. 9). Der MDK verbindet den Main bei Bamberg und die Donau bei Kelheim (Bamberg → Hausen → Nürnberg → Scheitelhaltung → Kelheim) und überquert dabei östlich von Hilpoltstein die europäische Wasserscheide zwischen den Flusssystemen Rhein und Donau ^{19,26,30}. Am Kanal befinden sich die Binnenhäfen Nürnberg und Kelheim ³⁰. Die

Auslastung des Kanals mit Containerschiffen ist bis heute relativ gering, was vor allem der niedrigen Durchfahrtshöhe der zahlreichen Brücken von nur 6 m geschuldet ist, und kommt auf eine Güterverkehrsmenge von ca. 3,4 mio. t pro Jahr⁷. Jedoch konnte ein stetiger Zuwachs an Flusskreuzfahrten verzeichnet werden^{5,30}. Auch die allgemeine touristische Bedeutung des MDK z.B. für Motor- und Sportboote und Angelfischerei ist stark gestiegen³⁰. Neben seiner Aufgabe als Wasserstraße wird der Main-Donau-Kanal auch als Wasserüberleitung aus dem regenreichen Donauebiet in das trockenere Main-Gebiet genutzt, und es werden jährlich rund 125 Mio. m³ Wasser aus der Donau umgeleitet³⁰. Pumpwerke an den fünf südlichen Schleusen heben das Wasser über die europäische Wasserscheide zum Rothsee, von wo das gespeicherte Wasser bei Bedarf in das Main-Gebiet abgegeben wird^{3,8,30}.

Tab. 9: Steckbrief des Main-Donau-Kanals

Allgemeine Informationen	
Gewässerkennzahl	DE: 1386 ²
Wasserstraßenklasse	Vb ^{10,12}
Lage	Bayern ¹⁹
Zuständigkeit	Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS): Anhörungs- und Planfeststellungsbehörde ^{12,28} ; WSA Donau MDK: Ausbau, Neubau und Beseitigung von Bundeswasserstraßen; Verkehrsablauf und Verkehrssicherung ^{12,28,29} ; Fischereiverband Oberpfalz e.V. ¹⁴ , Fischereiverband Mittelfranken e.V. ¹³ ; Fischereivereine (Kelheim ²⁰ , Riedenburg ¹ , Dietfurt ²⁵ , Forchheim ¹⁷ , Amberg ¹⁵ , Beilngries ¹⁶): Fischereirecht und Bewirtschaftung
Einzugsgebiete	Rhein – Donau ¹⁹
Korridor	Südlicher Korridor (Nordsee – Schwarzes Meer) ³¹
Überquerung Europ. Hauptwasserscheide	Innerhalb Deutschlands ³¹
Wasseraustausch	Süßwasser – Süßwasser ¹⁹
Wasserkörper	Süßwasser ¹⁹
Gewässergüteklasse	II ⁴
Ökologisches Potenzial	Unbefriedigend bis mäßig ¹¹
schiffbar	Ja ^{6,7,19}
Technische Daten	
Länge	171 km ⁷
Wasserspiegelbreite	55 m ¹⁹
Sohlbreite	31 m ¹⁹
Wassertiefe	4 m ¹⁹
Kanalquerschnitt	Trapezprofil 1:3 ¹⁹

Technische Daten	
Fahrrinntiefe	≤2,70 m ¹⁰
Durchfahrtshöhe	6 m ⁸
Transportleistung	3,4 Mio. t. ⁷
Maximale Schiffsgröße	L:190 m/B:11,45 m/ ^{27,23} T:2,70 m ⁸
Anzahl Schleusen	Hauptkanal: 16 ^{27,19,8}
Schleusentypen	Kammerschleusen mit Sparbecken: ¹⁹ : Bamberg, Strullendorf, Hausen, Erlangen, Kriegenbrunn, Nürnberg, Eibach, Leerstetten, Eckersmühlen, Hilpoltstein, Bachhausen, Berching, Dietfurt Flussschleuse ohne Sparbecken: ¹⁹ : Forchheim, Riedenburg, Kelheim
Schleusentyp Beginn	Keine
Schleusentyp Ende	Flussschleuse ohne Sparbecken (Kelheim)
Größe Schleusenkammern	Hauptkanal: L: 190 m/B: 12 m ²⁷ Hubhöhe Hauptkanal: 5,29-24,67 m ²⁷
Höhenunterschied	243 m ⁸
Weitere technische Bauwerke	8 Kanalbrücken ⁸ 115 Straßen-, Eisenbahn- und Fußgängerbrücken ⁸ 7 Wehre ⁸ 75 km Dämme ⁸ Pumpwerke Schleusen Kelheim, Riedenburg, Dietfurt, Berching, Bachhausen ^{3,8} Kraftwerk Schleuse Hilpoltstein ³ Kraftwerk Schleuse Leerstetten ³ 19 Häfen ³²
Nutzung	
Kommerzielle Nutzung	Binnenschifffahrt ¹⁹ Containerschifffahrt ¹⁹ Flusskreuzfahrten ⁵
Freizeitnutzung	Motor- und Sportboote, Wassermotorräder, Wasserskilaufen, Segelsurfen ¹⁸ Badebetrieb ¹⁸ Angelfischerei zw. Berching und Hilpoltstein, Beilngries ⁸
Artentransfer	Schiffsgebundener Transfer: Nachweis: Weichtiere (Mollusca) ^{3,22} Gliederfüßer (Arthropoda) ^{23,9} Ringelwürmer (Annelida) ²² Fische (Pisces) ^{3,21} Annahme: Wimpertierchen (Ciliophora) ²⁴ Schiffsungebundener Transfer: Nachweis: Weichtiere (Mollusca) ^{3,22} Gliederfüßer (Arthropoda) ^{23,9}

Nutzung	
Artentransfer (Fortsetzung)	Fische (Pisces) ^{3,21} Unbekannt: Nachweis: Plattwürmer (Platyhelminthes) ²²
Weitere Nutzung	Wasserüberleitung aus dem Donauegebiet nach Nordbayern ^{3,30}

Literatur:

- ¹ Altmühl-Fischerei-Verein Riedenburg e.V. (2023): RMD-Kanal K1-K7. <http://www.afv-riedenburg.de/rmd-kanal-k1-k7.html> (Letzter Zugriff: 06.03.2023)
- ² LfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt (2016): Verzeichnis der Bach- und Flussgebiete in Bayern. Flussgebiet Lech bis Naab. LfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt. Hof: 137 S.
- ³ StMUV, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2018): Wasser für Franken. Die Überleitung Donau-Mai. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz. München: 120 S.
- ⁴ Blondzig, K., Rechenberg, B.: Die Wasserqualität unserer Flüsse. Nationatlas Bundesrepublik Deutschland – Relief, Boden, Wasser. LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. Potsdam: 134-135
- ⁵ BfG, Bundesanstalt für Gewässerkunde & Planco GmbH (2007): Vergleich der Verkehrsträger Schiff, Straße, Schiene (verkehrswirtschaftlich und ökologisch). Bundesanstalt für Gewässerkunde. Koblenz: 517 S.
- ⁶ BDB, Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V. (2017): Daten & Fakten 2016/2017. Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V. Duisburg: 2 S.
- ⁷ BDB, Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V. (2022): Daten & Fakten 2021-2022. Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V. Duisburg: 7 S.
- ⁸ DWSV, Deutscher Wasserstraßen- und Schifffahrtsverein Rhein-Main-Donau e.V. (2023): Main-Donau-Kanal Daten & Fakten. <https://www.schifffahrtsverein.de/daten-und-fakten/> (Letzter Zugriff: 23.02.2023)
- ⁹ Eggers, T., Martens, A. (2008): Neozoische Amphipoda in Deutschland: eine aktuelle Übersicht. Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 2007, 24.-28. September 2007. DGL – Deutsche Gesellschaft für Limnologie. Münster: 5 S.
- ¹⁰ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2013): Abladetiefen/Fahrrinntiefen nach BinSchStrO und Schifffahrtspolizeiverordnung und schifffahrtspolizeilichen Anordnungen (Kernnetz der Netzkategorisierung). Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.
- ¹¹ BfG, Bundesanstalt für Gewässerkunde (2022): Karten zum 3. WRRL-Bewirtschaftungsplan (Stand 14.04.2022). <https://geoportal.bafg.de/karten/wfdmaps2022/#> (Letzter Zugriff: 04.12.2023)
- ¹² FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2021). Übersicht der Dienstorte der WSV. Nr. w161a. Wasserstraße- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Bonn: 1 S.
- ¹³ Fischereiverband Mittelfranken e.V. (2023): Main-Donau-Kanal (Europakanal). <https://fv-mfr.de/rhein-main-donau-kanal/> (Letzter Zugriff: 06.03.2023)
- ¹⁴ Fischereiverband Oberpfalz (2023): Verbandsgewässer Main-Donau-Kanal. <https://www.fischereiverband-oberpfalz.de/verbandsgewaesser/main-donau-kanal/> (Letzter Zugriff: 23.02.2023)

- ¹⁵ Fischerei-Verein Amberg 1893 e.V. (2023): Verbandsgewässer. https://www.fischereiverein-amberg.de/portfolio_page/main-donau-kanal/ (Letzter Zugriff: 06.03.2023)
- ¹⁶ Fischereiverein-Beilngries e.V. (2023): Rhein-Main-Donau Kanal. <https://www.fischereiverein-beilngries.de/gewaesser> (Letzter Zugriff: 06.03.2023)
- ¹⁷ Fischereiverein Forchheim e.V. (2023): MD-Kanal und Altwasser. <https://www.fischereiverein-forchheim.de/md-kanal-und-altwasser/> (Letzter Zugriff: 06.03.2023)
- ¹⁸ GDWS, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (2020): Hinweise für Wassersportler auf den Bundeswasserstraßen Main, Main-Donau-Kanal und Donau. Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt. Bonn: 64 S.
- ¹⁹ Glas, C. (1995): Der Main-Donau-Kanal: eine wirtschaftsgeographische Neubewertung. *Europa Regional*, 3/1995: 21-31.
- ²⁰ Kreisfischereiverein Kelheim e.V. (2023): Altmühl und Rhein-Main-Donau-Kanal. <https://www.kfv-kelheim.de/2022/07/06/altmuehl-und-rhein-main-donau-kanal/> (Letzter Zugriff: 06.03.2023)
- ²¹ Nehring, S., Rabitsch, W., Kowarik, I., Essl, F. (Hrsg.) (2015): Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde Wirbeltiere. *BfN-Skripten* 409: 222 S.
- ²² Rabitsch, W., Nehring, S. (2017): Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde aquatische Pilze, Niedere Pflanzen und Wirbellose Tiere. *BfN-Skripten* 458: 220 S.
- ²³ Reinhold, M., Tittizer, T. (1998): *Limnomysis benedeni* Czern iavsky 1882 (Crustacea: Mysidacea), ein weiteres pontokaspisches Neozoon im Main-Donau-Kanal. *Lauterbornia* 33: 37-40.
- ²⁴ Schödel, H. (1998): Epizoische Wimpertiere (Ciliophora: Peritrichia) auf Neozoen aus dem Main-Donau-Kanal. *Lauterbornia* 33: 41-44.
- ²⁵ Sportangler Dietfurt e.V. (2023): Der RDM-Kanal. <https://www.sportangler-dietfurt.de/home/gew%C3%A4sser-bilder-ausgabestellen/der-rmd-kanal/> (Letzter Zugriff: 06.03.2023)
- ²⁶ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2023): Der Main-Donau-Kanal. https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/wasserstrassen/01_bundeswasserstrassen/MainDonauWasserstrasse/MDK.html (Letzter Zugriff: 23.02.2023)
- ²⁷ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2020): Streckenatlas Main-Donau-Kanal von km 0 (Bischberg) bis km 171 (Kelheim). Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt, Bonn: 6 S.
- ²⁸ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2023): Planfeststellung. <https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/wasserstrassen/planfeststellung/planfeststellung-node.html> (Letzter Zugriff: 06.03.2023)
- ²⁹ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, WSA Donau MDK (2023): Der Main-Donau-Kanal. https://www.wsa-donau-mdk.wsv.de/Webs/WSA/Donau-MDK/DE/Donau_MDK/Donau_MDK_text.html (Letzter Zugriff: 06.03.2023)
- ³⁰ WIGES, Wasserbauliche Infrastrukturgesellschaft mbH (2023): Die höchstgelegene Wasserstraße Europas. <https://www.wiges-gmbh.de/unternehmen/main-donau-kanal/> (Letzter Zugriff: 23.02.2023)
- ³¹ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2023): Karte der Gewässereinzugsgebiete und Bundeswasserstraßen. <https://via.bund.de/wsv/desktop/map/?parameter=visible&value=ezg> (Letzter Zugriff: 05.05.2023)
- ³² ELWIS, Elektronischer Wasserstraßen-Informationsservice des WSV (2023): Karte der Bundeswasserstraßen und Schleusen. <https://via.bund.de/wsv/elwis/map/> (Letzter Zugriff: 30.05.2023)

4.2.9 Mittellandkanal

Allgemeine Beschreibung

Der Mittellandkanal (MLK) ist ein zentraler Teil der einzigen West-Ost-Wasserstraße Norddeutschlands und überquert die Flusstäler Hase → Leine → Weser → Aller → Elbe und verläuft im östlichen Teil durch den Drömling, ein Naturschutzgebiet^{5,24} (Tab. 10). Die Wasserscheide zwischen Ems und Weser überwindet er dabei ohne Schleusen⁵. Der MLK verbindet die Einzugsgebiete des Rheins, der Ems, der Elbe und der Weser und stellt eine Verbindung zu den osteuropäischen Wasserstraßen her⁵. Der Kanal berührt die Industriegebiete Ibbenbüre, Minde, Hannover, Braunschweig und Magdeburg und bindet über fünf Stich- und drei Verbindungskanäle weitere Industrie- und Gewerbegebiete wie Osnabrück, Hannover-Minden, Hannover-Misburg, Hildesheim und Salzgitter an den Hauptkanal an²⁴. Das Verkehrsaufkommen ist auf dem gesamten Kanal hoch und die Berufsschifffahrt, mit einem Güteraufkommen von jährlich 17,9 mio. t., beachtlich⁴. Der Kanal wird sowohl von Containerschiffen zum Gütertransport als auch von Ausflugsschiffen und Motor- und Sportbooten genutzt¹³.

Tab. 10: Steckbrief des Mittellandkanals

Allgemeine Informationen	
Gewässerkennzahl	DE: 73101 ⁶
Wasserstraßenklasse	Vb/IV ¹⁰
Lage	Nordrhein-Westfalen; Niedersachsen; Sachsen-Anhalt ^{8,10}
Zuständigkeit	WSA Mittellandkanal/Elbe-Seitenkanal: Verwaltung ¹⁰ Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS): Fachaufsicht ^{10,6} WNA Helmstedt: Ausbau, Neubau und Beseitigung von Bundeswasserstraßen; Verkehrsablauf und Verkehrssicherung ^{10,31} Angelsportverein Hillerse e.V. 3, Klub Braunschweiger Fischer ¹⁸ , Fischereiverein Hannover e.V. ¹² , Angelsportverein Rheine e.V. ² , Sportfischereiverein e.V. Lübbecke ²⁶ , Niedersächsisch-Westfälische Anglervereinigung e.V. ²² : Fischereirecht und Bewirtschaftung
Einzugsgebiete	Ems – Weser/Weser – Elbe ^{5,8}
Korridor	Keiner ³⁵
Überquerung Europ. Hauptwasserscheide	Nein ³⁵
Wasseraustausch	Süßwasser – Süßwasser ⁸
Wasserkörper	Süßwasser ⁸
Gewässergüteklasse	II/II-III ⁷
Ökologisches Potenzial	Mäßig oder nicht klassifiziert ³⁷
schiffbar	Ja ^{13,10,4}
Technische Daten	
Länge	325 km ³³
Wasserspiegelbreite	42-55 m ⁵

Technische Daten	
Sohlbreite	31-42 m ¹
Wassertiefe	4 m ⁵
Kanalquerschnitt	Trapezprofil (B:55 m; T:4 m) ³⁰ Rechteckprofil (B:42 m; T:4 m) ³⁰ Rechteck-Trapezprofil (B:48,5 m; T:4 m) ³⁰ Kombiniertes Rechteck-Trapez-Profil (B:42-44,4 m; T:4 m) ³⁰ Profile an vielen Stellen in Kombination ³⁰
Fahrrinntiefe	≤2,80 m ⁹
Durchfahrtshöhe	5,25 m ⁵
Transportleistung	17,9 Mio. t. ⁴
Maximale Schiffsgröße	Wasserstraßenklasse Vb: L:185 m/B:11,40 m/T:4,5m ¹⁰ L:110 m/B:11,40 m/T:2,80 m ²⁸ Wasserstraßenklasse IV: L: 85 m/B: 9,5 m/T: 2,8 m ¹⁰
Anzahl Schleusen	Hauptkanal: 3 ¹³ Stichkanal: 6 ¹³ Verbindungskanäle: 7 ¹³
Schleusentypen	Kammerschleuse mit Sparbecken: Hauptkanal: Hohenwarthe ^{33,13,32} , Anderten ¹³ , Sülfeld ^{33,13} Verbindungskanal: Weserschleuse ^{13,29} , Schachtschleuse Minden ^{13,29} , Unterschleuse Minden ¹⁷ , Rothensee ^{13,34} Kammerschleuse ohne Sparbecken: Verbindungskanal: Leinabstiegsschleuse ¹³ , Oberschleuse Minden ¹⁷ , Schiffshebewerk Rothensee ³³ Stichkanal: Hollage ¹³ , Haste ¹³ , Bolzum ¹³ , Üfingen ¹³ , Wedtlenstedt ¹³ , Hannover-Linden ¹³
Schleusentyp Beginn	Keine
Schleusentyp Ende	Kammerschleuse mit Sparbecken (Hohenwarthe) ^{33,13,32}
Größe Schleusenkammern	Hauptkanal: L: 190-225 m; B: 12-12,5 m ²⁴ Stich- und Verbindungskanäle: L: 82-225 m; B: 10-12,5 m ¹⁷ Hubhöhe Hauptkanal: 9-18,50 m ^{5,24}
Höhenunterschied	14,70 m ^{25, 13}
Weitere technische Bauwerke	245 Düker und Durchlässe ³³ 45 Eisenbahnbrücken ³³ 9 Unterführungen ³³ 72 Häfen ³⁶
Nutzung	
Kommerzielle Nutzung	Containerschifffahrt ¹³

Nutzung	
Freizeitnutzung	Motor- und Sportboote ¹³ Fahrgastschiffe ¹³ Kanus und Ruderboote ¹³ Angelfischerei ^{3,18,12,2,26,22}
Artentransfer	Schiffsgebundener Transfer Nachweis: Weichtiere (Mollusca) ^{21,11} Gliederfüßer (Arthropoda) ^{23,15,19,27,11} Ringelwürmer (Annelida) ^{23,27,11} Plattwürmer (Platyhelminthes) ^{23,15} Fische (Pisces) ^{16,20} Nesseltiere (Cnidaria) ¹² Schiffsungebundener Transfer Nachweis: Weichtiere (Mollusca) ^{21,11} Gliederfüßer (Arthropoda) ^{23,15,19,27,11} Ringelwürmer (Annelida) ^{23,27,11} Fische (Pisces) ^{16,20} Gefäßpflanzen (Tracheophyta) ¹⁴

Literatur:

- ¹ Kernarbeitskreis Weser NRW (2005): Ergebnisbericht Weser NRW. Wasserrahmenrichtlinie in NRW- Bestandsaufnahme. AG WRRRL - Arbeitsgemeinschaft der Wasserrahmenrichtlinie. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf: 443 S.
- ² Anglersportverein Rheine e.V. (2023): Mittellandkanal. https://asv-rheine.de/?page_id=566 (Letzter Zugriff: 25.04.2023)
- ³ ASV Hillerse, Anglersportverein Hillerse e.V. (2023): Mittellandkanal. <https://asv-hillerse.de/mitgliederservice/unsere-gewasser/mittellandkanal/> (Letzter Zugriff: 25.04.2023)
- ⁴ BDB, Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V. (2022): Daten & Fakten 2021-2022. Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V. Duisburg: 7 S.
- ⁵ Beckmann, A., Aue, H., Beckmann, T. (2016): 100 Jahre Mittellandkanal. Jubiläumsschrift zum 100-jährigen Bestehen. Heimatverein Sachsenhagen-Auhagen e.V. Sachsenhagen: 26 S.
- ⁶ Bezirksregierung Detmold (2020): Gewässersteckbriefe Anhang I. Anlage 2. Bezirksregierung Detmold, Dezernat 54. Detmold: 333 S.
- ⁷ Blondzig, K., Rechenberg, B.: Die Wasserqualität unserer Flüsse. Nationatlas Bundesrepublik Deutschland – Relief, Boden, Wasser. LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. Potsdam: 134-135
- ⁸ Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2023): WSV map services and BWaStr routing. https://via.bund.de/wsv/desktop/map/?zoom=10¢er=8.92823%2C52.303011&vl=bwastrwms%2Ctopplus_grau&route_option=bsf (Letzter Zugriff: 25.04.2023)
- ⁹ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2013): Abladetiefen/Fahrrinntiefen nach BinSchStrO und Schifffahrtspolizeiverordnung und schifffahrtspolizeilichen Anordnungen (Kernnetz der Netzkategorisierung). Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.

- ¹⁰ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2022): Klassifizierung der Binnenwasserstraßen des Bundes. Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.
- ¹¹ Fischer, M., Kirchberger, U., Münchenberg, T., Poethke, D., Ols Eggers, T., Heintzmann, A., Sprick, P. (2012): Erfolgskontrolle an der Flachwasserzone Mannhausen am Mittellandkanal. Untersuchungen zur Fauna und Vegetation. Endbericht. Bundesanstalt für Gewässerkunde. Koblenz: 306 S.
- ¹² Fischereiverein Hannover e.V. (2023): Mittellandkanal. <https://www.fvhannover.de/mittellandkanal.html> (Letzter Zugriff: 25.04.2023)
- ¹³ GDWS, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (2020): Hinweise für Wassersportler auf den Bundeswasserstraßen Main, Main-Donau-Kanal und Donau. Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt. Bonn: 64 S.
- ¹⁴ Grabow, K., Ols Eggers, T. (1997): Wasser- und Uferpflanzen des Salzgitter-Stichkanals (Mittellandkanal) bei Braunschweig. *Lauterbornia* 28: 77-83.
- ¹⁵ Haybach, A., Hackbarth, W. (2001): *Dendrocoelum romanodanubiale* (Codreanu) und *Jaeri istri* (Veuille) im Mittellandkanal. *Lauterbornia* 41: 61-62.
- ¹⁶ Heintz, F. (2019): Fremde Fische im Mittellandkanal: „Das ist kein gesundes Ökosystem“. *Wolfsburger Allgemeine Zeitung*. <https://www.waz-online.de/lokales/wolfsburg/fremde-fische-im-mittellandkanal-das-ist-kein-gesundes-oekosystem-V2W7SU74UDANSAMKTEZCLDI7XY.html> (Letzter Zugriff: 25.04.2023)
- ¹⁷ Hunting, K., Borgmann, M., Gläsker, C., Haneklaus, T. (2012): Wirtschaftsfaktor Mittellandkanal und Weser in Minden-Lübbecke. *Industrie- und Handelskammer Ostwestfalen zu Bielefeld*. Minden: 191 S.
- ¹⁸ Klub Braunschweiger Fischer e.V. (2023): Fließgewässer Mittellandkanal. [Onlinequelle] <https://www.klubbraunschweigerfischer.de/gewaesser/fliessgewaesser/mittellandkanal/> (Letzter Zugriff: 25.04.2023)
- ¹⁹ Martens, A., Ols, T., Grabow, K. (1999): Erste Funde von *Pontogammarus robustioides* (Sars) im Mittellandkanal (Crustacea: Amphipoda). *Lauterbornia* 35: 39-42.
- ²⁰ Matteikat, W., Klefoth, T., Emmrich, M. (2016): Charakteristika zweiter Populationen der Schwarzmundgrundel *Neogobius melanostomus*, Pallas 1814 im Mittellandkanal. *Lauterbornia* 81: 163-174.
- ²¹ Müller, R., Anlauf, A., Schleuter, M. (2005): Nachweise der Neozoe *Menetus dilatatus* (Gould, 1841) in der Oberelbe, Mittelelbe, dem Mittellandkanal und dem Nehmitzsee (Sachsen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg) (Gastropoda: Planorbidae). *Malak. Abh.* 23/2005: 77-85.
- ²² NWA, Niedersächsisch-Westfälische Anglervereinigung e.V. (2023): Gewässer/Kanalstrecken. <https://www.nwaev.de/index.php?section=gew&Param=&M=13&gewaess=kanal> (Letzter Zugriff: 25.04.2023)
- ²³ Rabitsch, W., Nehring, S. (2017): Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde aquatische Pilze, Niedere Pflanzen und Wirbellose Tiere. *BfN-Skripten* 458: 220 S.
- ²⁴ Rodenburg, H. & Krutzke, W. (2014): Informationen zu Mittellandkanal. DRV Deutscher Ruderverband. https://gewaesser.rudern.de/informationen_zum_mittellandkanal (Letzter Zugriff: 24.04.2023)
- ²⁵ Schönebaum, Jörg (2003): Wasserstraßenkreuz Magdeburg. *Der Mittellandkanal*. <http://www.wasserstrassenkreuz.de/mittellandkanal.html> (Letzter Zugriff: 24.04.2023)
- ²⁶ Sportfischereiverein e.V. Lübbecke (2023): Unsere Gewässer. Mittellandkanal. <https://www.sfv-llk.de/index.php/unsere-gewaesser> (Letzter Zugriff: 25.04.2023)

- ²⁷ Tittizer, T., Schöll, F., Banning, M., Haybach, A., Schleuter, M. (2000): Aquatische Neozoen im Makrozoobenthos der Binnenwasserstraßen Deutschland. *Lauterbornia* 39: 1-72.
- ²⁸ WNA, Wasserstraßen-Neubauamt Hannover (1992): Ausbau des Mittellandkanales. Stadtstrecke Hannover. Wasserstraßen- Neubauamt Hannover. Hannover: 4 S.
- ²⁹ WNA, Wasserstraßen- Neubauamt Hannover (2023): Weserschleuse Minden. https://www.wna-hannover.wsv.de/Webs/WNA/NBA-Hannover/DE/Projekte/abgeschlossene/Weschleuse_Min-den/minden_text.html (Letzter Zugriff: 24.04.2023)
- ³⁰ WNA, Wasserstraßen- Neubauamt Hannover (2013): Der Ausbau des Mittellandkanals – Stadtstrecke und Südhafen Haldensleben. Wasserstraßen- Neubauamt Hannover. Hannover: 6 S.
- ³¹ WNA, Wasserstraßen-Neubauamt Helmstedt (2023): Stichkanal nach Salzgitter. Zukunftsträchtiger Ausbau einer Bundeswasserstraße. https://www.wna-helmstedt.wsv.de/Webs/WNA/WNA-Helmstedt/DE/Projekte/03_Stichkanal_Salzgitter/Stichkanal_Salzgitter_node.html (Letzter Zugriff: 24.04.2023)
- ³² WSA, Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Elbe (2023): Doppelsparschleuse Hohenwarthe. https://www.wsa-elbe.wsv.de/Webs/WSA/Elbe/DE/Wasserstrassen/04_WasstrkreuzMagdeburg/02_Doppelsparschleuse_Hohenwarthe/Doppelsparschleuse_Hohenwarthe_node.html (Letzter Zugriff: 24.04.2023)
- ³³ WSA, Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Mittellandkanal/Elbe-Seitenkanal (2023): Mittellandkanal. https://www.wsa-mittellandkanal-elbe-seitenkanal.wsv.de/Webs/WSA/Mittellandkanal-ESK/DE/Wasserstrassen/Bundeswasserstrassen/Mittellandkanal/Mittellandkanal_node.html (Letzter Zugriff: 25.04.2023)
- ³⁴ WSA, Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Elbe (2023): Sparschleuse Rothensee. https://www.wsa-elbe.wsv.de/Webs/WSA/Elbe/DE/Wasserstrassen/04_WasstrkreuzMagdeburg/03_Sparschleuse_Rothensee/Sparschleuse_Rothensee_node.html (Letzter Zugriff: 24.04.2023)
- ³⁵ Galil, B., Nehring, S., Panov, V. (2007): Waterways as Invasion Highways – Impact of Climate Change and Globalization. In: Nentwig, W. (Hrsg.): *Biological Invasions*. Springer, Berlin: 59-74.
- ³⁶ ELWIS, Elektronischer Wasserstraßen-Informationsservice des WSV (2023): Karte der Bundeswasserstraßen und Schleusen. <https://via.bund.de/wsv/elwis/map/> (Letzter Zugriff: 30.05.2023)
- ³⁷ BfG, Bundesanstalt für Gewässerkunde (2022): Karten zum 3. WRRL-Bewirtschaftungsplan (Stand 14.04.2022). <https://geoportal.bafg.de/karten/wfdmaps2022/#> (Letzter Zugriff: 04.12.2023)

4.2.10 Nord-Ostseekanal

Allgemeine Beschreibung

Der Nord-Ostseekanal (NOK) ist seit über 125 Jahren eine der wichtigsten Schifffahrtsrouten Nordeuropas und schließt die baltischen Staaten auf kurzem Wege an den internationalen Seeverkehr an¹⁵ (Tab. 11). Der NOK verbindet die Mündung der Elbe in die Nordsee bei Brunsbüttel mit der Kieler Förde in der Ostsee¹⁵. Die Kanalpassage liefert der Schifffahrt dabei eine durchschnittliche Wegeersparnis von 480 km³. Er stellt den einzigen Kanal Deutschlands dar, der von großen Seeschiffen der Klasse VI befahrbar ist¹⁵. An der Anzahl der passierenden Schiffe gemessen, handelt es sich beim NOK um die meistbefahrene künstliche Wasserstraße der Welt¹⁵. Für die deutschen Seehäfen Hamburg, Bremen, Bremerhaven und Wilhelmshaven bietet der NOK eine hervorragende Anbindung ans Hinterland und an das europäische Transportnetz¹⁵. Jährlich werden 85-100 Mio. t Güter über den NOK transportiert^{3,14}. Über den 2,5 km langen Gieselaukanal und die Schleuse Gieselau ist der NOK mit der Eider verbunden^{26,30}. Zusätzlich dient der NOK als größter künstlicher Vorfluter Schleswig-Holsteins und nimmt den

Abfluss von 1530 km² Oberfläche auf, der dann bei Niedrigwasser über die Schleusen in Kiel und Brunsbüttel ins Meer abgegeben wird ¹⁵.

Tab. 11: Steckbrief des Nord-Ostseekanals

Allgemeine Informationen	
Gewässerkennzahl	DE: 5978 ¹⁷
Wasserstraßenklasse	VI ²
Lage	Schleswig-Holstein ¹⁵
Zuständigkeit	WSA Nord-Ostseekanal: Verwaltung ²³ Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS): Fachaufsicht ^{29,27,31} WNA Nord-Ostseekanal: Neubau und Beseitigung von Bundeswasserstraßen; Verkehrsablauf und Verkehrssicherung ¹⁶ Landes Sportfischer Verband Schleswig-Holstein e.V. ⁹ : Fischereirecht und Bewirtschaftung.
Einzugsgebiete	Nordsee – Ostsee ^{3,15,4} ; über Gieselaukanal: Elbe – Eider ⁴
Korridor	Nördlicher- und zentraler Korridor (Potokaspische Meere – Ostsee) ³⁴
Überquerung Europ. Hauptwasserscheide	Außerhalb Deutschlands ³⁴
Wasseraustausch	Brack-/Salzwasser – Brack-/Salzwasser ^{11,12,18}
Wasserkörper	Süß- und Brackwasser ⁶
Gewässergüteklasse	Keine Klassifizierung ⁸
Ökologisches Potenzial	Nicht klassifiziert ³⁶
schiffbar	Ja ^{1,2,3,5,15}
Technische Daten	
Länge	98,6 km ^{3,15}
Wasserspiegelbreite	162 m, Abschnitt Oststrecke (Königsförde – Kiel) 102,5 m ³
Sohlbreite	90 m, Abschnitt Oststrecke (Königsförde – Kiel) 44 m ³
Wassertiefe	11 m ^{3,15}
Kanalquerschnitt	Trapezprofil ⁵
Fahrrinntiefe	Ohne Abladebeschränkung ¹
Durchfahrtshöhe	42 m ³
Transportleistung	ca. 85-100 Mio. t ^{3,14}
Maximale Schiffsgröße	L: 235 m/B: 32,5 m/T: 7,0 m ³ ; Oder: L: 193 m/B: 20 m/T: 9,5 m ³
Anzahl Schleusen	Hauptkanal: 2 ^{2,3,7,13} Verbindungskanäle: 1 ^{26,30}

Technische Daten	
Schleusentypen	Flussschleusen Doppelschleusen: Kiel Holtenau ⁷ , Brunsbüttel ¹³ Kammerschleusen ohne weitere Information: Gieselau ³⁰
Schleusentyp Beginn	Flussschleuse (Brunsbüttel) ¹³
Schleusentyp Ende	Flussschleuse (Kiel Holtenau) ⁷
Größe Schleusenkammern	Hauptkanal: L: 310 m/B: 42 m ^{7,13,15} Verbindungskanäle: L: 65 m/B: 9 m ¹⁹ Hubhöhe Hauptkanal: 3,5 m ¹⁵
Höhenunterschied	0 m ³ , Schleusen nur zum Ausgleich der Gezeiten
Weitere technische Bauwerke	Fahrzeug und Fußgängertunnel Rendsburg ^{3,30} 8 Straßen- und Fußgängerbücken ³⁰ 2 Eisenbahnbrücken ³⁰ 14 Düker und Durchlässe ³⁰ 110 Einleit- /Auslassbauwerke und Schöpfwerke ³⁰ 8 Fährverbindungen ³⁰ und Schwebefähre Rendsburg ³ 10 Häfen ³⁵
Nutzung	
Kommerzielle Nutzung	Containerschifffahrt ³ , Berufsschifffahrt ³ , Binnenhäfen ¹⁵
Freizeitnutzung	Motor- und Sportboote ³ , Yachthäfen ³⁰ Ausflugsschiffe ³⁰ Ruderregattastrecke Breiholz – Rensburg ¹⁰ Angelfischerei ¹³
Artentransfer	Schiffsgebundener Transfer: Nachweis: Fische (Pisces) ^{20,32,33} Ringelwürmer (Annelida) ²⁸ Nesseltiere (Cnidaria) ²⁵ Annahme: Weichtiere (Mollusca) ^{22,32} Gliederfüßer (Arthropoda) ^{28,32} Ringelwürmer (Annelida) ^{28,32} Fische (Pisces) ²¹ Gliederfüßer (Arthropoda) ²⁴ Moostierchen (Bryozoa) ³² Schiffsungebundener Transfer: Nachweis Fische (Pisces) ^{20,33} Annahme: Weichtiere (Mollusca) ²² Gliederfüßer (Arthropoda) ^{28,24} Fische (Pisces) ²¹
Weitere Nutzung	Vorfluter für Schleswig-Holstein ¹⁵

Literatur:

- ¹ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2013): Abladetiefen/Fahrrinntiefen nach BinSchStrO und Schifffahrtspolizeiverordnung und schifffahrtspolizeilichen Anordnungen (Kernnetz der Netzkategorisierung). Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.
- ² FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2022): Klassifizierung der Binnenwasserstraßen des Bundes. Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.
- ³ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, WSA Nord-Ostsee-Kanal (2023): Nord-Ostsee-Kanal. https://www.wsa-nord-ostsee-kanal.wsv.de/Webs/WSA/WSA-Nord-Ostsee-Kanal/DE/1_Wasserstrasse/1_Nord-Ostsee-Kanal/Nord-Ostsee-Kanal_node.html (Letzter Zugriff: 25.05.2023)
- ⁴ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2023): Karte der Gewässereinzugsgebiete und Bundeswasserstraßen. <https://via.bund.de/wsv/desktop/map/?parameter=visible&value=ezg> (Letzter Zugriff: 05.05.2023)
- ⁵ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, WSA Nord-Ostsee-Kanal (2023): Verlauf und Querschnitt des Nord-Ostsee-Kanals https://www.wsa-nord-ostsee-kanal.wsv.de/Webs/WSA/WSA-Nord-Ostsee-Kanal/DE/1_Wasserstrasse/1_Nord-Ostsee-Kanal/b_Verlauf-Querschnitt/Verlauf-Querschnitt_node.html;jsessionid=5E7C9013EEB02E11A30B6BE2CBA06E1F.live11313 (Letzter Zugriff: 25.05.2023)
- ⁶ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, WSA Nord-Ostsee-Kanal (2023): Der Umwelt verpflichtet https://www.wsa-nord-ostsee-kanal.wsv.de/Webs/WSA/WSA-Nord-Ostsee-Kanal/DE/1_Wasserstrasse/1_Nord-Ostsee-Kanal/g_UmweltOekologie/umweltoekologie_node.html;jsessionid=5E7C9013EEB02E11A30B6BE2CBA06E1F.live11313 (Letzter Zugriff: 25.05.2023)
- ⁷ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, WSA Nord-Ostsee-Kanal (2023): Schleusen Kiel-Holtenau https://www.wsa-nord-ostsee-kanal.wsv.de/Webs/WSA/WSA-Nord-Ostsee-Kanal/DE/1_Wasserstrasse/1_Nord-Ostsee-Kanal/a_Schleusen/1_Schleuse_Kiel-Holtenau/Schleusenanlage_Kiel-Holtenau_node.html (Letzter Zugriff: 25.05.2023)
- ⁸ Blondzig, K., Rechenberg, B.: Die Wasserqualität unserer Flüsse. Nationatlas Bundesrepublik Deutschland – Relief, Boden, Wasser. LAWa – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. Potsdam: 134-135
- ⁹ LSFV, Landes Sportfischer Verband Schleswig-Holstein e.V. (2023): LSFV-Gewässer. <https://www.lsfv-sh.de/lsv-gewaesser/> (Letzter Zugriff: 30.05.2023)
- ¹⁰ Touristische Arbeitsgemeinschaft Nord- Ostseekanal e.V. (2023): Canal Cup. <https://www.nok-sh.de/veranstaltungen/canal-cup.html> (Letzter Zugriff: 30.05.2023)
- ¹¹ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, WSA Nord-Ostsee-Kanal (2023): Die wasserwirtschaftliche Bedeutung des NOK. https://www.wsa-nord-ostsee-kanal.wsv.de/Webs/WSA/WSA-Nord-Ostsee-Kanal/DE/1_Wasserstrasse/1_Nord-Ostsee-Kanal/h_Wasserwirtschaftliche_Bedeutung/WasserwirtschaftlicheBedeutung_node.html;jsessionid=EABAF70F0DEC20A4CBE1EF06E49F5211.live21303 (Letzter Zugriff: 25.05.2023)
- ¹² Landeshauptstadt Kiel (2013): Die Kieler Förde. Umweltschutzamt. Kiel: 2 S.
- ¹³ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, WSA Nord-Ostsee-Kanal (2023): Schleuse Brunsbüttel. https://www.wsa-nord-ostsee-kanal.wsv.de/Webs/WSA/WSA-Nord-Ostsee-Kanal/DE/1_Wasserstrasse/1_Nord-Ostsee-Kanal/a_Schleusen/2_Schleuse_Brunsbuettel/Schleusenanlage_Brunsbuettel_node.html (Letzter Zugriff: 25.05.2023)

- ¹⁴ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, GDWS, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (2023): Nord-Ostsee-Kanal. https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/wasserstrassen/01_bundeswasserstrassen/Kueste/NOK.html (Letzter Zugriff: 25.05.2023)
- ¹⁵ Dezernat Öffentlichkeitsarbeit der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (2022): Der Nord-Ostsee-Kanal. Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt. Bonn: 36 S.
- ¹⁶ WNA NOK, Wasserstraßen-Neubauamt Nord-Ostseekanal (2023): WNA Nord-Ostseekanal. https://www.wna-nord-ostsee-kanal.wsv.de/Webs/WNA/WNA-NOK/DE/0_Startseite/WNA-NOK.html (Letzter Zugriff: 30.05.2023)
- ¹⁷ Landesregierung Schleswig-Holstein, Digitaler Atlas Nord (2023): Amtliches Wasserwirtschaftliches Gewässerverzeichnis [Onlinekartenanwendung des Digitalen Gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses (DGFV)]. https://danord.gdi-sh.de/viewer/resources/apps/Wasserland_AWGV/index.html?lang=de#/ (Letzter Zugriff: 23.05.2023)
- ¹⁸ Boehlich, M., Strotmann, T. (2019): Das Elbeästuar 2019 Die Küste 87. KFKI - Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen: 319-341.
- ¹⁹ ELWIS, Elektronischer Wasserstraßen-Informationsservice des WSV (2023): Karte der Bundeswasserstraßen und Schleusen. <https://via.bund.de/wsv/elwis/map/> (Letzter Zugriff: 30.05.2023)
- ²⁰ Hempel, M., Magath, V., Neukamm, R., Thiel, R. (2019): Feeding ecology, growth and reproductive biology of round goby *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) in the brackish Kiel Canal. *Marine Biodiversity* 49 (2): 795-807.
- ²¹ Thiel, R., Schulze, S., Hempel, M., Husemann, M. (2017): Most northerly record of the bighead goby *Ponticola kessleri* (Günther, 1861) in the Elbe River, Germany. *BioInvasions Records* 6 (1): 73-78.
- ²² NABU, Naturschutzbund Schleswig-Holstein (2023): Ein Weichtier macht sich breit. <https://schleswig-holstein.nabu.de/tiere-und-pflanzen/sonstige-arten/26058.html> (Letzter Zugriff: 31.05.2023)
- ²³ GDWS, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (2023): Zuständigkeiten für Bundeswasserstraßen. https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/wasserstrassen/01_bundeswasserstrassen/Zustaendigkeiten/Zustaendigkeiten_node.html. (Letzter Zugriff: 30.05.2023)
- ²⁴ LANa, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Naturschutz, Landschaftspflege und Erholung (2018): Chinesische Wollhandkrabbe – Management- und Maßnahmenblatt zu VO (EO) Nr. 1143/2014. stA „Arten- und Biotopschutz“ der LANa. Kiel: 4 S.
- ²⁵ Jaspers, C., Huwer, B., Weiland-Bräuer, N., Clemmesen, C. (2018): First record of the non-indigenous jellyfish *Blackfordia virginica* (Mayer, 1910) in the Baltic Sea. *Helgoland Marine Research* 72 (1).
- ²⁶ Touristische Arbeitsgemeinschaft Nord- Ostseekanal e.V. (2023): Gieselaukanal. <https://www.nok-sh.de/nok-region/gieselaukanal.html> (Letzter Zugriff: 30.05.2023)
- ²⁷ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2021): Übersicht der Dienstorte der WSV. Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.
- ²⁸ Gollasch, S., Nehring, S. (2006): National checklist for aquatic alien species in Germany. *Aquatic Invasions* 1: 245-269.
- ²⁹ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes: Planfeststellung (2023). <https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/wasserstrassen/planfeststellung/planfeststellung-node.html> (Letzter Zugriff: 09.05.2023)
- ³⁰ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2023): Karte der Bundeswasserstraßen und Wasserstraßendatenbank der WSV (WADABA). https://via.bund.de/wsv/de-sktop/map/?zoom=10¢er=8.92823%2C52.303011&vl=bwastrowms%2Ctopplu_grau&route_option=bsf (Letzter Zugriff: 30.05.2023)

- ³¹ GDWS, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (2023): Aufgaben. https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/gdws/01_ueber-uns/aufgaben/aufgaben-node.html (Letzter Zugriff: 06.06.2023)
- ³² Stefan Nehring, Heiko Leuchs (2000): Neozoen im Makrozoobenthos der Brackgewässer an der deutschen Nordseeküste. *Lauterbornia* 39: 73-116.
- ³³ Nehring, S., Rabitsch, W., Kowarik, I., Essl, F. (Hrsg.) (2015): Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde Wirbeltiere. *BfN-Skripten* 409: 222 S.
- ³⁴ Galil, B., Nehring, S., Panov, V. (2007): Waterways as Invasion Highways – Impact of Climate Change and Globalization. In: Nentwig, W. (Hrsg.): *Biological Invasions*. Springer, Berlin: 59-74.
- ³⁵ ELWIS, Elektronischer Wasserstraßen-Informationsservice des WSV (2023): Karte der Bundeswasserstraßen und Schleusen. <https://via.bund.de/wsv/elwis/map/> (Letzter Zugriff: 30.05.2023)
- ³⁶ BfG, Bundesanstalt für Gewässerkunde (2022): Karten zum 3. WRRL-Bewirtschaftungsplan (Stand 14.04.2022). <https://geoportal.bafg.de/karten/wfdmaps2022/#> (Letzter Zugriff: 04.12.2023)

4.2.11 Oder-Spree-Kanal

Allgemeine Beschreibung

Der Oder-Spree-Kanal (OSK) zweigt kurz vor der Landesgrenze Berlin - Brandenburg aus dem Seddinsee ab und verbindet über die ausgebaute Fürstenwalder Spree und die Schleusen Wernsdorf, Fürstenwalde, Kersdorf und Eisenhüttenstadt die Spree mit der Oder (Tab. 12). Der OSK ist neben dem Oder-Havel-Kanal und dem Finowkanal die dritte Verbindung zwischen den Einzugsgebieten von Elbe und Oder und damit von Nord- und Ostsee^{3,4}. Um den Wasserstand in der Scheitelhaltung des OSK zu halten, wird über den Neuhauser Speisekanal und das Pumpwerk der Schleuse Neuhaus Wasser aus der Spree in den Kanal gepumpt. Wird die Wasserversorgung Berlins in Niedrigwasserzeiten durch die Wasserentnahme in Neuhaus gefährdet, kann dem OSK zusätzlich Wasser aus der Oder über das Pumpwerk Fürstenberg/Oder zugeführt werden³. Am Kanal bei Eisenhüttenstadt liegt der östlichste Binnenhafen Deutschlands, der über Straße und Schiene an das Transportwegenetz angeschlossen ist²¹.

Tab. 12: Steckbrief des Oder-Spree-Kanals

Allgemeine Informationen	
Gewässerkennzahl	DE: 6754 ⁷
Wasserstraßenklasse	III ²
Lage	Brandenburg ^{7,14}
Zuständigkeit	WSA Spree-Havel: Verwaltung ¹² Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS): Fachaufsicht ^{17,12,28} WNA Berlin: Ausbau, Neubau und Beseitigung von Bundeswasserstraßen; Verkehrsablauf und Verkehrssicherung ¹² Landes Anglerverband Brandenburg e.V. ⁹ , Kreis Anglerverband (KAV) Eisenhüttenstadt e.V. ¹⁰ , Müllroser AV 1949 e.V. ¹⁰ : Fischereirecht und Bewirtschaftung
Einzugsgebiete	Elbe – Oder ^{3,4}
Korridor	Zentraler Korridor (Schwarzes Meer – Nordsee) ²⁹

Allgemeine Informationen	
Überquerung Europ. Hauptwasserscheide	Außerhalb Deutschlands ²⁹
Wasseraustausch	Süßwasser – Süßwasser ^{5,14}
Wasserkörper	Süßwasser ⁷
Gewässergüteklasse	II-III ⁸
Ökologisches Potenzial	Unbefriedigend bis mäßig ³⁰
schiffbar	Ja ²
Technische Daten	
Länge	85 km ¹⁶
Wasserspiegelbreite	Keine Informationen
Sohlbreite	Keine Informationen
Wassertiefe	3 m ²⁷
Kanalquerschnitt	Keine Informationen
Fahrrinnentiefe	Nicht klassifiziert ²⁶
Durchfahrtshöhe	4 m ¹⁶
Transportleistung	ca. 0,48 Mio. t ¹³
Maximale Schiffsgröße	L: 67-70 m/B: 8,2-9,0 m/T: 1,6-2,0 m ²
Anzahl Schleusen	Hauptkanal: 4 ³ Stichkanäle: 1 ³
Schleusentypen	Zwillingsschachtschleuse: Eisenhüttenstadt ³ Kammerschleusen: Wernsdorf, Fürstenwalde, Kersdorf, Neuhaus ³
Schleusentyp Beginn	Kammerschleuse (Wernsdorf) ³
Schleusentyp Ende	Zwillingsschachtschleuse (Eisenhüttenstadt) ³
Größe Schleusenammern	Hauptkanal: L: 67,5-130 m/ B: 8,6-12 m ³ Verbindungsanäle: L: 41,90 m / B: 9,38 m ³ Hubhöhe Hauptkanal: 0,93-14,30 m ³
Höhenunterschied	14,3 m ³
Weitere technische Bauwerke	24 Straßen- und Fußgängerbrücken ²³ 6 Eisenbahnbrücken ²³ 6 Rohr- und Materialtransportbrücken ²³ 59 Düker und Durchlässe ²³ 1 Wehr ²³ 1 Hafen ²¹

Nutzung	
Kommerzielle Nutzung	Containerschifffahrt ^{2,21} , Berufsschifffahrt ^{2,1,21} Binnenhäfen ²¹
Freizeitnutzung	Motor- und Sportboote ¹⁵ , Yachthäfen ²² Ausflugsschiffe ²⁴ Kanus und Ruderboote ⁶ Angelfischerei ^{9,10}
Artentransfer	Schiffsgebundener Transfer: Nachweis: Weichtiere (Mollusca) ¹⁹ Gliederfüßer (Arthropoda) ^{18,19} Fische (Pisces) ¹⁹ Ringelwürmer (Annelida) ¹⁹ Annahme: Weichtiere (Mollusca) ^{19,20} Gliederfüßer (Arthropoda) ^{19,18,25} Ringelwürmer (Annelida) ¹⁹ Strudelwürmer (Turbelaria) ¹⁹ Schiffsungebundener Transfer: Annahme: Fische (Pisces) ¹⁹ Weichtiere (Mollusca) ^{19,20} Gliederfüßer (Arthropoda) ^{19,18} Ringelwürmer (Annelida) ¹⁹ Strudelwürmer (Turbelaria) ¹⁹
Weitere Nutzung	Keine

Literatur:

- ¹ Starken, Gordon (2023): 125 Jahre Oder-Spree-Kanal. <https://www.oder-spree-kanal.de/history.html> (Letzter Zugriff: 15.05.2023)
- ² FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2022): Klassifizierung der Binnenwasserstraßen des Bundes. Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.
- ³ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes: Schleusenanlagen am Oder-Spree-Kanal. Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt. Bonn: 14 S.
- ⁴ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2023): Karte der Gewässereinzugsgebiete und Bundeswasserstraßen. <https://via.bund.de/wsv/desktop/map/?parameter=visible&value=ezg> (Letzter Zugriff: 15.05.2023)
- ⁵ APW, Auskunftsplattform Wasser des Land Brandenburg (2021): WRRRL-Steckbrief für den Oberflächenwasserkörper Oder-2. LfU – Landesamt für Umwelt. Potsdam: 7 S.
- ⁶ Rodenburg, Heike, DRV, Deutscher Ruderverband e.V. (2019): Gewässerkatalog des Deutschen Ruderverband e.V. Oder-Spree-Kanal. <https://gewaesser.rudern.de/oder-havel-kanal> (Letzter Zugriff: 05.05.2023)
- ⁷ APW, Auskunftsplattform Wasser des Land Brandenburg (2021): WRRRL-Steckbrief für den Oberflächenwasserkörper Oder-Spree-Kanal-222. LfU – Landesamt für Umwelt. Potsdam: 6 S.

- ⁸ Blondzig, K., Rechenberg, B.: Die Wasserqualität unserer Flüsse. Nationatlas Bundesrepublik Deutschland – Relief, Boden, Wasser. LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. Potsdam: 134-135
- ⁹ LAVB, Landesanglerverband Brandenburg e.V. (2023): Gewässerkarte. <https://www.lavb.de/gwsmaps/> (Letzter Zugriff: 05.05.2023)
- ¹⁰ KAV Eisenhüttenstadt, Kreisanglerverband Eisenhüttenstadt e.V. (2023) Gewässerverzeichnis. <http://www.kav-eisenhuettenstadt.de/verbands-gewaesser.html> (Letzter Zugriff: 15.05.2023)
- ¹¹ KAV Eisenhüttenstadt, Kreisanglerverband Eisenhüttenstadt e.V. (2023) Unsere Partner und zugehörige Vereine. <http://www.kav-eisenhuettenstadt.de/unsere-partner-.html> (Letzter Zugriff: 05.05.2023)
- ¹² FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2021): Übersicht der Dienstorte der WSV. Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.
- ¹³ WSV, Wasserstraßen und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2022): Verkehrsbericht 2020: 63 S.
- ¹⁴ APW, Auskunftsplattform Wasser des Land Brandenburg (2021): WRRL-Steckbrief für den Oberflächenwasserkörper Spree-1743. LfU – Landesamt für Umwelt. Potsdam: 6 S.
- ¹⁵ WSA, Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Oder-Havel (2018): Wassersport auf Bundeswasserstraßen zwischen Elbe und Oder: 114 S.
- ¹⁶ Gemeinde Ziltendorf (2017): Der Oder-Spree-Kanal. <https://ziltendorf.com/kanal.html> (Letzter Zugriff: 15.05.2023)
- ¹⁷ WSV, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes: Planfeststellung (2023). <https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/wasserstrassen/planfeststellung/planfeststellung-node.html> (Letzter Zugriff: 09.05.2023)
- ¹⁸ Müller, O., Zettler, M., Gruszka, P. (2001): Ausbreitung und Status von *Dikerogammarus villosus* (Sovinski 1894)(Crustacea: Amphipoda) in der mittleren und unteren Strom-Oder und den angrenzenden Wasserstraßen. *Lauterbornia* 41: 105-112.
- ¹⁹ Müller, R., Wolter, C., Peschel, T. (2018): Neobiota in Berliner Gewässern im Jahr 2018. Wirbellose Tiere, Fische und Wasserpflanzen. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Abteilung Integrativer Umweltschutz Referat Wasserrecht, Wasserwirtschaft und Geologie, Fachbereich Wasserwirtschaft, Wasserrahmenrichtlinie, Hochwasserschutz (II B 24). Berlin: 147 S.
- ²⁰ Müller, O., Herpich, J., Rosenberger, S., Möller, F., Müller, N., Noske, M., Jähnert, K. (2007): Klimatisch begrenzte Invasion nach Osten?–Aktuelles Verbreitungsmuster von *Corbicula fluminea* in der Strom-Oder (Brandenburg). *Lauterbornia* 59: 133-139.
- ²¹ Hafenbetriebsgesellschaft mbH Eisenhüttenstadt (2023): Der Hafen Eisenhüttenstadt. <https://www.hafen-ehst.de/> (Letzter Zugriff: 15.05.2023)
- ²² Seenland Oder-Spree e.V. (2023): Marina Schlaubetal. <https://www.seenland-oder-spree.de/poi/marina-schlaubetal> (Letzter Zugriff: 15.05.2023)
- ²³ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2023): Karte der Bundeswasserstraßen und Wasserstraßendatenbank der WSV (WADABA). https://via.bund.de/wsv/de-sktop/map/?zoom=10¢er=8.92823%2C52.303011&vl=bwastwms%2Ctoppluss_grau&route_option=bsf (Letzter Zugriff: 05.05.2023)
- ²⁴ TMB, Tourismus-Marketing Brandenburg GmbH (2023): Reiseland Brandenburg: MS Charlston. https://www.reiseland-brandenburg.de/poi/seenland-oder-spree/ausflugsschiffahrt/ms-charleston/?no_cache=1 (Letzter Zugriff: 15.05.2023)

- ²⁵ Müller, O., Hertel, A. (2003): Abundanzentwicklung der invasiven Amphipoda *Dikerogammarus villosus* (Sovinski 1894) und *D. cf. haemobaphes* (Eichwald 1841) in der deutschen Oder und den angrenzenden Kanälen (Crustacea; Amphipoda). Schriftenreihe des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Angewandte Wissenschaft Heft 498: 245-249.
- ²⁶ FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2013): Abladetiefen/Fahrrinnen-tiefen nach BinSchStrO und Schifffahrtspolizeiverordnung und schifffahrtspolizeilichen Anordnungen (Kernnetz der Netzkategorisierung). Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.
- ²⁷ TMB, Tourismus-Marketing Brandenburg GmbH (2023): Reiseland Brandenburg: Oder-Spree-Kanal (Angelsee). <https://www.reiseland-brandenburg.de/poi/seenland-oder-spree/angelgewaesser/oder-spree-kanal-angelsee/> (Letzter Zugriff: 15.05.2023)
- ²⁸ GDWS, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (2023): Aufgaben. https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/gdws/01_ueber-uns/aufgaben/aufgaben-node.html (Letzter Zugriff: 06.06.2023)
- ²⁹ Galil, B., Nehring, S., Panov, V. (2007): Waterways as Invasion Highways – Impact of Climate Change and Globalization. In: Nentwig, W. (Hrsg.): Biological Invasions. Springer, Berlin: 59-74.
- ³⁰ BfG, Bundesanstalt für Gewässerkunde (2022): Karten zum 3. WRRL-Bewirtschaftungsplan (Stand 14.04.2022). <https://geoportal.bafg.de/karten/wfdmaps2022/#> (Letzter Zugriff: 04.12.2023)

4.3 Priorisierungskonzept für Kanäle

Das hier vorgestellte Priorisierungskonzept richtet sich danach, ob bestimmte ausschlaggebende Kriterien, die besonders zur Ausbreitung invasiver Arten über künstliche Wasserwege beitragen, von einem Kanal erfüllt werden oder nicht. Dabei werden die Kanäle, die alle vier Grundkriterien erfüllen, im Weiteren im Rahmen des Hauptkriteriums in vier Priorisierungsstufen eingeteilt. Priorität 1 entspricht der höchsten Priorisierungsstufe, Priorität 4 der niedrigsten. Da das Konzept im Rahmen einer Maßnahme des deutschen Aktionsplans zu invasiven Arten entwickelt wurde, ist es auf Deutschland zugeschnitten. Soll das Konzept davon losgelöst eingesetzt werden, muss es gegebenenfalls auf die örtlich geltenden Gesetzgebungen und Gewässer angepasst werden.

Kriterien, anhand derer die Priorisierung eines Kanals festgelegt wird

Grundkriterien:

- Künstliches Oberflächengewässer
- Verbindung von mindestens zwei natürlichen und/oder künstlichen Oberflächenwasserkörpern
- Keine relevante technische oder ökologische Barrierewirkung bei der Verbindung vorhanden
- Eigenständige oder strömungsbedingte Bewegung von Arten entlang der Verbindung belegt oder sehr wahrscheinlich

Hauptkriterium:

Priorität 1: Direkte Überquerung der europäischen Hauptwasserscheide durch die Verbindung innerhalb Deutschlands

Priorität 2: Erste Kanalverbindung auf deutschem Staatsgebiet entlang der Invasionskorridore, die die europäische Hauptwasserscheide außerhalb Deutschlands überqueren.

Priorität 3: Verbindung von mindestens zwei Einzugsgebieten von Flüssen, Übergangsgewässern und/oder Küstengewässern

Priorität 4: Verbindung innerhalb eines Einzugsgebiets von Flüssen, Übergangs- und Küstengewässern

4.3.1 Grundkriterien

Grundkriterium 1: Künstliches Oberflächengewässer

Bei einem künstlichen Oberflächengewässer handelt es sich um ein durch den Menschen geschaffenes oberirdisches Binnengewässer (Europäische Gemeinschaft 2000). Teilweise werden im Kanalbau jedoch bestehende Fluss- und Bachtäler für Streckenabschnitte genutzt, die dann durch neu geschaffene Abschnitte ergänzt werden, um natürliche Geländebarrieren zu überwinden. Die aus diesem Projekt resultierenden Empfehlungen für Maßnahmen beschränken sich auf künstliche Gewässer, die ohne anthropogenes Eingreifen nicht vorhanden wären. Die in der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) geforderte ökologische Durchgängigkeit für natürliche Gewässer kommt hier somit nicht zum Tragen (Europäische Gemeinschaft 2000, Scholten et al. 2010). Lediglich Abschnitte künstlicher Gewässer, die die Abflussfunktion natürlicher Fließgewässer übernehmen, sind in Bezug auf die Notwendigkeit zum Erhalt oder der Wiederherstellung der Durchwanderbarkeit zu überprüfen (Scholten et al. 2010).

Grundkriterium 2: Verbindung von mindestens zwei natürlichen und/oder künstlichen Oberflächenwasserkörpern

Ein künstliches Oberflächengewässer muss der Verbindung von mindestens zwei weiteren Oberflächenwasserkörpern dienen, da erst die Verbindung von Oberflächenwasserkörpern den Transfer von Arten über den Wasserkörper ermöglicht, und damit eine potentielle Maßnahme zur Verhinderung oder Eindämmung der Ausbreitung derselben sinnvoll macht. Ein Oberflächenwasserkörper ist dabei, der Definition der EG-WRRL folgend „...ein einheitlicher und bedeutender Abschnitt eines Oberflächengewässers“ (Europäische Gemeinschaft 2000). Ob die verbundenen Wasserkörper natürlicher oder künstlicher Art sind, spielt für die Priorisierung keine Rolle. Beispielsweise Stichkanäle, die lediglich Städte oder Industriegebiete an das künstliche Gewässer anschließen, jedoch keine Verbindung zu einem weiteren Wasserkörper schaffen, erfüllen dieses Grundkriterium nicht. Ein Wasserkörper, der die ersten beiden Grundkriterien erfüllt, wird im Weiteren als Kanal bezeichnet.

Grundkriterium 3: Keine relevante technische oder ökologische Barrierewirkung bei der Verbindung vorhanden

Weist ein Oberflächenwasserkörper, der die beiden ersten Grundkriterien erfüllt, eine technische oder ökologische Barriere auf, ist dieser von der weiteren Priorisierung auszunehmen, wenn die Wahrscheinlichkeit des schiffsungebundenen Arttransfers über den betrachteten Wasserkörper als unproblematisch einzustufen ist. Als schiffsungebundener Transfer ist hier die eigenständige oder strömungsbedingte Ausbreitung von Organsimen anzusehen. Ob eine vorhandene Barriere diese Bedingung erfüllt, ist im Einzelfall zu überprüfen, da die Barrierewirkung meist art- oder gruppenspezifisch ist und zusätzlich von den vorherrschenden Umweltbedingungen abhängt. Als technische Barriere gilt z.B. eine der im Kapitel 3 „Maßnahmen in Kanälen“ aufgeführten Technologien. Als ökologische Barriere hat sich ein ausreichend

hoher Unterschied der Salinität der verbundenen Wasserkörper oder der Wasserkörper und des Kanals selbst gezeigt (Galil et al. 2007). Wie hoch der Unterschied im Salzgehalt sein muss, um einen Transfer zu verhindern, ist jedoch organismen- und umweltabhängig. Exemplarisch ist hier der Panamakanal zu nennen, der zwei marine Wasserkörper verbindet, jedoch selbst von Süßwasser gespeist wird. Trotz der Verbindung zweier Ozeane hat sich auf Grund der Unterschiede im Salzgehalt ein sehr geringes Invasionsgeschehen durch den Kanal gezeigt (Galil et al. 2007). Alle Kanäle Deutschlands, die das Mindestkriterium zur Steckbrieferstellung erfüllt haben, weisen nach dem momentanen Wissensstand keine ausreichende technische Barriere auf und verbinden entweder Süß- und Süßwasserkörper oder Übergangs- und Übergangswasserkörper miteinander. Von einer ökologischen Barriere durch den Salinitätsgradienten ist demnach in den behandelten Kanälen für die meisten invasiven Arten nicht auszugehen.

Grundkriterium 4: Eigenständige oder strömungsbedingte Bewegung von Arten entlang der Verbindung belegt oder sehr wahrscheinlich

Wenn bereits Arten eigenständig oder strömungsbedingt über einen Kanal verbreitet wurden, wird dieser mit in die Auswahl zur Priorisierung aufgenommen. Dies gilt insbesondere, wenn es wissenschaftlich überprüfte Nachweise zur Ausbreitung von Arten über den Kanal gibt. Da die Datenlage zur Ausbreitung gebietsfremder Arten über Kanäle nicht homogen ist (z.B. gut untersuchter Main-Donau-Kanal vs. nicht untersuchter Finowkanal) und so eine bereits stattgefundenen Ausbreitung möglicherweise nicht auszuschließen ist, ist ein Kanal auch dann in die nähere Auswahl zur Priorisierung aufzunehmen, wenn ein vermuteter Arttransfer aus Expertensicht als sehr wahrscheinlich einzuschätzen ist. Da die schiffsgebundenen Einbringungs- und Ausbreitungspfade „Ballastwasser“ und „Anlagerung/Bewuchs“ die Ausbreitung vieler Arten entscheidend beeinflussen (Siehe auch Kapitel 2 „Faunen- und Florenttransfer durch Kanäle“), werden diese Pfade im Rahmen des vorliegenden ersten Aktionsplans in gesonderten Maßnahmen von anderer Stelle behandelt (BMU 2021). Die meisten dieser Arten können sich jedoch auch aus eigenem Antrieb oder durch Drift mit der Wasserströmung entlang von Kanälen ausbreiten. Entsprechend spielt die Schifffahrt insofern auch eine verstärkende Rolle bei der schiffsungebundenen Ausbreitung von Arten entlang von Kanälen, dass Schiffe bei ihrer Durchfahrt Strömungen im Kanal verursachen können, die die Ausbreitung von Arten beschleunigen (Davis et al. 2017).

4.3.2 Hauptkriterium mit Priorisierungsstufen

Priorität 1: Direkte Überquerung der europäischen Hauptwasserscheide innerhalb Deutschlands

Die wichtigsten Einbringungs- und später Ausbreitungspfade für invasive aquatische Arten in Europa sind die Kanäle, die die Europäische Hauptwasserscheide überqueren, und die zusammen mit den Flüssen, die sie verbinden, weitreichende Invasionskorridore schaffen (Bij De Vaate et al. 2002, Galil et al. 2007, Ketelaars 2004, Nehring et al. 2015a). Als europäische Hauptwasserscheide wird hier die Trennung der Einzugsgebiete der nördlichen europäischen Meere Atlantik, Nord- und Ostsee und der südlichen europäischen Meere Mittelmeer, Schwarzes- und Kaspisches Meer angesehen (Siehe Abbildung 1). Ausschlaggebend ist hier nicht der Transfer von ausschließlich im Salzwasser lebenden Arten zwischen den Meeren, sondern von Süß- und Brackwasserarten, die in den Flusseinzugsgebieten entlang der Korridore vorkommen. Der nördliche Korridor verbindet über den Wolga-Don-Kanal und den Wolga-Ostsee-Kanal den pontokaspischen Raum mit der Ostsee. Die europäische

Hauptwasserscheide wird mit Hilfe des Wolga-Ostsee-Kanals überschritten, der auf russischem Staatsgebiet liegt (Galil et al. 2007). Der zentrale Korridor verläuft vom Schwarzen Meer über den Fluss Dnieper und den Bug-Prypjat-Kanal (auch Dnjepr/Dnipro-Bug-Kanal genannt) zur Ostsee und über den Vistula-Oder-Kanal und die in Deutschland gelegenen, Oder und Elbe verbindenden Kanäle zur Nordsee. Die Überquerung der europäischen Hauptwasserscheide macht hier der belarussische Bug-Prypjat-Kanal möglich (Bij De Vaate et al. 2002, Galil et al. 2007, Ketelaars 2004). Der südliche Korridor verläuft über die verbundenen Einzugsgebiete von Donau und Rhein. Die europäische Hauptwasserscheide wird durch den deutschen Main-Donau-Kanal überquert (Bij De Vaate et al. 2002, Galil et al. 2007, Ketelaars 2004). Der westliche Korridor verbindet die Gebiete zwischen Mittelmeer und Nordsee über die Einzugsgebiete von Rhône und Rhein. Der für die Überquerung der europäischen Hauptwasserscheide verantwortliche Rhein-Rhône-Kanal liegt auf französischem Staatsgebiet (Galil et al. 2007).



Abb. 1: Karte der Europäischen Hauptwasserscheide (schwarz) und der Invasionskorridore innerhalb Europas (grau). Eigene Darstellung nach Geodaten von (Fogel 2022, GRDC 2020, Lehner und Grill G. 2013). Korridore nach (Bij De Vaate et al. 2002, Galil et al. 2007, Ketelaars 2004). Kartendaten von OpenStreetMap (www.openstreetmap.org/copyright).

Priorität 2: Erste Kanalverbindung auf deutschem Staatsgebiet entlang der Invasionskorridore, die die europäische Hauptwasserscheide überqueren

Der zweiten Priorisierungsstufe sind die Kanäle Deutschlands zuzuordnen, die nicht direkt die europäische Hauptwasserscheide überqueren, die jedoch die erste Verbindung entlang eines Invasionskorridors in ein weiteres Einzugsgebiet auf deutschem Staatsgebiet bilden. In diesem Fall wurde die europäische Hauptwasserscheide bereits in einem anderen Land überquert, der Kanal bietet jedoch die erste Möglichkeit in Deutschland gegen die weitere Ausbreitung gebietsfremder Arten und entlang des Invasionskorridors vorzugehen.

Priorität 3: Verbindung von mindestens zwei Einzugsgebieten von Flüssen, Übergangsgewässern und/oder Küstengewässern

Die Verbindung von Einzugsgebieten durch künstliche Wasserwege ermöglicht den Transfer gebietsfremder Arten über natürliche terrestrische Barrieren hinweg (Galil et al. 2007). Kanäle, die unterschiedliche Einzugsgebiete innerhalb eines Landes verbinden, tragen demnach zur nationalen und internationalen Ausbreitung gebietsfremder Arten bei. Die in Deutschland relevanten Einzugsgebiete von Flüssen, Übergangsgewässern und Küstengewässern sind die von Donau, Eider, Elbe, Ems, Maas, Oder, Rhein, Schlei/Trave und Warnow/Peene, sowie der Übergangsgewässer von Nord- und Ostsee (FGeoWSV 2023). Als Übergangsgewässer gelten die Bereiche eines Gewässers, die auf Grund ihrer Nähe zum Meer einen erhöhten Salzgehalt aufweisen, jedoch hauptsächlich von Süßwasserströmungen beeinflusst werden (Europäische Gemeinschaft 2000).

Priorität 4: Verbindung innerhalb eines Einzugsgebiets von Flüssen, Übergangs- und Küstengewässern

Kanäle, die Wasserkörper innerhalb eines Einzugsgebiets verbinden, sind der Priorisierungsstufe 4 zuzuordnen, da diese die Ausbreitung gebietsfremder Arten innerhalb eines Einzugsgebiets beschleunigen können, indem sie als „Abkürzung“ dienen oder natürliche Migrationsbarrieren umgehen. Die Ausbreitung der Arten innerhalb des Einzugsgebiets wäre jedoch auch ohne die Kanalverbindung möglich.

4.3.3 Sortierung innerhalb der Priorisierungsstufe

Innerhalb der Priorisierungsstufen erfolgt zu diesem Zeitpunkt keine Sortierung der Kanäle, da zur feineren Abstufung der Relevanz der Kanäle für den Arttransfer, eine Vielzahl an Faktoren herangezogen werden muss. Im Einzelfall sind diese abhängig von der betrachteten Zielart und lassen sich damit nicht in einem organismenübergreifenden Betrachtungsrahmen allgemeingültig festlegen. Sind die Zielarten bekannt, ist die Relevanz der Kanäle innerhalb der Priorisierungsstufen z.B. anhand des Salzgehalts der Wasserkörper, die sie verbinden, und der Salztoleranz der Arten zu bewerten. Besonders zur eigenständigen Ausbreitung von Arten über große Distanzen hinweg spielt die Möglichkeit zur Reproduktion eine entscheidende Rolle. Die erfolgreiche Ei- und Larvenentwicklung von Süßwasserarten kann dabei vom Salzgehalt des Wassers abhängen (Greszkiewicz et al. 2022, Grzesiuk & Mikulski 2006, Niemax 2021). Weitere Faktoren, die die Sortierung der Kanäle innerhalb der Priorisierungsstufe beeinflussen können, sind z.B. die Transportleistung der Kanäle und damit die Größe und Anzahl der Schiffe und Schleusen, Wasserströmungen im Kanal, Herkunft und Ausbreitungswege der Zielart sowie die Verfügbarkeit von geeigneten Habitaten entlang des Ausbreitungswegs.

4.4 Priorisierung der deutschen Kanäle

Die für die Durchführung der Priorisierung notwendigen Informationen können den in Kapitel 4.2 aufgeführten Steckbriefen der Kanäle entnommen werden.

Die Grundkriterien zur Priorisierung und die erreichte Priorisierungsstufe sind in Tabelle 2 für alle hier behandelten Kanäle aufgeführt. Die Grundkriterien (GK) 1 bis 3 (GK 1: Künstliches Oberflächengewässer; GK 2: Verbindung von mindestens zwei natürlichen und/oder künstlichen Oberflächenwasserkörpern; GK 3: Keine relevante technische oder ökologische Barrierewirkung bei der Verbindung vorhanden) werden von allen hier aufgeführten Kanälen erfüllt, auch wenn im Text stellenweise nicht auf jedes Grundkriterium eingegangen wird. Eine

ausreichende Barrierewirkung durch eine technische- oder ökologische Barriere ist in keinem der hier untersuchten Kanäle vorhanden. Das Grundkriterium 4 (GK 4: Eigenständige oder strömungsbedingte Bewegung von Arten entlang der Verbindung belegt oder sehr wahrscheinlich) wird von allen Kanälen zumindest so weit erfüllt, dass der eigenständige Arttransfer als sehr wahrscheinlich einzuschätzen ist. Der Main-Donau-Kanal wurde als einziger Kanal Deutschlands der Prioritätsstufe 1 zugeordnet. Sechs Kanäle und somit der Großteil der untersuchten Kanäle wurden der Priorität 2 zugeordnet und vier weitere erhielten die Prioritätsstufe 3. Alle weiteren Kanäle Deutschlands erhalten Prioritätsstufe 4. Diese sind in Tabelle 2 jedoch nicht aufgeführt, da für Kanäle, die nur eine Verbindung innerhalb eines Einzugsgebiets darstellen, keine Steckbriefe erstellt wurden.

Tab. 2: Grund- und Hauptkriterien zur Priorisierung mit erreichter Priorisierungsstufe der Kanäle Deutschlands, die mindestens zwei Einzugsgebiete von Flüssen, Übergangs- und/oder Küstengewässern miteinander verbinden. Ist ein Kriterium erfüllt, ist dieses mit einem grünen Haken markiert. Ist die Erfüllung als sehr wahrscheinlich einzuschätzen, ist der Haken gelb eingefärbt.

GK = Grundkriterium: 1 Künstliches Oberflächengewässer, 2 Verbindung von mindestens zwei natürlichen und/oder künstlichen Oberflächenwasserkörpern, 3 Keine relevante technische oder ökologische Barrierewirkung bei der Verbindung vorhanden, 4 Eigenständige oder strömungsbedingte Bewegung von Arten entlang der Verbindung belegt oder sehr wahrscheinlich

Prio = Priorisierung Hauptkriterium: 1 Direkte Überquerung der europäischen Hauptwasserscheide innerhalb Deutschlands, 2 Erste Kanalverbindung auf deutschem Staatsgebiet entlang der Invasionskorridore, die die europäische Hauptwasserscheide überqueren, 3 Verbindung von mindestens zwei Einzugsgebieten von Flüssen, Übergangsgewässern und/oder Küstengewässern, 4 Verbindung innerhalb eines Einzugsgebiets von Flüssen, Übergangs- und Küstengewässern.

Kanal	Grundkriterien				Hauptkriterium			
	GK 1	GK 2	GK 3	GK 4	Prio 1	Prio 2	Prio 3	Prio 4
Main-Donau-Kanal	✓	✓	✓	✓	✓			
Dortmund-Ems-Kanal	✓	✓	✓	✓		✓		
Elbe-Lübeck-Kanal	✓	✓	✓	✓		✓		
Finow-Kanal	✓	✓	✓	✓		✓		
Nord-Ostsee-Kanal	✓	✓	✓	✓		✓		
Oder-Havel-Kanal	✓	✓	✓	✓		✓		
Oder-Spree-Kanal	✓	✓	✓	✓		✓		
Elbe-Seitenkanal	✓	✓	✓	✓				✓
Ems-Jade-Kanal	✓	✓	✓	✓				✓
Küstenkanal	✓	✓	✓	✓				✓
Mittellandkanal	✓	✓	✓	✓				✓

4.4.1 Priorität 1

Main-Donau-Kanal

Der Main-Donau-Kanal (MDK) erhält als einziger Kanal Deutschlands die Priorität der Stufe 1. Die Grundkriterien „Künstliches Oberflächengewässer“ und „Verbindung von mindestens zwei natürlichen und/oder künstlichen Oberflächenwasserkörpern“ werden durch die künstlich geschaffene Verbindung der Fließgewässer Main und Donau zwischen Bamberg und Kelheim erfüllt. Auch weist der MDK bisher keine ausreichende technische oder ökologische Barrierewirkung auf, da weder der Salzgehalt der verbundenen Gewässerkörper stark unterschiedlich ist noch eine technische Barriere diese Aufgabe übernimmt. Zusätzlich gibt es wissenschaftliche Nachweise über die eigenständige oder strömungsbedingte Fortbewegung von gebietsfremden Arten entlang des MDK aus mehreren Gruppen (Annelida, Mollusca, Amphipoda, Myxidacea, Fische: Reinhold & Tittizer 1998, Eggers & Martens 2008, Nehring et al. 2015b, Rabitsch & Nehring 2017, StMUV 2018). Da der MDK, neben seiner Rolle als Schifffahrtskanal, auch zur Überleitung von Wasser aus dem regenreicheren Donauegebiet in das trockenere Gebiet des Mains genutzt wird, weist der Kanal eine Strömung auf, die die Ausbreitung von Organismen weiter unterstützt (WIGES 2023). Dazu wird Wasser an den fünf südlichen Schleusen des MDK bis zum Rothsee gepumpt, von wo aus es bei Bedarf in das Main Gebiet abgegeben werden kann. Die Einteilung in die Prioritätsstufe 1 erreicht der Main-Donau-Kanal dadurch, dass der Kanal in Bayern bei Hilpoltstein die Europäische Hauptwasserscheide zwischen den Einzugsgebieten der Donau (entwässert ins Schwarze Meer) und des Rheins (entwässert in die Nordsee) überquert. Dadurch wird der südliche Invasionskorridor für invasive aquatische Arten in Europa auf Bundesgebiet geschaffen (Siehe auch: Kapitel 4.3). Über diesen Korridor konnten sich seit der Eröffnung des MDK unter anderem mehrere invasive Grundelarten (Schwarzgrundel *N. melanostomus*, Flussgrundel *N. fluviatilis*, Kesslergrundel *P. kessleri* und Marmorierter Grundel *P. marmoratus*; ICPR 2013), die Körbchen- und Dreikantmuscheln (*Corbicula sp.* und *D. bugensis*) (Bij De Vaate & Hulea 2000, Marescaux et al. 2016, Tittizer & Taxacher 1997) und eine Vielzahl makrozoobenthischer Organismen (Ketelaars 2004, Nehring 2006, Reinhold & Tittizer 1998) ausbreiten. Einige dieser Arten haben in den neu besiedelten Gebieten erhebliche ökologische und ökonomische Schäden verursacht (Brandner et al. 2013, ICPR 2013, Kornis et al. 2012).

4.4.2 Priorität 2

Dortmund-Ems-Kanal

Der Dortmund-Ems-Kanal (DEK) wird der Priorisierungsstufe 2 zugeordnet, da er durch die Verbindung der Einzugsgebiete von Rhein und Ems die deutschen Inlandgewässer an den westlichen Invasionskorridor für invasive aquatische Arten in Europa anschließt. Dieser Korridor überquert mittels des Rhein-Rhône-Kanals die europäische Hauptwasserscheide in Frankreich und ermöglicht so Arten aus den Einzugsgebieten der südlichen europäischen Meere die Ausbreitung in Mittel- und Nordeuropa (Galil et al. 2007). Zusätzlich dient der DEK als Fortsetzung aller anderen Invasionskorridore in Deutschland inklusive einer Anbindung an die ARA-Häfen (Amsterdam, Rotterdam, Antwerpen). Der für die Ausbreitung entscheidende Teil des DEK ist dabei der Kanalabschnitt ab der Mündung des Rhein-Herne-Kanals, da der DEK zu Beginn lediglich als Stichkanal zum Binnenhafen Dortmund verläuft. Der eigenständige oder strömungsbedingte Transfer von gebietsfremden Arten ist für den DEK für Organismen der Gruppen Weichtiere (Deutsch 1990), Gliederfüßer (Schöll 2007) und Fische (Renners 2013) beschrieben.

Elbe-Lübeck-Kanal

Der Elbe-Lübeck-Kanal (ELK) schafft eine indirekte Verbindung des nördlichen Invasionskorridors an die Binnengewässer Deutschlands und erhält entsprechend die Priorisierungsstufe 2. Der nördliche Invasionskorridor überwindet die europäische Hauptwasserscheide mit Hilfe des in Russland gelegenen Wolga-Ostseekanals. Auf Grund des geringen Salzgehalts der östlichen Ostsee, bildet diese für die meisten Süwasserarten keine effektive natürliche Barriere. Zusätzlich könnte der ELK zur weiteren Ausbreitung von Arten beitragen, die über den zentralen Korridor und die Oder in die Ostsee gelangt sind, und andersherum. Der Arttransfer über den Elbe-Lübeck-Kanal ist nicht belegt, es ist jedoch mindestens von der Ausbreitung von Organismen aus den Gruppen Gliederfüßer (LIB 2021) und Fische (LSFV 2022) auszugehen.

Finow-Kanal

Auch der Finowkanal (FK) erhält die Priorisierungsstufe 2. Dieser verläuft parallel zum größeren Oder-Havel-Kanal und verbindet wie dieser die Einzugsgebiete von Elbe und Oder und schafft dadurch den Anschluss an den zentralen- und den nördlichen Invasionskorridor nach Deutschland. Für den Finowkanal gibt es keine direkten Nachweise für die eigenständige Ausbreitung gebietsfremder Arten. Es ist jedoch mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass diese ähnlich wie im benachbarten OHK stattfindet, da der Kanal im Regelfall auf seiner gesamten Länge durchgängig ist und keine bekannten Barrieren für die Artausbreitung aufweist. Zudem wurden bereits gebietsfremde Arten aus mindestens drei Gruppen (Weichtiere, Gliederfüßer, Fische) auf beiden Seiten des Kanals nachgewiesen (Müller et al. 2018, Müller et al. 2001, Müller & Hertel 2003).

Nord-Ostsee-Kanal

Der Nord-Ostsee-Kanal (NOK) erhält die Priorisierungsstufe 2, da er durch die Verbindung der Übergangsgewässer der Elbmündung (Nordsee) und der Kieler Förde (Ostsee) zur Ausbreitung gebietsfremder Arten über den nördlichen- und den zentralen Korridor beitragen kann. Obwohl der Nord-Ostsee-Kanal einen geringeren Salzgehalt aufweist als die Wasserkörper, die er verbindet, reicht dieser für viel invasive Arten nicht aus, um eine natürliche Ausbreitungsbarriere aufrechtzuerhalten. Der eigenständige Transfer gebietsfremder Fische über den NOK ist nachgewiesen (Hempel et al. 2019, Nehring et al. 2015b) und für Organismen aus den Gruppen der Gliederfüßer (Gollasch & Nehring 2006, LANa 2018) und Weichtiere (NABU 2023) als sehr wahrscheinlich einzustufen.

Oder-Havel-Kanal

Der Oder-Havel-Kanal (OHK) überquert durch die Verbindung der Einzugsgebiete von Elbe und Oder die Wasserscheide zwischen Nord- und Ostsee, schließt jedoch zusätzlich durch die Anbindung des Grenzflusses Oder an das deutsche Wasserstraßennetz die Lücke des zentralen Invasionskorridors nach Deutschland (Galil et al. 2007, Ketelaars 2004). Dieser ergibt sich aus der Verbindung der Flüsse Dnieper/Prypjat und Bug über den Bug-Prypjat-Kanal und der Flüsse Vistula und Oder über den Vistula-Oder-Kanal. Dabei wird durch den Bug-Prypjat-Kanal (Belarus) die europäische Hauptwasserscheide überquert, wodurch die Einzugsgebiete des Schwarzen Meers mit denen der Nord- und Ostsee verbunden werden. Zusätzlich können Arten, die über den nördlichen Korridor in die Ostsee gelangt sind, über die Oder und den HOW in deutschen Binnengewässern verbreitet werden. Die Ostsee weist in ihrem östlichen Teil einen sehr geringen Salzgehalt auf, wodurch eine natürliche Barrierewirkung für die meisten Süßwasserarten ausgeschlossen werden kann (IPN 2023). Dies ermöglicht die eigenständige

Ausbreitung gebietsfremder Arten entlang der Korridore über die europäische Hauptwasserscheide hinweg. Der OHK wird demnach der Priorität 2 zugeordnet.

Oder-Spree-Kanal

Der Oder-Spree-Kanal (OSK) verbindet, wie der Oder-Havel-Kanal und der Finowkanal, die Oder mit dem Einzugsgebiet der Elbe und damit mit den deutschen Binnengewässern. Dadurch wird auch in diesem Fall der zentrale Invasionskorridor angebunden, der die europäische Hauptwasserscheide außerhalb Deutschlands überquert. Auch für den OSK gibt es keine Nachweise für den eigenständigen Transfer von Arten, dieser ist jedoch für Fische (Müller et al. 2018), Weichtiere (Müller et al. 2018, Müller et al. 2007), Gliederfüßer (Müller et al. 2018, Müller et al. 2001), Ringelwürmer (Müller et al. 2018) und Strudelwürmer (Müller et al. 2018) anzunehmen.

4.4.3 Priorität 3 und Priorität 4

Priorisierungsstufe 3 erhalten die Kanäle Elbe-Seitenkanal, Ems-Jade-Kanal, Küstenkanal und Mittellandkanal. Diese erfüllen alle Grundkriterien zur Priorisierung, verbinden jedoch lediglich zwei Einzugsgebiete von Flüssen, Übergangs- und/oder Küstengewässern, ohne die erste Kanalverbindung entlang der Invasionskorridore auf deutschem Staatsgebiet darzustellen. In die Priorität 4 fallen alle übrigen Kanäle Deutschlands, für die keine Steckbriefe erstellt wurden.

4.5 Resümee

In Tabelle 3 sind zusammenfassend die Kanäle Deutschlands nach ihrer Priorität und nachfolgend in alphabetischer Reihenfolge aufgeführt, die mindestens zwei Einzugsgebiete miteinander verbinden. Die weitere Sortierung innerhalb der Priorisierungsstufen ist vor der Maßnahmendurchführung in Abhängigkeit der Zielarten und der zugehörigen ausbreitungsrelevanten Faktoren vorzunehmen. Alle weiteren Kanäle Deutschlands sind der Priorisierungsstufe 4 zuzuordnen, da sie lediglich Wasserkörper innerhalb eines Einzugsgebiets verbinden.

Tab. 3: Priorisierungsstufen der Kanäle Deutschlands, die mindestens zwei Einzugsgebiete miteinander verbinden.

Priorität	Name des Kanals
1	Main-Donau-Kanal
2	Dortmund-Ems-Kanal
2	Elbe-Lübeck-Kanal
2	Finow-Kanal
2	Nord-Ostsee-Kanal
2	Oder-Havel-Kanal
2	Oder-Spree-Kanal
3	Elbe-Seitenkanal
3	Ems-Jade-Kanal
3	Küstenkanal
3	Mittellandkanal

Die Kanäle Deutschlands sollten im folgenden Maßnahmenplan zur Verhinderung oder Minimierung des Transfers gebietsfremder Arten über künstliche Wasserwege entsprechend ihrer Einteilung in die hier vorgestellten Priorisierungsstufen behandelt werden. Da von Kanälen einer höheren Priorität ein entsprechend höheres Risiko der Einbringung und Ausbreitung invasiver aquatischer Arten ausgeht, sollten die zur Verfügung stehenden Ressourcen und Mittel verstärkt dort eingesetzt werden.

4.6 Quellen

- Bayrisches Landesamt für Umwelt (2023): Fachlicher Hintergrund. https://www.lfu.bayern.de/wasser/gewaesserverzeichnisse/fachlicher_hintergrund/index.htm (letzter Zugriff: 11.04.2023)
- Bij De Vaate, A., Jazdzewski, K., Ketelaars, H., Gollasch, S., van der Velde, G. (2002): Geographical patterns in range extension of Ponto-Caspian macroinvertebrate species in Europe. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59 (7): 1159-1174.
- Bij De Vaate, A., Hulea, O. (2000): Range extension of the Asiatic clam *Corbicula fluminea* (Müller 1774) in the River Danube: first record from Romania. *Lauterbornia* 38: 23-26.
- BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2021): Bekanntmachung des ersten Aktionsplans über die Prävention und das Management der Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten vom 21. Juni 2021. *Bundesanzeiger, BAnz AT 9.8.2021 B3*: 42 S.
- Brandner, J., Cerwenka, A., Schliewen, U., Geist, J. (2013): Bigger is better: characteristics of round gobies forming an invasion front in the Danube river. *PLoS One* 8 (9): Nr. e73036.
- Busskamp, R., Krahe, P. (2002): Die Hauptflüsse und ihre Einzugsgebiete. *Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland – Relief, Boden und Wasser*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg: 124-125.
- Davis, J., LeRoy, J., Shanks, M., Jackson, P., Engel, F., Murphy, E., Baxter, C., Trovillion, J., McInerney, M., Barkowski, N. (2017): Effects of tow transit on the efficacy of the Chicago Sanitary and Ship Canal Electric Dispersal Barrier System. *Journal of Great Lakes Research* 43 (6): 1119-1131.
- Destatis, S. (2023): Beförderungsleistung im Güterverkehr: 1 S. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Gueterverkehr/Glossar/befoerederungsleistung-gueterverkehr.html> (Letzter Zugriff: 05.04.2024)
- Deutsch, A. (1990): Weitere Nachweise von *Menetus dilatatus* (Gould) (Gastropoda, Pulmonata) in Nordrhein-Westfalen. *Natur und Heimat* 50: 105-108.
- DWSV, Deutscher Wasserstraßen- und Schifffahrtsverein Rhein-Main-Donau e.V. (2023): Die Bundeswasserstraßen gliedern sich nach dem Wasserwegerecht in Binnenwasserstraßen und Seewasserstraßen. Nürnberg. <https://www.schifffahrtsverein.de/wasserstrassennetz/> (Letzter Zugriff: 11.11.2023)
- Eggers, T., Martens, A. (2008): Neozoische Amphipoda in Deutschland: eine aktuelle Übersicht. Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 2007, 24.-28. September 2007. DGL – Deutsche Gesellschaft für Limnologie e.V. Münster: 5 S.
- Europäische Gemeinschaft (2000): RICHTLINIE 2000-60-EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES. zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Europäische Gemeinschaft, Brüssel: 72 S.
- FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2023): Karte der Gewässereinzugsgebiete und Bundeswasserstraßen. <https://via.bund.de/wsv/desktop/map/?parameter=visible&value=ezg> (letzter Zugriff: 05.05.2023)

- FGeoWSV, Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV (2022): Klassifizierung der Binnenwasserstraßen des Bundes. Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV. Hannover: 1 S.
- Fogel, M. (2022): Continental Divides of the European Mainland. <https://continental-divide.eu/>.
- Galil, B., Nehring, S., Panov, V. (2007): Waterways as Invasion Highways – Impact of Climate Change and Globalization. In: Nentwig, W. (Hrsg.): Biological Invasions. Springer, Berlin: 59-74.
- Gollasch, S., Nehring, S. (2006): National checklist for aquatic alien species in Germany. *Aquatic Invasions* 1: 245-269.
- GRDC, Global Runoff Data Centre (2020): Major River Basins of the World, 2nd, rev. ext. ed. BfG – Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz. <https://mrb.grdc.bafg.de/> (letzter Zugriff: 19.09.2023)
- Greszkiewicz, M., Fey, D., Lejk, A., Zimak, M. (2022): The effect of salinity on the development of freshwater pike (*Esox lucius*) eggs in the context of drastic pike population decline in Puck Lagoon, Baltic Sea. *Hydrobiologia* 849 (12): 2781-2795.
- Grzesiuk, M., Mikulski, A. (2006): The Effects of Salinity on freshwater Crustaceans. *Polish Journal of Ecology* 54 (4): 669-674.
- Hempel, M., Magath, V., Neukamm, R., Thiel, R. (2019): Feeding ecology, growth and reproductive biology of round goby *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) in the brackish Kiel Canal. *Marine Biodiversity* 49 (2): 795-807.
- Hütte, M., Niederhauser, P. (1998): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer: Ökomorphologie Stufe F (flächendeckend). BUWAL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern: 51 S.
- ICPR, International Commission for the Protection of the Rhine (2013): Immigrated goby species in the Rhine system. Report Nr. 208: 8 S.
- IPN (2023): Salzgehalt der Ostsee. <https://ostsee-der-zukunft.experience-science.de/hintergruende/einflussfaktoren/salzgehalt.html> (letzter Zugriff: 19.09.2023)
- Ketelaars, H. (2004): Range extensions of Ponto-Caspian aquatic invertebrates in continental Europe. *Aquatic Invasions in the Black, Caspian, and Mediterranean Seas: the Ctenophores Mnemiopsis Leidy and Beroe in the Ponto-Caspian and Other*. *Aquatic Invasions* 35: 209-236.
- Kim, J., Mandrak, N. (2016): Assessing the potential movement of invasive fishes through the Welland Canal. *Journal of Great Lakes Research* 42 (5): 1102-1108.
- Kornis, M., Mercado-Silva, N., Vander Zanden, M. (2012): Twenty years of invasion: a review of round goby *Neogobius melanostomus* biology, spread and ecological implications. *Journal of Fish Biology* 80 (2): 235-285.
- LANa, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Naturschutz, Landschaftspflege und Erholung (2018): Chinesische Wollhandkrabbe – Management- und Maßnahmenblatt zu VO (EO) Nr. 1143/2014. stA „Arten- und Biotopschutz“ der LANa. Kiel: 4 S.
- LAWA, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2005): LAWA (1970) Richtlinien für die Gebietsbezeichnung und die Verschlüsselung von Fließgewässern. Kulturbuchverlag, Berlin: 20 S.
- LAWA, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (1995): Gewässergüteatlas der Bundesrepublik Deutschland. Biologische Gewässergütekarte 1995. Kulturbuchverlag, Berlin: 58 S.
- Lehner, B., Grill G. (2013): Global river hydrography and network routing: baseline data and new approaches to study the world's large river systems. *Hydrological Processes* 27 (15):2171-2186.
- LIB, Leibniz-Institut zur Analyse des Biodiversitätswandels (2021): Schwarzmundgrundel. <https://www.neobiota-nord.de/de/aktuelles/artikel/schwarzmundgrundel/> (letzter Zugriff: 05.04.2024)

- LSFV, Landes Sportfischer Verband Schleswig-Holstein e.V. (2022): Der Fischbestand der Elbe - Befischung 2022. <https://www.lsfv-sh.de/der-fischbestand-der-elbe-befischung-2022/> (letzter Zugriff: 05.04.2024)
- Marescaux, J., Oheimb, K. von, Etoundi, E., Oheimb, P. von, Albrecht, C., Wilke, T., van Doninck, K. (2016): Unravelling the invasion pathways of the quagga mussel (*Dreissena rostriformis*) into Western Europe. *Biological Invasions* 18 (1): 245-264.
- Müller, O., Herpich, J., Rosenberger, S., Möller, F., Müller, N., Noske, M., Jähnert, K. (2007): Klimatisch begrenzte Invasion nach Osten? Aktuelles Verbreitungsmuster von *Corbicula fluminea* in der Strom-Oder (Brandenburg). *Lauterbornia* 59: 133-139.
- Müller, O., Hertel, A. (2003): Abundanzentwicklung der invasiven Amphipoda *Dikerogammarus villosus* (Sovinski 1894) und *D. cf. haemobaphes* (Eichwald 1841) in der deutschen Oder und den angrenzenden Kanälen (Crustacea; Amphipoda). *Schriftenreihe des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Angewandte Wissenschaft Heft 498*: 245-249.
- Müller, O., Zettler, M., Gruszka, P. (2001): Verbreitung und Status von *Dikerogammarus villosus* (Sovinski 1894)(Crustacea: Amphipoda) in der mittleren und unteren Strom-Oder und den angrenzenden Wasserstraßen. *Lauterbornia* 41: 105-112.
- Müller, R., Wolter, C., Peschel, T. (2018): Neobiota in Berliner Gewässern im Jahr 2018. Wirbellose Tiere, Fische und Wasserpflanzen. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Abteilung Integrativer Umweltschutz Referat Wasserrecht, Wasserwirtschaft und Geologie, Fachbereich Wasserwirtschaft, Wasserrahmenrichtlinie, Hochwasserschutz (II B 24). Berlin: 147 S.
- NABU, Naturschutzbund (2023): Ein Weichtier macht sich breit. <https://schleswig-holstein.nabu.de/tiere-und-pflanzen/sonstige-arten/26058.html> (letzter Zugriff: 05.04.2024)
- Nehring, S. (2006): The Ponto-Caspian amphipod *Obesogammarus obesus* (Sars, 1894) arrived the Rhine River via the Main-Danube Canal. *Aquatic Invasions* 1: 148-153.
- Nehring, S., Essl, F., Rabitsch, W. (2015a): Methodik der naturschutzfachlichen Invasivitätsbewertung für gebietsfremde Arten, Version 1.3. BfN-Skripten 401: 148 S.
- Nehring, S., Rabitsch, W., Kowarik, I., Essl, F. (Hrsg.) (2015b): Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde Wirbeltiere. BfN-Skripten 409: 222 S.
- Niemax, J. (2021): Effects of salinity on Reprduction and Behaviour of round goby *Neogobius melanostomus* in the baltic sea. Dissertation. University of Hamburg, Marine Ecosystems and Fishery Science. Hamburg: 124 S.
- Partenscky, H.-W. (1986): Binnenverkehrswasserbau. Schleusenanlagen. Springer, Berlin, Heidelberg: 433 S.
- Polizei Nordrhein-Westfalen Duisburg (2020): Die verkannte Gefahr. Brückenanfahrten im westdeutschen Kanalgebiet. Direktion Wasserschutzpolizei, Duisburg: 2 S.
- Rabitsch, W., Nehring, S. (2017): Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde aquatische Pilze, Niedere Pflanzen und Wirbellose Tiere. BfN-Skripten 458: 220 S.
- Rabitsch, W., Essl, F. (2010): Aliens. Pflanzen und Tiere auf Wanderschaft. Ausstellungskataloge Niederösterreichisches Landesmuseum SB04: 89 S.
- Reinhold, M., Tittizer, T. (1998): *Limnomyia benedeni* Czern iavsky 1882 (Crustacea: Mysidacea), ein weiteres pontokaspisches Neozoon im Main-Donau-Kanal. *Lauterbornia* 33: 37-40.
- Renners, U. (2013): Ein gefräßiger Globalisierungsgewinner. Schwarzmundgrundel macht sich auch in Westfalen breit. *Westfälische Nachrichten*. <https://www.wn.de/muensterland/schwarzmundgrundel-macht-sich-auch-in-westfalen-breit-2012655?&np> (Letzter Zugriff: 05.04.2024)

- Schöll, F. (2007): Das Makrozoobenthos des Rheins 2006/2007. Rhein-Messprogramm Biologie 2006/2007 Teil II-D. IKSR - Internationale Kommission zum Schutz des Rheins, Koblenz: 41 S.
- Scholten, M., Landwüst, C. von, Wieland, S., Anlauf, A. (2010): Herstellung der Durchgängigkeit an Staustufen von Bundeswasserstraßen. Fischökologische Einstufung der Dringlichkeit von Maßnahmen für den Fischeaufstieg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-1697: 135 S.
- StMUV: StMUV, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2018): Wasser für Franken „Die Überleitung Donau-Main“. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, München: 120 S.
- Tittizer, T., Taxacher, M. (1997): Erstnachweis von *Corbicula fluminea/fluminalis* (Müller 1774) (Corbiculidae, Mollusca) in der Donau. *Lauterbornia* 31: 103-107.
- UBA (2021): Ökologischer Zustand der Fließgewässer. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/fliesssgewaesser/oekologischer-zustand-der-flusse-und-bache> (letzter Zugriff: 04.12.2023)
- WIGES, W. (2023): Die höchstgelegene Wasserstraße Europas. <https://www.wiges-gmbh.de/unternehmen/main-donau-kanal/>.
- WSA Elbe (2023): Hotopp-Schleuse am Elbe-Lübeck-Kanal. Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Elbe. Dresden: 16 S.
- WSA, Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Elbe: WSA Elbe - Gewässerkunde: 2 S. https://www.wsa-elbe.wsv.de/Webs/WSA/Elbe/DE/Service/03_Gewaesserkunde/gewaesserkunde_node.html.

5 Prüfung der Machbarkeit von Maßnahmen als Migrationsbarrieren in Kanälen

Julius Gorenz¹, Melina Klarl¹, Joachim Pander¹, Jürgen Geist¹ und Stefan Nehring²

¹Technische Universität München, Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie, Freising

²Bundesamt für Naturschutz, Bonn

5.1 Einführung ins Thema

Die in Kapitel 3 identifizierten Maßnahmen wurden in diesem Kapitel auf ihre Machbarkeit in deutschen Schifffahrtskanälen hin überprüft. Dazu wurden neben Informationen aus der Literatur insbesondere die Einschätzung von Expertinnen und Experten und von den Maßnahmen betroffenen Stakeholdern herangezogen. Diese allgemeine Prüfung der Machbarkeit ersetzt jedoch nicht die individuelle Prüfung jeder Maßnahme auf Konformität mit Gesetzen, Regelungen und Zielkonflikten anderer Stakeholder, bevor diese umgesetzt werden können. Ziel dieses Kapitels zur Machbarkeit ist es, die Maßnahmen aus Kapitel 3 soweit möglich hinsichtlich der Umweltverträglichkeit, der Auswirkungen auf einheimische Arten, dem Tierschutz und der wirtschaftlichen Beeinträchtigung von betroffenen relevanten Nutzergruppen der Kanäle zu bewerten. Zusätzlich sollen Empfehlungen abgegeben werden, welche Technologien für den Einsatz in Schifffahrtskanälen weiter untersucht werden sollten.

Betrachtet man die Auswirkungen auf einheimische Arten, muss zwischen der Einschränkung der Migration durch Kanäle für diese Arten und der potentiellen Schädigung der Arten durch die Barriere unterschieden werden. Da sich auch einheimische Arten nicht über künstliche Kanäle zwischen verschiedenen Flusseinzugsgebieten verbreiten sollen, ist nur die direkte oder indirekte Schädigung von Individuen durch die Migrationsbarriere als negativ anzusehen. Die Auswirkungen von Barrieren auf das Wanderverhalten einheimischer Arten sind entsprechend nicht zu berücksichtigen. Eine Ausnahme bilden lediglich Abschnitte künstlicher Gewässer, die das Abflussgeschehen ehemals natürlicher Gewässer übernehmen. Weitergehende Ausführungen hierzu finden sich im Priorisierungskonzept zur Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit der Bundeswasserstraßen (BMDV 2021).

Die hydraulische Trennung der vorher unverbundenen Gewässer durch den Rückbau der Kanalverbindung wäre mit Fokus auf die Ausbreitung invasiver Arten über diesen Pfad mit Sicherheit der erfolgversprechendste Weg, um den Arttransfer einzudämmen. Da solche drastischen Maßnahmen meist nicht möglich sind, da die Kanäle zum Gütertransport, zur Freizeitnutzung oder zur Wasserüberleitung genutzt werden, werden im Folgenden die in Kapitel 3 vorgestellten alternativen Maßnahmen in Kanälen auf ihre Machbarkeit geprüft.

5.2 Prüfung der Machbarkeit von Maßnahmen als Migrationsbarrieren in Kanälen

Ausbreitungsbarrieren sollten in Kanälen an Engstellen wie z.B. Schleusen oder Brücken installiert werden, da hier der abzusperrende Gewässerquerschnitt am geringsten ist und die technische Ausführung des Kanals an diesen Stellen die Aufnahme der meisten Barrieretechnologien begünstigt. Zusätzlich konnte Schleusen selbst eine gewisse Barrierewirkung gegen einige Arten nachgewiesen werden (Kim & Mandrak 2016). Diese Wirkung könnte auch der Barrierewirkung vieler Technologien zugutekommen oder könnte durch die Barriere verstärkt werden.

Des Weiteren findet sich an Schleusen häufig bereits nötige Infrastruktur, wie ein Zugang zum Stromnetz, oder Zugangswege für Bau- und Wartungsarbeiten.

Allgemein gilt, dass das Verhältnis von Schleusenquerschnitt bzw. Torwendebereich zu Schiffsquerschnitt sehr eng bemessen ist. Barrierekonzepte, deren Einbau den Querschnitt der Schleusenkammer weiter einengen, sind deshalb wahrscheinlich nicht oder nur mit stark erhöhtem Aufwand umsetzbar. Einbauten müssten entsprechend in den Bauwerken der Kanäle untergebracht werden. Dies könnte im Zweifelsfall zu Änderungen in der Gebäudestatik führen. Auch der reibungslose Betrieb der Schleusen sowie die Wartung oder der Austausch von Schleusenteilen (z.B. Tor- oder Antriebswechsel) darf durch die Barriere nicht beeinträchtigt werden. Auf entsprechende Abstände ist zu achten, indem z.B. die Infrastruktur der Barriere am Schleusen Ein- und Ausgang außerhalb der Schleusenkammer installiert wird. Durch eine weitere Einengung im Schleusenbereich würde zudem die Gefahr von Unfällen oder Beschädigungen an Schiffen und Schleuseninfrastruktur steigen. Der Einbau der meisten Barrierekonzepte hat wahrscheinlich zumindest kurzfristig negative Auswirkungen auf die Schifffahrt, wenn Installations- und Wartungsarbeiten der Barriere zusätzliche Sperrzeiten der Schleuse oder des Kanalabschnitts verlangen. Es ist jedoch auch zu prüfen, ob je nach einzubauender Komponente, eine Installation unter laufendem Betrieb möglich ist, oder vielleicht sogar eine Trockenlegung der Schleuse nötig wird. In der Planung einer Barriere sind Art und Umfang notwendiger Wartungs- und Unterhaltsarbeiten und die entsprechenden Zuständigkeiten mit zu berücksichtigen. Besonders die Verantwortlichkeiten für Reinigung und Entsorgung sowie die Erneuerung von Bauteilen, die Kontrolle der Anlage, und die Sicherung des störungsfreien Betriebs sind vorab zu regeln (S. Schreier pers. Mitt.).

Für alle im Folgenden genannten Barrierekonzepte ist im Zuge der Konkretisierung der Maßnahme und vor deren Umsetzung zu prüfen, ob diese unter der momentan geltenden Rechtsgrundlage umsetzbar bzw. genehmigungspflichtig sind. Je nach Maßnahme ist z.B. die Konformität mit dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG 2010), der Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2016), dem Tierschutzgesetz (TierSchG 2022), den Fischereigesetzen der Länder, dem Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG 2022), der Bundesartenschutzverordnung (BArtSchV 2013), dem Umweltverträglichkeitsgesetz (UVPG 2023) oder dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG 2022) zu gewährleisten. Welche Rechtsgrundlagen hier berücksichtigt werden müssen, muss im Einzelfall und bei genauerer Kenntnis über Umfang und Ort des Unterfangens bestimmt werden.

5.2.1 Physikalische Maßnahmen

5.2.1.1 Mechanische und hydraulische Barrieren

Mechanische Barrieren (Rechen, Lochbleche und Louver) erzielen ihre Barrierewirkung, wie in Kapitel 3 beschrieben, durch den physischen Ausschluss größerer Organismen. Die lichte Weite der Öffnungen in der Barriere ist nach unten limitiert, da der hydraulische Widerstand und die Wahrscheinlichkeit der Verklauung steigt, desto kleiner die Öffnungen ausgeführt werden. Mechanische Barrieren können demnach nur gegen Organismen Wirkung zeigen, die größer als die Öffnungen in der Barriere sind. Dies trifft vor allem auf adulte Fische und einige Dekapoden zu, wobei jüngere Entwicklungsstadien diese Barrieren meist passieren können. In der Strömung driftende Eier, Larven oder Pflanzensamen können entsprechend nicht aufgehalten werden. Da mechanische Barrieren rein physisch wirken, ist deren Umweltauswirkung als gering einzuschätzen. Mechanische Barrieren decken jedoch den gesamten Wasserquerschnitt ab, weshalb der Transfer von Schiffen über die Barriere hinweg nicht möglich ist.

Mechanische Barrieren sind demnach lediglich in Kanälen, die der Wasserüberleitung dienen und nicht schiffbar sind, denkbar. Eine Ausnahme könnten elektrifizierte Seilrechen bilden, die aus einer Kombination von horizontal im Wasser gespannten Stahlseilen und einem elektrischen Feld bestehen, das durch die Elektrifizierung der Stahlseile erzeugt wird (Egg et al. 2019, HyFish GmbH 2023, Tutzer et al. 2021). Diese wurden zum Fischschutz an Wasserkraftanlagen und Pumpwerken entwickelt und lassen sich zur Reinigung absenken. Die Absenkung gäbe auch die Möglichkeit zum Durchlassen von Schiffen. Dadurch würde die Barriere jedoch bei jeder Absenkung außer Kraft gesetzt. Die weiteren Auswirkungen eines elektrifizierten Seilrechens auf Umwelt, Tiere und Stakeholder sind ähnlich einzuschätzen, wie die einer elektrischen Barriere, wobei die eingesetzte Spannung bei elektrifizierten Seilrechen im Vergleich zu herkömmlichen elektrischen Barrieren normalerweise deutlich niedriger ausfällt. Somit wären entsprechend auch deren Effekte auf Dritte abgeschwächt (Brinkmeier et al. 2016, Parker et al. 2014). Mechanische Barrieren könnten sich auf einheimische Arten lediglich negativ auswirken, wenn einzelne Individuen mit den Einbauten im Wasser kollidieren oder sich in diesen verfangen. Auf Grund der geringen oder nichtvorhandenen Strömung in Kanälen ist diese Wahrscheinlichkeit jedoch als gering anzusehen.

Hydraulische Barrieren, die ihre Wirkung durch erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten erzeugen, sind in Schifffahrtskanälen nicht umsetzbar, da sie lediglich für kleine Systeme wie Fischpässe oder kleine Bäche entwickelt wurden und in Kanälen eine starke Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit und eine glatte, überströmte Sohle benötigen würden. Um erfolgreich gegen die Ausbreitung von Schwarzmundgrundeln vorzugehen, sind z.B. Strömungsgeschwindigkeiten von fast 1 m/s nötig (Wiegleb et al. 2022). Zusätzlich kann mit diesen Systemen nur eine stromaufwärts gerichtete Wanderung verhindert werden. Mit der Strömung schwimmende oder driftende Organismen oder deren Propagationsformen können nicht aufgehalten werden.

5.2.1.2 Elektrische Barrieren

Elektrische Barrieren erzeugen mit Hilfe von Elektroden im Gewässer ein elektrisches Feld, das bei sich nähernden Organismen eine Fluchtreaktion hervorrufen soll. Je nach Feldstärke und Exposition wirkt dieses auch betäubend (Galvanonarkose) oder führt zum Tod der Organismen (Clarkson 2004). Elektrische Felder wirken sehr art- und größenspezifisch und können vor allem im Umgang mit Fischen eingesetzt werden (Noatch & Suski 2012). Auch höhere Krebse zeigen Reaktionen auf elektrische Barrieren, sind aber deutlich weniger sensitiv und überleben um ein Vielfaches höhere Feldstärken als Fische (Egly et al. 2021). Elektrische Barrieren sind die einzige der untersuchten Technologien, die bereits als Barriere für invasive Arten in Kanälen im kommerziellen Maßstab eingesetzt wird. Beide Anwendungen finden sich in den USA, im „Chicago Sanitary and Shipping Canal“ (CSSC) und im „Central Arizona Project“ (CAP). Die Barriere im CSSC soll die Migration asiatischer Karpfenarten aus dem Einzugsgebiet des Mississippi in die Great Lakes verhindern und ist nach Betreiberaussage bisher erfolgreich. Auf Grund von e-DNA Nachweisen asiatischer Karpfen in den Great Lakes wird die Effektivität der Barriere jedoch diskutiert (Chapman et al. 2021, Jerde 2021). Die Barriere im CAP soll den Austausch von Fischarten zwischen den Einzugsgebieten des Colorado River und des Gila River verhindern. Da die elektrische Barriere im CAP ohne Redundanz ausgeführt ist (nicht wie im CSSC; siehe Kapitel 3), ist während der zwar seltenen, aber auftretenden Ausfälle der Barriere mit einem Transfer von Arten über den Kanal zu rechnen (Clarkson 2004). Clarkson et al. (2004) gehen jedoch davon aus, dass die Barriere auch im aktiven Zustand überquert wurde. Neben den Komponenten der Barriere sollten soweit möglich auch elektrische Barrieren selbst

redundant ausgeführt sein, um einen Totalausfall der Barrierewirkung zu verhindern (Clarkson 2004). Wird eine elektrische Barriere in einem durchströmten Kanal eingebaut, wirkt sie besonders gegen die stromaufwärts gerichtete Ausbreitung von Arten, da Organismen, die durch die Galvanonarkose betäubt wurden, wieder stromabwärts verdriftet werden. Um effektiv arbeiten zu können, benötigen elektrische Barrieren an ihrem Standort eine unterbrechungsfreie Stromversorgung. Zusätzlich muss der Kanalgrund befestigt sein, um die Elektroden aufzunehmen, oder es muss eine entsprechende Situation baulich hergestellt werden (Bajer et al. 2018). Um das elektrische Feld räumlich zu begrenzen, kann ein Metallnetz als Erdung ober- und unterhalb der elektrischen Barriere am Grund des Kanals angebracht werden (Moy et al. 2011). Trotzdem können elektrische Strömungen auch im Umland der elektrischen Barriere auftreten, weshalb die direkte Umgebung abgesperrt werden sollte und nahe empfindliche Infrastruktur, wie Bahnanlagen zu überwachen sind (J. Zuercher pers. Mitt.).

Elektrische Barrieren sind unter der Anwendung bestimmter Sicherheitsvorkehrungen von Schiffen überquerbar. Es besteht jedoch eine große Gefahr für Personen, die dem elektrischen Feld im Wasser ausgesetzt sind (McInerney et al. 2011). Die üblicherweise eingesetzte Stromstärke ist zwar nicht direkt tödlich, das elektrische Feld macht das Schwimmen jedoch schwer bis unmöglich (Moy et al. 2011). Bei den heute im CSSC eingesetzten Betriebsparametern ist die Gefahr eines Herzstillstands bei Personen im Wasser jedoch sehr hoch, weshalb für die elektrische Barriere im CSSC eine Sicherheitszone eingerichtet wurde, innerhalb derer bestimmte Vorschriften für den Schiffsverkehr gelten (Coast Guard 2018). Für zukünftige Anwendungen ist eine Mindestgröße für Boote und das Verbot von unmotorisierten Booten und Kleinbooten zu empfehlen. Zusätzlich sollte es eine Verpflichtung der Besatzung zum Aufenthalt im Inneren der Boote und Schiffe während der Passage des Sicherheitsbereichs geben, oder, falls das nicht möglich ist, die Pflicht zum Tragen einer Schwimmweste (Department of Homeland Security 2018). So kann das Risiko der Gefährdung von Personen im Wasser reduziert werden. Schubverbände sollten leitend verbunden werden, um das Überspringen von Funken zwischen Teilen des Verbandes zu verhindern.

Bei Untersuchungen im CSSC hat sich gezeigt, dass das elektrische Feld der Barriere durch metallische Barken, die die Barriere passieren, abgeschwächt wird und die durch den Verkehr erzeugte Strömung und Kehrströmung an den Ufern zusätzlich den Transfer kleinerer Fische über die Barriere hinweg begünstigt (Davis et al. 2017, LeRoy et al. 2019, Parker et al. 2015). Die größten Einschränkungen für den Schiffsverkehr gehen von elektrischen Barrieren während der Konstruktion und Wartung des Systems aus, da dazu meist eine Sperrung des Kanals für die Schifffahrt nötig ist (J. Zuercher pers. Mitt.). Untersuchungen von McInerney et al. (2011) zeigten zudem, dass durch die elektrische Barriere im CSSC kein zusätzliches Korrosionspotential an Schiffen und metallischen Bauteilen im Wasser hervorgerufen wird.

Elektrische Barrieren wirken nicht selektiv auf invasive Arten. Sie wirken jedoch stärker auf größere Organismen, besonders auf Fische, was die Ausbreitung kleinerer, einheimischer und invasiver Fische begünstigen kann (Sepulveda et al. 2012). Die auftretenden Effekte können neben der Fluchtreaktion auch der Tod des Organismus sein. Dadurch könnten auch einheimische und geschützte Arten direkten Schaden von einer elektrischen Barriere nehmen. Dies schließt auch Säugetiere wie den Biber oder den Fischotter mit ein. Die Betäubung durch die Galvanonarkose könnte einheimischen Organismen zudem indirekt schaden, indem sie ihnen die Möglichkeit der Flucht vor Prädatoren nimmt. Sind die Betriebsparameter der elektrischen Barriere richtig gewählt und wird ankommenden Fischen ausreichend Zeit zur Reaktion auf das elektrische Feld ermöglicht, kann eine elektrische Barriere auch fischschonend betrieben

werden. Je nach Zielarten können die Barrieren nur nachts oder saisonal an die Wanderbewegungen invasiver Arten angepasst betrieben werden, um so die negativen Effekte auf einheimische Arten weiter zu reduzieren (Bajer et al. 2022, Johnson et al. 2021, Johnson et al. 2016). Nach der Einschätzung von J. Zuercher (pers. Mitt.) gehen von der elektrischen Barriere im CSSC keine besonderen Einschränkungen für die Umwelt aus. Zudem werde die Öffentlichkeit durch die Sperrzone um die Barriere geschützt und die Umgebung weiter überwacht, da die Betriebsparameter laufend angepasst werden.

In Anlehnung an die Barriere im CSSC ist für elektrische Barrieren eine mehrstufige Anordnung der Anoden zu empfehlen, die ein sich steigendes elektrisches Feld erzeugen, das den auf-treffenden Fischen genug Zeit gibt, auf das Feld zu reagieren und in entgegengesetzter Richtung zu fliehen (Dettmers et al. 2005). Um elektrische Barrieren gegen andere Organismengruppen als Fische einzusetzen, werden deutliche höhere Feldstärken benötigt (siehe oben), wodurch neben dem Stromverbrauch, auch die potentiellen Gefahren, die von der Barriere ausgehen, erhöht werden. Zudem ist die Wirksamkeit elektrischer Barrieren auf andere Artengruppen noch nicht abschließend untersucht. Für den Einbau und Betrieb der elektrischen „Versuchs-Barriere“ im CSSC (siehe Kapitel 3) sind im Jahr 2011 Kosten von ca. 1,5 Mio. US\$ für den Bau der Barriere und Stromkosten von 1.850 US\$ pro Monat angegeben (Moy et al. 2011). Die Kosten für die tatsächliche Barriere sind jedoch wahrscheinlich um ein Vielfaches höher einzuschätzen, da diese aus zwei aufeinander folgenden Barrieren mit größeren elektrischen Feldern und höheren Spannungen besteht (Moy et al. 2011, O’Farrell et al. 2014).

5.2.1.3 Akustische Barrieren

Akustische Barrieren sollen durch unter Wasser emittierte Schallwellen Organismen von bestimmten Bereichen fernhalten. In Laborversuchen haben sich dabei Frequenzen im Bereich von 20-2000 Hz bewährt (siehe Kapitel 3), wobei sich die Reaktionen artabhängig so stark unterscheiden, dass zielartenspezifische Signale entwickelt werden müssen (Knight 2010). Rein akustisch wirkende Systeme, die in der Praxis eingesetzt wurden, zeigten jedoch unter realen Umweltbedingungen keinen oder nur einen sehr geringen Effekt in Fließgewässern (DBU 2023, Keuneke et al. 2021, Travade & Larinier 2006). Ob sich in einem strömungsarmen Schiff-fahrtskanal andere Ergebnisse erzeugen lassen als in den bisherigen Anwendungen am Einlauf von Wasserkraftanlagen, muss zukünftig überprüft werden. Von einer gruppenübergreifenden und 100 % effektiven Schutzwirkung ist durch eine akustische Barriere allein nicht auszu-gehen. Zudem können akustische Barrieren, ähnlich wie elektrische- oder visuelle Barrieren nur auf die Ausbreitung sich aktiv fortbewegender Arten Einfluss nehmen. Passiv, durch Strömungen verbreitete Organismen können solche Verhaltensbarrieren meist unbeeinträchtigt passieren. Umgebungslärm, wie er möglicherweise in einem Schifffahrtskanal auftritt, könnte die Wirkung akustischer Barrieren zusätzlich abschwächen (Bzonek et al. 2021).

Die Untersuchung der Wirkung akustischer Signale auf Invertebraten steht noch am Anfang. Es ist aber davon auszugehen, dass auch diese Organismengruppe auf akustische Stimuli reagiert (Murchy et al. 2020, Popper et al. 2022, Tidau & Briffa 2016). Ob eine akustische Barriere jedoch auch hier Wirkung zeigt oder Gewöhnungseffekte auftreten ist unklar und benötigt weitere Grundlagenforschung (Murchy et al. 2017).

Von einer Beeinträchtigung der Schifffahrt auf den Kanälen durch eine akustische Barriere ist nicht auszugehen, da sie keine physische Barriere darstellen und von den erzeugten Schallwellen keine Gefahr für Schiffe oder Besatzung ausgehen. Zudem lässt sich eine akustische Barriere vergleichsweise kostengünstig umsetzen (Murchy et al. 2017). Einheimische

Fischarten würden durch die akustischen Signale wahrscheinlich ähnlich beeinflusst werden, wie die Zielarten der Barriere, wobei die genutzten Frequenzen sowie die morphologische Anpassung einer Art an die Detektion von Schallwellen ausschlaggebend für die Wirkung auf die einzelnen Arten sind (Ladich & Fay 2013, Popper & Carlson 1998).

5.2.1.4 Licht Barrieren

Licht Barrieren sollen mittels stroboskopischer Lichtblitze eine scheuchende Wirkung auf Fische ausüben und diese so vom Überqueren der Barriere fernhalten. Häufig wurden diese visuellen Reize in Untersuchungen mit akustischen Signalen und/oder Luftblasenschleiern kombiniert. Die teilweise sehr positiven Ergebnisse aus Laboruntersuchungen (Dennis III 2019, Jesus et al. 2021, Jesus et al. 2019, Kim & Mandrak 2017, Noatch & Suski 2012) konnten in der Praxis nicht bestätigt werden. Auch in Kombination mit Luftblasenschleiern und akustischen Signalen zeigte sich nur eine geringe Effektivität im Fischrückhalt (Cech & Mussen 2010, Keuneke et al. 2021, Kim et al. 2019, Perry et al. 2014, Sager & Hocutt 1987). Die Wirkung von stroboskopischem Licht als Barriere auf andere Organismengruppen ist nicht untersucht. Aus diesem Grund ist die Anwendung von reinen Licht Barrieren als Ausbreitungsbarriere für invasive Arten, zumindest im momentanen Entwicklungszustand, nicht zu empfehlen. Die Auswirkungen auf die Schifffahrt sowie die einheimische Fischfauna wäre jedoch ähnlich gering einzuschätzen wie die der akustischen Systeme, da die Barrierewirkung nur auf einer Verhaltensreaktion basiert. Es ist lediglich darauf zu achten, dass die Schiffsbesatzung von den Systemen nicht geblendet werden kann (S. Schreier pers. Mitt.).

5.2.1.5 Luftblasenvorhänge

Luftblasenvorhänge, z.B. durch mit Druckluft befüllte Düsenrohre erzeugt, wurden hinsichtlich ihrer Wirkung als Barriere lediglich gegen die Ausbreitung von Fischen untersucht. Luftblasenschleier wurden dabei meist mit akustischen und/oder visuellen Reizen kombiniert. Die Barrierewirkung dieser Systeme auf andere Organismengruppen wurde bisher nicht untersucht. Unter dem Namen „BAFF – Bioacoustic Fish Fence“ ist eine Barrieretechnik entwickelt worden, die eine Kombination der drei Technologien beinhaltet. Das System wird besonders für Gewässer empfohlen, die weiter für die Schifffahrt nutzbar bleiben müssen, da passierende Schiffe die Barriere lediglich akustisch wahrnehmen würden, sonst aber keine Beeinträchtigung vom Betrieb des BAFF ausgehe (D. Lampert pers. Mitt.). Ein solches System wird zum Zeitpunkt der Berichtsverfassung (Herbst 2023) an einer Schleuse (Barkley Lock, Cumberland River, Kentucky) getestet und soll dort die Ausbreitung asiatischer Karpfenarten stromauf durch die Schleuse verhindern. Erste Ergebnisse einer unabhängigen Überprüfung durch ein Konsortium aus Behörden, Wirtschaftsvertretern und Wissenschaftlern der Universität Minnesota konnten in einer zweijährigen Untersuchung eine Reduktion der Übertritte von Silberkarpfen (*Hypophthalmichthys molitrix*) um 50 % - 56 % registrieren, wenn die BAFF-Barriere in Betrieb war (Fritts et al. 2023). Auf Grund der Ergebnisse wurden die Betriebsparameter der Barriere angepasst. Die Ergebnisse des nächsten Untersuchungszyklus werden voraussichtlich im Frühjahr 2024 verfügbar sein (D. Lampert pers. Mitt.).

Verhaltensbasierte Barriersysteme, wie die BAFF-Technologie, lassen sich bedingt auf bestimmte Arten einstellen, zeigen aber auch auf Nicht-Zielarten abschreckende Effekte (D. Lampert pers. Mitt.). Um die Barrierewirkung zu optimieren, muss das System demnach im Einzelfall auf die Zielarten und die Umweltparameter am Einsatzort angepasst werden. Dazu sind sehr wahrscheinlich immer auch Vorversuche nötig, um die wirkungsstärksten Reize für die Zielarten zu identifizieren. Für die BAFF-Versuchsbarriere am Cumberland River, USA wurden

Material- und Baukosten von ca. 3,8 mio. US\$ angegeben, sowie jährliche Betriebskosten von ca. 96.000 US\$ für Strom und Unterhalt und weitere 437.000 US\$ für eine jährliche Wartung. Die Kosten für eine solche Barriere können jedoch nur als Orientierungswert dienen, da sich diese ort- und zielartenspezifisch stark unterscheiden können (Fritts et al. 2023).

Dem Einsatz eines BAFF Systems in Deutschland würden wahrscheinlich verhältnismäßig geringe Hürden gegenüberstehen, da die Technologie im Vergleich zu einer elektrischen Barriere ungefährlich und kostengünstiger ist und zudem deutlich geringere Effekte auf einheimische Arten erzeugt. Auch für Personen im Wasser geht von einer solchen Barriere keine Gefahr aus. Andere Nutzergruppen des Kanals würden zudem nur geringfügig beeinträchtigt werden. Dem entgegen steht die, zumindest in Bezug auf asiatische Karpfenarten, geringere Wirksamkeit des Systems. Inwieweit diese auch auf andere Zielarten zutrifft, muss im Einzelfall untersucht werden. Schleier aus Luftblasen werden in Deutschland bereits an Schifffahrtsschleusen (z.B. West- und Ostschleuse Hohensaaten, Schleuse Lehnitz, Schleusen im Raum Nürnberg) eingesetzt, um die Schleusentore im Winter eisfrei zu halten. Nach Aussage von F. Stegmann (pers. Mitt.) gehen von den Luftschleiern keine Beeinträchtigungen für die Nutzer der Kanäle aus.

5.2.1.6 Entfernung von Bewuchs/Anhaftungen an Schiffen und Booten

Die Entfernung von Bewuchs und Anhaftungen an Schiffen und Booten wird im „Erster Aktionsplan gemäß Artikel 13 der Verordnung (EU) Nummer 1143/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Oktober 2014 über die Prävention und das Management der Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten“ als gesondertes Projekt im Abschnitt 9: Maßnahmenkatalog zum Pfad „Bewuchs/Anlagerung am Schiffsrumpf“ geführt (BMU 2021). Entsprechend findet in diesem Projekt keine Überprüfung der Machbarkeit dieser Technologien statt. Dasselbe gilt auch für den Pfad „Ballastwasser“, der mit einem Maßnahmenkatalog in Abschnitt 8 bedacht ist. Wie in Kapitel 2 „Recherche und Analyse zu Floren- und Faunentransfer“ aufgeführt, bilden diese beiden Pfade insbesondere Ausbreitungswege für gebietsfremde Amphipoden, Mollusken, Algen, Pilze und Fischeier und -larven, wobei für den Pfad „Ballastwasser“ in der Binnenschifffahrt bisher nur sehr wenige Daten vorliegen. Die in dieser Machbarkeitsstudie zum Pfad „Eigenständige Bewegung in Kanälen“ vorgestellten Barrieretechnologien zeigen gegen diese Organismengruppen nur vereinzelt Wirkung. Entsprechend hoch ist auch die Relevanz der beiden anderen „wasserstraßenbezogenen“ Pfade und deren Maßnahmenkataloge einzuschätzen.

5.2.2 Chemische Maßnahmen

Alle chemisch wirksamen Barrierekonzepte ließen sich wahrscheinlich am sinnvollsten in oder an Schleusenbecken realisieren, da sie einen relativ begrenzten Raum zur Verfügung stellen und dadurch die zu behandelnde Wassermenge reduzieren. Besonders Schleusen mit Sparbecken, die einen Teil des Schleusenwassers wiederverwenden (Reduktion von 30 % bis 70 %, Partensky 1986), könnten zur Effektivität chemischer Barrierekonzepte beitragen. Zudem können Schleusen, da sie oft andere hydrologische Bedingungen aufweisen als der Rest des Kanals, selbst „hotspots“ für die Ansiedelung invasiver Arten sein, wodurch die Wirkung der Maßnahme erhöht werden könnte (A. Martens pers. Mitt.).

5.2.2.1 Chemikalien

Chemikalien wie Biozide können in der Bekämpfung invasiver Arten sehr erfolgreich sein und auch die Bekämpfung invasiver Pflanzen ermöglichen, die von anderen Barrierekonzepten oft nicht betroffen werden (Fredricks et al. 2021). Sie verursachen jedoch auch immer große

Schäden an Nicht-Zielorganismen und der Umwelt (Dermott & Spence 1984, Hamilton et al. 2009, Jeffrey et al. 1986), weshalb ihr Einsatz nur im Notfall und nur dann zu empfehlen ist, wenn die Effekte abschätzbar sind, das betroffene System abgeschlossen ist, die Invasion an ihrem Anfang steht, die Wiederbesiedelung mit der invasiven Art auszuschließen ist und keine Alternativen vorhanden sind. Zusätzlich sind die Einflüsse des Anwendungsstandorts (Temperatur, Wasserchemie, Hydrologie, Sonneneinstrahlung) auf die Bioverfügbarkeit und den Abbau der eingesetzten Biozide zu beachten (Fredricks et al. 2021). Auf Grund der Umweltauswirkungen ist der Einsatz vieler dieser Substanzen in Deutschland und der EU jedoch nach momentan gültigem Gesetz nicht zugelassen (z.B. Rotenon). Biozide zur Bekämpfung von Wirbeltieren sind in der EU gänzlich verboten (ECHA 2023, UBA 2015).

Es gibt einzelne, sehr zielartenspezifisch wirkende Substanzen, die nur geringe Auswirkungen auf andere Organismen haben und international regelmäßig im Management invasiver Arten eingesetzt werden (z.B. das Lamprizid TFM oder das Molluscizid EarthTec QZ). Im Kampf gegen die Ausbreitung invasiver Arten über Schifffahrtskanäle wären jedoch auch solche spezifisch wirkenden Biozide nicht als dauerhafte Barriere zu empfehlen. Die ökosystemaren Schäden der dauerhaften Anwendung überschreiten hier wohl immer den Nutzen der Eindämmung der Ausbreitung gebietsfremder Arten. Mit Hilfe von Bioziden könnte jedoch auch gegen Organismengruppen vorgegangen werden, gegen die andere Barrieretechnologien wirkungslos sind, wie z.B. gegen passiv mit der Strömung verbreitete Organismen. Zusätzlich zu den Umweltauswirkungen eines dauerhaften Einsatzes von Bioziden, wäre dieser auch ökonomisch nur schwer zu rechtfertigen. Eine einzelne Anwendung eines Biozids zur Bekämpfung von in Teilen der USA invasiven Meererneugen im Black Mallard River, USA wird z.B. mit Kosten von ca. 70.000 US\$ angegeben (Johnson et al. 2021).

5.2.2.2 Pheromone

Pheromone sind körpereigene Botenstoffe, die von einem Organismus abgesondert werden und bei einem anderen Organismus eine Reaktion auslösen (Sorensen & Johnson 2016, Sorensen & Stacey 2004). Im Management invasiver Arten in den USA werden Pheromone z.B. in der Bekämpfung invasiver Meererneugen eingesetzt, indem diese mit Sexualpheromonen in Fallen gelockt werden, oder Alarmpheromone genutzt werden, um diese von Bereichen fernzuhalten (Johnson et al. 2005, Wagner et al. 2011, Wagner et al. 2006). Beides wurde bereits im Freiland untersucht, kam jedoch bisher nicht kommerziell zum Einsatz. Die Ergebnisse aus Studien zu Meererneugen in den USA sind für die Anwendung in Deutschland jedoch nur von geringem Nutzen, da alle Neunaugenarten in Deutschland besonders geschützt sind und Pheromone stark artspezifisch wirken. Auf Grund dessen, und weil sie nicht toxisch sind, zeigen Pheromone einerseits großes Potential, um als schonendes Management-Werkzeug eingesetzt zu werden, andererseits ist viel Forschung nötig, um die entsprechenden Substanzen für wechselnde Zielarten zu identifizieren. Es ist zudem ungewiss, ob Pheromone mit der gewünschten Wirkung artübergreifend existieren. Diese Erkenntnisse zu gewinnen, ist für gewöhnlich äußerst kosten- und zeitintensiv (Sorensen & Johnson 2016).

Als Barriere für die eigenständige Ausbreitung invasiver Arten in Kanälen wären Alarmpheromone denkbar, falls diese für die Zielart identifiziert werden können und in ausreichenden Mengen erhältlich sind. Die Realisierbarkeit einer solchen Barriere ist jedoch zu bezweifeln, da wahrscheinlich sehr große Mengen des Pheromons nötig wären, um die Barriere dauerhaft aufrechtzuerhalten. Besonders in strömenden Gewässern werden chemische Substanzen sehr schnell verdünnt und verdriftet und sind dann nicht mehr zu detektieren. Die rein strömungsbedingte Ausbreitung von Arten könnte durch den Einsatz von Pheromonen nicht verhindert

werden, da diese auf eine Reaktion auf die Substanz abzielen, die driftende Organismen oder Propagationsformen nicht zeigen können. Mit Sexualpheromonen beköderte Fallen könnten eingesetzt werden, um Organismen gezielt aus dem Kanal zu entnehmen. Dabei wäre eine solche „Barriere“ jedoch nur auf geschlechtsreife Individuen wirksam und auch nur auf das entsprechend angelockte Geschlecht. Da Pheromone artspezifisch wirken und keine Toxizität aufweisen (Sorensen & Johnson 2016), sind die Auswirkungen einer auf Pheromonen basierenden Barriere auf einheimische Arten und die Umwelt als äußerst gering einzuschätzen.

5.2.2.3 Hypoxie (O₂)/Hyperkapnie (CO₂)

Die deutliche Reduktion der Sauerstoffkonzentration im Wasser eines Kanals würde eine gute Barriere gegen die Ausbreitung invasiver Arten darstellen. Da außer der Erhöhung der organischen Belastung des Wassers und der damit einhergehenden biologischen Sauerstoffzehrung keine Technologien bekannt sind, die die Absenkung der Sauerstoffkonzentration in einem Wasserkörper von der Größe eines Kanalquerschnitts ermöglichen, ist diese Art der Barriere bisher nicht einsetzbar und verbleibt als Konzept.

Erhöhte CO₂-Konzentrationen in Wasser lassen sich hingegen einfacher erzeugen. Diffusoren, die das CO₂-Gas als kleine Bläschen in das umgebende Wasser abgeben, werden z.B. in der Aquaristik oder der Zucht von Wasserpflanzen eingesetzt. Diffusoren, die den gesamten Wasserkörper eines Kanalabschnitts oder einer Schleusenkammer mit CO₂ versorgen können und dabei eine erforderlich hohe Konzentration erzeugen, sind jedoch bisher nicht bekannt (Suski 2020). Zolper et al. (2022, 2019) konnten jedoch in einer Versuchsanlage und später auch unter annähernd realen Bedingungen in einer Schleusenkammer CO₂-Konzentrationen von 100 mg/l bei annähernd homogener Durchmischung erreichen. Zum Einsatz kamen hier an Boden und Wand montierte Verteiler, die angesaugtes Wasser aus der Schleusenkammer mit CO₂ anreicherten. Es fand jedoch während der Versuche kein Schiffsverkehr durch die Schleusenkammer statt. Die zur Erzeugung von Luftblasenschleiern eingesetzte Technologie wäre aber auch hier denkbar, wenn ausreichend CO₂ zur Verfügung stünde (F. Stegmann pers. Mitt.). Da sich CO₂ nicht lange im Wasser hält, sind die biologischen Auswirkungen einer solche Barriere wahrscheinlich relativ gering, während die Wirkung auf ein breites Spektrum an Zielorganismen im Wirkraum der Barriere hoch ist (Noatch & Suski 2012). Erhöhte CO₂-Konzentrationen können von vielen Organismen, z.B. Fischen (Noatch & Suski 2012) und Invertebraten (Bierbower & Cooper 2010) detektiert werden und rufen eine Vermeidungsreaktion hervor. Zusätzlich wirkt CO₂ ab einer gewissen Menge und Expositionsdauer narkotisch auf die meisten Organismen (untersucht für Fische und Invertebraten, Cupp et al. 2017, Kates et al. 2012). Dabei hängt die Wirksamkeit von der untersuchten Art und der Wassertemperatur ab, wodurch sich wahrscheinlich saisonale Wirkunterschiede ergeben (Tix et al. 2018). Jedoch wurden auch innerartliche Unterschiede in der CO₂-Toleranz beobachtet (Hasler et al. 2017), z.B. auch in Abhängigkeit des Cortisol-Levels (Tucker et al. 2019). Auch war keine der bisher getesteten CO₂-Barrieren 100 % effektiv, weshalb auch diese Technologie nur in Kombination mit anderen Barrieretypen eingesetzt werden sollte (Cupp et al. 2017). Als negativer Folgeeffekt ist die Senkung des pH-Werts durch die Erhöhung des CO₂-Gehalts zu nennen. Sollte es zur Umsetzung einer solchen Barriere kommen, ist die Menge an CO₂ zu bestimmen, dass aus dem Wasser ausgast und so potentiell für Personen in der Nähe der Barriere oder das Klima schädlich sein könnte. Umwelteffekte ließen sich z.B. durch die Verwendung von CO₂-Gas aus Industrieprozessen reduzieren, das sonst direkt in die Atmosphäre abgegeben würde (Suski 2020). Eingesetzt werden sollte eine solche CO₂-Barriere am besten in oder am Eingang in eine Schleusenkammer, um einerseits die zu behandelnde Menge Wasser und damit den

Gasverbrauch gering zu halten und andererseits, um Organismen am Einschwimmen in die Schleusenkammer zu hindern und damit den Barriereeffekt der Schleuse zu erhöhen. Der Effekt einer CO₂-Barriere auf einheimische Arten ist wahrscheinlich relativ gering, da der erhöhte CO₂-Gehalt detektiert und gemieden werden kann. Auch hier sind diese Effekte jedoch im Einzelfall zu überprüfen.

5.2.2.4 Ozon (O₃)

Ozon wird als Desinfektionsmittel in der Aquakultur, der Behandlung von Ballastwasser und der Abwasserbehandlung eingesetzt. Es ist bereits in geringen Konzentrationen wirksam gegen Zooplankton und ist in höheren Konzentrationen auch tödlich für Fische, Muscheln und Krebse (Buley et al. 2017). Neben seiner Wirkung gegen ein breites Feld von Organismen, besonders solchen, gegen die andere Barrieren wirkungslos sind (Zooplankton, Algen, Propagationsformen höherer Organismen), ist Ozon als relativ sicher im Vergleich zu anderen Chemikalien einzuschätzen. Ozon hat in Wasser eine sehr kurze Halbwertszeit und lässt sich dadurch in seiner Wirkung auf den gewünschten Bereich begrenzen (Glaze 1987). Um erhöhte Ozonkonzentrationen als Barriere gegen invasive Arten in Kanälen einzusetzen, müssen, wie für CO₂-Barrieren, Diffusoren entwickelt werden, die große Mengen Gas in kurzer Zeit in Wasser lösen können. Auch hier wäre der Einsatz von Düsenrohren grundsätzlich denkbar (F. Stegmann pers. Mitt.). Die Löslichkeit und der Zerfall von Ozon in Wasser ist abhängig von Temperatur, Druck, pH-Wert und organischer Belastung (Buley et al. 2017). Da Ozon ein instabiles Gas ist, muss es am Ort der Benutzung hergestellt werden (Glaze 1987). Um die benötigte Menge Ozon möglichst gering zu halten, bietet es sich an, in Schifffahrtskanälen eine entsprechende Anlage in möglichst abgeschlossenen Bereichen wie z.B. einer Schleusenkammer mit Sparbecken einzurichten. So kann der Ozonverlust durch den Wasseraustausch bei Öffnung der Schleusentore verringert werden. Bei der Planung einer solchen Barriere ist zu beachten, dass das Ozon aus dem Wasser ausgast und so möglicherweise für den Menschen schädliche Ozonkonzentration in der Umgebungsluft entstehen könnten (Buley et al. 2017). Ozon wirkt auf den Menschen als Reizgas und kann neben Reizungen der Augen und Atemwege bei stärkerer Exposition auch irreversible Atemwegs- und Herzkreislauf-Erkrankungen hervorrufen (UBA 2023).

Die Kosten für die Behandlung von einem Kubikmeter Wasser in der Abwasserbehandlung mit Ozon werden mit 0,02 US\$ angegeben. Die Kosten stammen jedoch aus dem Jahr 1973 und sind heute entsprechend höher einzuschätzen (Buley et al. 2017).

5.2.2.5 Osmotisch

Ein erhöhter Salzgehalt in bestimmten, möglichst begrenzten Bereichen wie z.B. Schleusenammern könnte als Verhaltensbarriere in Schifffahrtskanälen eingesetzt werden. Die Versalzung des umliegenden Gewässers hätte jedoch teils drastische Folgen auf die Umwelt. Als Beispiel ist hier die toxische Algenblüte der Brackwasser Goldalge *Prymnesium parvum* in der Oder im Sommer 2022 zu nennen, die ein weitreichendes Fisch- und Muschelsterben ausgelöst hat (BMUV 2022, IGB 2022). Entsprechend groß könnten die direkten und indirekten Schäden an Umwelt und Nicht-Zielarten auf Grund einer osmotischen Barriere ausfallen. Auf Grund dessen gibt es bisher keine Anwendung und auch keine spezifischen Untersuchungen zur Veränderung des Salzgehalts als Ausbreitungsbarriere in Kanälen. Das Wasser mit höherem Salzgehalt könnte jedoch möglicherweise mithilfe eines Luftblasenvorhangs teilweise im Schleusenbecken zurückgehalten werden. Grund zu dieser Annahme ist eine Studie von

Keetels et al. (2011), die die Möglichkeiten zur Reduktion des Salzübergangs in Binnengewässern an Küstenschleusen untersuchten.

5.3 Resümee

Prüfung der Machbarkeit von Maßnahmen muss im Einzelfall erfolgen

Da die Forschung zu Barrieretechnologien für invasive Arten noch am Anfang steht, und Anwendungen und Tests in realen, natürlichen Systemen selten sind, ist für viele potentielle Maßnahmen die Prüfung der Machbarkeit mit großen Unsicherheiten verbunden und ersetzt nie die Prüfung im Einzelfall. Besonders die rechtlichen Rahmenbedingungen und mögliche Zielartenkonflikte, die für den Einsatz eines bestimmten Barrierekonzepts greifen, müssen im Vorfeld identifiziert und beachtet werden, lassen sich in der vorliegenden Machbarkeitsstudie jedoch nicht in der notwendigen Detailschärfe inhaltlich abbilden.

Nur eine Kombination mehrerer Maßnahmen wird zielführend sein

Da keine der bisher erforschten Barrieretechnologien zu 100 % effektiv war, kann, um die Ausbreitung invasiver Arten einzudämmen, nur eine Kombination mehrerer Maßnahmen zielführend sein. Dazu können technische Barrieren in Kanälen beitragen, werden aber nach dem momentanen Stand des Wissens nie allein ausreichend sein. Durch unzureichende Barrieren kann es zudem zu einer Art „Filtereffekt“ kommen, der besonders ausbreitungsstarke und widerstandsfähige Individuen selektiert, die dann wiederum eine Population auf der anderen Seite der Barriere aufbauen, die ähnliche „herausragende“ Merkmale aufweist (Bzonek et al. 2022). Andererseits könnte eine ausbreitungshemmende Barriere nachgelagerte Managementmaßnahmen einfacher und kostengünstiger machen, da die jeweiligen Startpopulationen deutlich reduziert sind.

Die prominenteste Artengruppe, zu der mit Abstand die meisten Untersuchungen bezüglich Ausbreitungsbarrieren durchgeführt wurden, stellen die asiatischen Karpfenarten in nordamerikanischen Gewässern dar (Bzonek et al. 2022, Murchy et al. 2017, Tix et al. 2018, Vetter et al. 2015). Andere Fischarten und Organismengruppen waren bisher eher selten Fokus der Untersuchungen, besonders solche, die in Deutschland relevant sind, bzw. zukünftig relevant werden könnten. Im Umgang mit invasiven Fischarten könnten elektrische Barrieren eingesetzt werden, die bisher eine hohe Effektivität im Rückhalt bestimmter Arten zeigen (vollständiger Rückhalt wird diskutiert) und bereits kommerziell eingesetzt werden. Diese Effektivität geht jedoch auch mit Auswirkungen auf die Schifffahrt und Nicht-Zielarten einher. Eine potentielle Technologie, die geringere „Nebenwirkungen“ zeigt und auch bereits im Anwendungsmaßstab verfügbar ist, ist eine Barriere, die einen Luftblasenschleier mit akustischen und stroboskopischen Lichtsignalen kombiniert (BAFF). Hier zeigt sich für die bisher untersuchten Zielarten jedoch auch eine geringere Barrierewirkung.

Zur Optimierung von Maßnahmen ist noch Forschung notwendig

Trotz vielversprechender Ansätze zum Einsatz von Barrieretechnologien für invasive Fischarten, sollte deren direkte Umsetzung in deutschen prioritären Kanälen (z.B. Main-Donaukanal) in Pilotvorhaben getestet und mit entsprechender Grundlagenforschung begleitet werden.

Alle anderen untersuchten Barrieretechnologien benötigen vor einem zielführenden Einsatz in Kanälen noch weitergehende Forschung, besonders im Freiland und Anwendungsmaßstab, oder haben bereits im Labormaßstab nicht die gewünschte Wirkung gezeigt. Besonders die strömungsbedingte Ausbreitung z.B. durch die Wasserüberleitung in Kanälen von Organismen oder deren Propagationsformen können durch Verhaltensbarrieren nicht oder nur bedingt eingedämmt werden. Hier müssen physische Barrieren eingesetzt werden, oder solche, die die driftenden Organismen abtöten. Hierzu zeigt sich die Ozonierung von möglichst abgeschlossenen Kanalabschnitten wie Schleusenbecken besonders vielversprechend, da sie einen Kompromiss zwischen Effektivität und Umweltauswirkungen darstellt. Gleichzeitig birgt die Ozonierung aber auch ein gewisses Gesundheitsrisiko für den Menschen. Die dazu nötigen Technologien sind jedoch noch nicht ausreichend entwickelt, die Wirkung auf Zielarten und Umwelt nicht vollständig geklärt und ein entsprechender Forschungsaufwand ist notwendig.

5.4 Quellen

- Bajer, P., Hundt, P., Kukulski, E., Kocian, M. (2022): Field test of an electric deterrence and guidance system during a natural spawning migration of invasive common carp. *Management of Biological Invasions* 13 (1): 204-219.
- Bajer, P., Claus, A., Wein, J., Kukulski, E. (2018): Field test of a low-voltage, portable electric barrier to guide invasive common carp into a mock trap during seasonal migrations. *Management of Biological Invasions* 9 (3): 291-297.
- Bierbower, S., Cooper, R. (2010): The effects of acute carbon dioxide on behavior and physiology in *Procambarus clarkii*. *Journal of experimental zoology. Part A, Ecological genetics and physiology* 313 (8): 484-497.
- BMDV, Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2021): Erhaltung und Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit der Bundeswasserstraßen. Priorisierungskonzept und Maßnahmenpriorisierung des BMDV Aktualisierung 2021. Berlin: 32 S.
- BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2021): Bekanntmachung des ersten Aktionsplans über die Prävention und das Management der Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten vom 21. Juni 2021. *Bundesanzeiger, BAnz AT 9.8.2021 B3*: 42 S.
- BMUV, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2022): Fischsterben in der Oder, August 2022 – Statusbericht, Stand 30.09.2022. Berlin: 34 S.
- Brinkmeier, B., Aufleger, M., Böttcher, H., Unfer, G., Zeiringer, B. (2016): Der Elektro-Seilrechen als Fischschutzeinrichtung an Kleinwasserkraftanlagen. Universität Innsbruck. Innsbruck: 3 S.
- Buley, R., Hasler, C., Tix, J., Suski, C., Hubert, T. (2017): Can ozone be used to control the spread of freshwater Aquatic Invasive Species? *Management of Biological Invasions* 8 (1): 13-24.
- Bzonek, P., Edwards, P., Hasler, C., Suski, C., Boonstra, R., Mandrak, N. (2022): Detering the Movement of an Invasive Fish: Individual Variation in Common Carp Responses to Acoustic and Stroboscopic Stimuli. *Transactions of the American Fisheries Society* 151 (1): 112-123.
- Bzonek, P., Kim, J., Mandrak, N. (2021): Individual variation influences avoidance behaviour of invasive common carp (*Cyprinus carpio*) and native buffalo (*Ictiobus*) to stroboscopic and acoustic deterrents. *Marine and Freshwater Research* 72 (11): 1682.
- Cech, J., Mussen, T. (2010): Vibrating or Flashing Screens: Investigating Fish,s Ability to avoid Screens and Louvers using Vibrations and Strobe Lights as Deterrence. University of California, Davis: 48 S.

- Chapman, D., Benson, A., Embke, H., King, N., Kočovský, P., Lewis, T., Mandrak, N. (2021): Status of the major aquaculture carps of China in the Laurentian Great Lakes Basin. *Journal of Great Lakes Research* 47 (1): 3-13.
- Clarkson, R. (2004): Effectiveness of Electrical Fish Barriers Associated with the Central Arizona Project. *North American Journal of Fisheries Management* 24 (1): 94-105.
- Coast Guard (2018): Regulated Navigation Area, Chicago Sanitary and Ship Canal, Romeoville, IL. Rules and Regulations. 83. Aufl. Department of Homeland Security 139: 5 S.
- Cupp, A., Erickson, R., Fredricks, K., Swyers, N., Hatton, T., Amberg, J. (2017): Responses of invasive silver and bighead carp to a carbon dioxide barrier in outdoor ponds. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 74 (3): 297-305.
- Davis, J., LeRoy, J., Shanks, M., Jackson, P., Engel, F., Murphy, E., Baxter, C., Trovillion, J., McInerney, M., Barkowski, N. (2017): Effects of tow transit on the efficacy of the Chicago Sanitary and Ship Canal Electric Dispersal Barrier System. *Journal of Great Lakes Research* 43 (6): 1119-1131.
- DBU, Deutsche Bundesstiftung Umwelt (2023): Untersuchung der Möglichkeiten der Anwendung und Effektivität verschiedener akustischer Scheueinrichtungen zum Schutz der Fischfauna vor Turbinenschäden | Projektdatenbank. Osnabrück. https://www.dbu.de/projekt_15864/01_db_2409.html (letzter Zugriff: 09.03.2023)
- Dennis III, C. (2019): Evaluating the ability of sound, an air curtain, and high-intensity light, both alone and together, to deter bighead and common carps. Dissertation. University of Minnesota, Minnesota: 174 S.
- Department of Homeland Security (2018): Regulated Navigation Area, Chicago Sanitary and Ship Canal, Romeoville, IL. 33 CFR 165.923 (Oct. 18, 2023). Department of Homeland Security, Washington: 3 S.
- Dermott, R., Spence, H. (1984): Changes in Populations and Drift of Stream Invertebrates Following Lampricide Treatment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 41: 1695-1701.
- Dettmers, J., Boisvert, B., Barkley, T., Sparks, R. (2005): Potential impact of steel-hulled barges on movement of fish across an electric barrier to prevent the entry of invasive carp into Lake Michigan. US Fish and Wildlife Service, Center for Aquatic Ecology, Leesburg Pike: 20 S.
- ECHA, European Chemicals Agency (2023): BAS Factsheet Rotenon. (2R,6aS,12aS)-1,2,6,6a,12,12a-hexa-hydro-2-isopropenyl-8,9-dimethoxychromeno[3,4-b]furo[2,3-h]chromen-6-one (Rotenone). Helsinki: 1 S.
- Egg, L., Pander, J., Mueller, M., Geist, J. (2019): Effectiveness of the electric fish fence as a behavioural barrier at a pumping station. *Marine and Freshwater Research* 70 (10): 1-6.
- Egly, R., Polak, R., Cook, Z., Moy, H., Staunton, J., Keller, R. (2021): Development and First Tests of a Lab-Scale Electric Field for Investigating Potential Effects of Electric Barriers on Aquatic Invasive Invertebrates. *Frontiers in Ecology and Evolution* 9: Nr. 631762.
- Fredricks, K., Hubert, T., Amberg, J., Cupp, A., Dawson, V. (2021): Chemical Controls for an Integrated Pest Management Program. *North American Journal of Fisheries Management* 41 (2): 289-300.
- Fritts, A., Gibson-Reinemer, D., Stanton, J., Mosel, K., Brey, M., Vallazza, J., Appel, D., Faulkner, J., Tompkins, J., Castro-Santos, T., Sholtis, M., Turnpenny, A., Sorensen, P., Simmonds, R. (2023): Multimodal Invasive Carp Deterrent Study at Barkley Lock and Dam—Status Update through 2022. U.S. Geological Survey Open-File Report 2023-1051: 18 S.
- Glaze, W. (1987): Drinking-water treatment with ozone. *Environ. Sci. Technol.* 21 (3): 224-230.
- Hamilton, B., Moore, S., Williams, T., Darby, N., Vinson, M. (2009): Comparative Effects of Rotenone and Antimycin on Macroinvertebrate Diversity in Two Streams in Great Basin National Park, Nevada. *North American Journal of Fisheries Management* 29 (6): 1620-1635.

- Hasler, C., Bouyoucos, I., Suski, C. (2017): Tolerance to Hypercarbia Is Repeatable and Related to a Component of the Metabolic Phenotype in a Freshwater Fish. *Physiological and biochemical zoology* 90 (5): 583-587.
- HyFish GmbH (2023): Technisches Prinzip Seilrechen FishProtector. <https://www.seilrechen.at/deutsch/fishprotector/prinzip-des-fishprotectors/> (letzter Zugriff: 18.04.2023)
- IGB, Leibnitz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (2022): Die Zukunft der Oder. Forschungsbasierte Handlungsempfehlungen nach der menschengemachten Umweltkatastrophe. IGB Policy Brief. Berlin: 9 S.
- Jeffrey, K., Beamish, F., Ferguson, S., Kolton, R., MacMahon, P. (1986): Effects of the lampricide, 3-trifluoromethyl-4-nitrophenol (TFM) on the macroinvertebrates within the hyporheic region of a small stream. *Hydrobiologia* 134: 43-51.
- Jerde, C. (2021): Can we manage fisheries with the inherent uncertainty from eDNA? *Journal of Fish Biology* 98 (2): 341-353.
- Jesus, J., Cortes, R., Teixeira, A. (2021): Acoustic and Light Selective Behavioral Guidance Systems for Freshwater Fish. *Water* 13 (6): 745.
- Jesus, J., Teixeira, A., Natário, S., Cortes, R. (2019): Repulsive Effect of Stroboscopic Light Barriers on Native Salmonid (*Salmo trutta*) and Cyprinid (*Pseudochondrostoma duriense* and *Luciobarbus bocagei*) Species of Iberia. *Sustainability* 11 (5): 1332.
- Johnson, N., Snow, B., Bruning, T., Jubar, A. (2021): A seasonal electric barrier blocks invasive adult sea lamprey (*Petromyzon marinus*) and reduces production of larvae. *Journal of Great Lakes Research* 47: 310-319.
- Johnson, N., Miehl, S., O'Connor, L., Bravener, G., Barber, J., Thompson, H., Tix, J., Bruning, T. (2016): A portable trap with electric lead catches up to 75% of an invasive fish species. *Scientific Reports* 6: 28430.
- Johnson, N., Siefkes, M., Li, W. (2005): Capture of Ovulating Female Sea Lampreys in Traps Baited with Spermiating Male Sea Lampreys. *North American Journal of Fisheries Management* 25 (1): 67-72.
- Kates, D., Dennis, C., Noatch, M., Suski, C. (2012): Responses of native and invasive fishes to carbon dioxide: potential for a nonphysical barrier to fish dispersal. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 69 (11): 1748-1759.
- Keetels, G., Uittenbogaard, R., Cornelisse, J., Villars, N., van Pagee, H. (2011): Field Study and supporting Analysis of Air Curtains and other Measures to reduce Salinity transport through Shipping Locks. *Irrigation and Drainage* 60 (S1): 42-50.
- Keuneke, R., Anderer, P., Hermens, G., Pietzsch, B., Mannmann, E., Schwevers, U., Adam, B., Mögeltönder-Löwenberg, S., Lehmann, B. (2021): Evaluierung von Maßnahmen zur Wiederherstellung der Durchgängigkeit gemäß § 35 WHG. *Naturschutz und biologische Vielfalt* 173: 591 S.
- Kim, J., Bondy, C., Chandler, C., Mandrak, N. (2019): Behavioural Response of Juvenile Common Carp (*Cyprinus carpio*) and Juvenile Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*) to Strobe Light. *Fishes* 4 (2): 29.
- Kim, J., Mandrak, N. (2017): Effects of strobe lights on the behaviour of freshwater fishes. *Environmental Biology of Fishes* 100 (11): 1427-1434.
- Kim, J., Mandrak, N. (2016): Assessing the potential movement of invasive fishes through the Welland Canal. *Journal of Great Lakes Research* 42 (5): 1102-1108.
- Knight, J. (2010): The feasibility of excluding alien redfin perch from Macquarie habitat in the Hawkesbury-Nepean Catchment. *Industry & Investment NSW-Fisheries Final Report Series No. 121: 55 S.*

- Ladich, F., Fay, R. (2013): Auditory evoked potential audiometry in fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 23 (3): 317-364.
- LeRoy, J., Davis, J., Shanks, M., Jackson, P., Murphy, E., Baxter, C., Trovillion, J., McNerney, M. (2019): Efficacy of increasing discharge to reduce tow-mediated fish passage across an electric dispersal barrier system in a confined channel. *Journal of Great Lakes Research* 45 (6): 1320-1331.
- McNerney, M., Aubin, B., Trovillion, J., Baxter, C., Trovillion, E., Hock, V., JR., Weir, D. (2011): In-Water Testing of Aquatic Nuisance Species Dispersal Barriers IIA And IIB with Increased Voltage and Frequency Operating Parameters. US Army Corps of Engineers, Washington: 143 S.
- Moy, P., Polls, I., Dettmers, J. (2011): The Chicago sanitary and ship canal aquatic nuisance species dispersal barrier. *American Fisheries Society Symposium* 74: 121-137.
- Murphy, K., Davies, H., Shafer, H., Cox, K., Nikolich, K., Juanes, F. (2020): Impacts of noise on the behavior and physiology of marine invertebrates: A meta-analysis. 178th Meeting of the Acoustical Society of America, San Diego: 14 S.
- Murphy, K., Cupp, A., Amberg, J., Vetter, B., Fredricks, K., Gaikowski, M., Mensinger, A. (2017): Potential implications of acoustic stimuli as a non-physical barrier to silver carp and bighead carp. *Fisheries Management and Ecology* 24 (3): 208-216.
- Noatch, M., Suski, C. (2012): Non-physical barriers to deter fish movements. *Environmental Reviews* 20 (1): 71-82.
- O'Farrell, M., Burger, C., Crump, R., Smith, K. (2014): Blocking or guiding upstream-migrating fish: a commentary on the success of the graduated field electric fish barrier. *WIT Transactions on State-of-the-art in Science and Engineering* 71: 165-175.
- Parker, A., Glover, D., Finney, S., Rogers, P., Stewart, J., Simmonds, R. (2015): Direct observations of fish incapacitation rates at a large electrical fish barrier in the Chicago Sanitary and Ship Canal. *Journal of Great Lakes Research* 41 (2): 396-404.
- Parker, A., Rogers, P., Steward, J., Glover, D., Finney, S., Simmonds Jr., R. (2014): Fish Behavior and Abundance at the Electric Dispersal Barrier in the Chicago Sanitary and Shipping Canal at Reduced and Current Voltage Operating Parameters. Region 3 Final Report 2015. U.S. Fish and Wildlife Service, Marion: 98 S.
- Partensky, H.-W. (1986): *Binnenverkehrswasserbau. Schleusenanlagen*. Springer, Berlin, Heidelberg: 433 S.
- Perry, R., Romine, J., Adams, N., Blake, A., Burau, J., Johnston, S., Liedtke, T. (2014): Using a non-physical behavioural barrier to alter migration routing of juvenile Chinook Salmon in the Sacramento-San Joaquin River Delta. *River Research and Applications* 30 (2): 192-203.
- Popper, A., Hice-Dunton, L., Jenkins, E., Higgs, D., Krebs, J., Mooney, A., Rice, A., Roberts, L., Thomsen, F., Vigness-Raposa, K., Zeddies, D., Williams, K. (2022): Offshore wind energy development: Research priorities for sound and vibration effects on fishes and aquatic invertebrates. *The Journal of the Acoustical Society of America* 151 (1): 205.
- Popper, A., Carlson, T. (1998): Application of sound and other stimuli to control fish behavior. *Transactions of the American Fisheries Society* 127: 673-707.
- Sager, D., Hocutt, C. (1987): Estuarine Fish Responses to Strobe Light, Bubble Curtains and Strobe Light/Bubble-Curtain Combinations as Influenced by Water Flow Rate and Flash Frequencies. *Fisheries Research* 5: 383-399.
- Sepulveda, A., Ray, A., Al-Chokhachy, R., Muhlfeld, C., Gresswell, R., Gross, J., Kershner, J. (2012): Aquatic Invasive Species: Lessons from Cancer Research. *American Scientist* 100: 234-242.
- Sorensen, P., Johnson, N. (2016): Theory and Application of Semiochemicals in Nuisance Fish Control. *Journal of Chemical Ecology* 42 (7): 698-715.

- Sorensen, P., Stacey, N. (2004): Brief review of fish pheromones and discussion of their possible uses in the control of non-indigenous teleost fishes. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 38 (3): 399-417.
- Suski, C. (2020): Development of Carbon Dioxide Barriers to Deter Invasive Fishes: Insights and Lessons Learned from Bigheaded Carp. *Fishes* 5 (3): Nr. 25.
- Tidau, S., Briffa, M. (2016): Review on behavioral impacts of aquatic noise on crustaceans. Fourth International Conference on the Effects of Noise on Aquatic Life 10–16 July 2016 Dublin. *Proceedings of Meetings on Acoustics* 27: Nr. 010028.
- Tix, J., Cupp, A., Smerud, J., Erickson, R., Fredricks, K., Amberg, J., Suski, C. (2018): Temperature dependent effects of carbon dioxide on avoidance behaviors in bigheaded carps. *Biological Invasions* 20 (11): 3095-3105.
- Travade, F., Larinier, M. (2006): French Experience In Downstream Migration devices. Internationales DWA-Symposium zur Wasserwirtschaft 3.-7. April 2006. DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef: 11 S.
- Tucker, E., Suski, C., Philipp, M., Jeffrey, J., Hasler, C. (2019): Glucocorticoid and behavioral variation in relation to carbon dioxide avoidance across two experiments in freshwater teleost fishes. *Biological Invasions* 21 (2): 505-517.
- Tutzer, R., Röck, S., Walde, J., Zeiringer, B., Unfer, G., Führer, S., Brinkmeier, B., Haug, J., Aufleger, M. (2021): Ethohydraulic experiments on the fish protection potential of the hybrid system FishProtector at hydropower plants. *Ecological Engineering* 171: Nr. 106370.
- UBA, Umweltbundesamt (2023): Gesundheitsrisiken durch Ozon. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-gesundheit/gesundheitsrisiken-durch-ozon#weniger-bodennahe-ozonist-moglich> (Letzter Zugriff 09.04.2024)
- UBA, Umweltbundesamt (2015): Biozidprodukte. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/biozide/biozidprodukte> (Letzter Zugriff 09.04.2024)
- Vetter, B., Cupp, A., Fredricks, K., Gaikowski, M., Mensinger, A. (2015): Acoustical deterrence of Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*). *Biological Invasions* 17 (12): 3383-3392.
- Wagner, C., Stroud, E., Meckley, T. (2011): A deathly odor suggests a new sustainable tool for controlling a costly invasive species. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 68 (7): 1157-1160.
- Wagner, C., Jones, M., Twohey, M., Sorensen, P. (2006): A field test verifies that pheromones can be useful for sea lamprey (*Petromyzon marinus*) control in the Great Lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63 (3): 475-479.
- Wiegleb, J., Hirsch, P., Seidel, F., Rauter, G., Burkhardt-Holm, P. (2022): Flow, force, behaviour: assessment of a prototype hydraulic barrier for invasive fish. *Hydrobiologia* 849 (4): 1001-1019.
- Zolper, T., Smith, D., Jackson, P., Cupp, A. (2022): Performance of a Carbon Dioxide Injection System at a Navigation Lock to Control the Spread of Aquatic Invasive Species. *Journal of Environmental Engineering* 148 (4): Nr. 04022011.
- Zolper, T., Cupp, A., Smith, D. (2019): Investigating the Mixing Efficiencies of Liquid-to-Liquid Chemical Injection Manifolds for Aquatic Invasive Species Management. *Journal of Fluids Engineering* 141 (3): Nr. 031302.

6 Empfehlungen zur Vorbereitung und Umsetzung der zweiten Aktionsphase

Stefan Nehring¹, Julius Gorenz², Melina Klarl², Joachim Pander² und Jürgen Geist²

¹ Bundesamt für Naturschutz, Bonn

² Technische Universität München, Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie, Freising

Der erste deutsche Aktionsplan – Die Maßnahme Migrationsbarrieren in Kanälen

Gemäß der Verordnung (EU) Nr. 1143/2014 über die Prävention und das Management der Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten erstellt jeder Mitgliedstaat der Europäischen Union einen Aktionsplan mit Maßnahmen, die die nicht vorsätzliche Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten verhindern sollen. Der erste deutsche Aktionsplan wurde unter Federführung des Bundesamtes für Naturschutz entwickelt und nach Durchführung festgeschriebener Abstimmungsprozesse durch das Bundesumweltministerium (BMU) im Bundesanzeiger am 9. August 2021 veröffentlicht (BMU 2021; siehe auch Kap. 1). Für die Entwicklung des Aktionsplans musste zunächst festgelegt werden, welche Einbringungs- und Ausbreitungspfade mit entsprechenden Maßnahmen belegt werden sollen. Invasive gebietsfremde Arten können auf unterschiedlichen Pfaden in einem Gebiet ankommen (Einführungspfade), in die freie Natur (außerhalb menschlicher Obhut) gelangen (Ausbringungspfade) und sich dann ausbreiten (Ausbreitungspfade). Rabitsch et al. (2018) identifizierten 37 für Deutschland relevante Pfade für die nicht vorsätzliche Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten, von denen 14 Pfade als prioritär eingestuft wurden. Pfade gelten als prioritär, wenn die Artenzahl oder der potenzielle Schaden, den die über diese Pfade in die Europäische Union gelangenden Arten verursachen, prioritäre Maßnahmen erfordern.

Im Rahmen des prioritären Pfades „Eigenständige Bewegung entlang von Kanälen oder Wasserstraßen“ wurde im Aktionsplan „Forschung zu Migrationsbarrieren und technischen Absperrungen in Schifffahrtskanälen“ als Maßnahme festgeschrieben. Da gemäß Art. 13 Abs. 5 EU-Verordnung für jede Maßnahme ein Zeitplan zu erstellen ist, wurden, um eine stufenweise Herangehensweise bei der Entwicklung der Maßnahme zu ermöglichen, zwei Aktionsphasen festgelegt:

- **Aktionsphase bis 2023:** Planung und Durchführung eines Forschungs- und Entwicklungsvorhabens zur Erstellung einer Machbarkeitsstudie, z.B. im Rahmen des Ressortforschungsplans des BMU
- **Aktionsphase 2024 bis 2029:** Erarbeitung von Konzepten und Empfehlungen zur Entwicklung von Maßnahmen

Die erste Aktionsphase ist mit der hier vorliegenden Machbarkeitsstudie erfolgreich abgeschlossen worden. Durch das Bundesamt für Naturschutz war im Rahmen des REFOPLAN des BMU ein entsprechendes F+E-Vorhaben konzipiert, vergeben und durchgeführt worden. In der Machbarkeitsstudie wurden erstmals in übergreifender Form spezifische Grundlagen zum Thema Umfang und Verhinderung unabsichtlicher Einbringung und Ausbreitung gebietsfremder aquatischer Arten durch Schifffahrtskanäle erarbeitet, die mithilfe bilateraler Gespräche mit Expertinnen und Experten aller potenziell betroffenen Sektoren sowie einer projektbegleitenden Arbeitsgruppe diskutiert, konkretisiert und weiterentwickelt wurden. Die Projektbe-

gleitende Arbeitsgruppe hat zweimal per Videokonferenz getagt und hatte die Möglichkeit, alle Teilberichte (siehe Kap. 2, 3, 4 und 5) vorab im Entwurf zu prüfen und zu kommentieren.

Empfehlungen zur Vorbereitung und Umsetzung der zweiten Aktionsphase

Auf Grundlage der vorliegenden Ergebnisse und Erkenntnisse lassen sich die nachfolgenden Empfehlungen zur Vorbereitung und Umsetzung der anstehenden zweiten Aktionsphase (2024-2029) und darüber hinaus ableiten. Hauptziel ist die Umsetzung von Pilotvorhaben mit Einsatz und Weiterentwicklung von Maßnahmen zur Verhinderung oder Minimierung des Faunen- und Florentransfers in prioritären Schifffahrtskanälen wie dem Main-Donau-Kanal. Hierzu werden begleitend Forschungsvorhaben zur Klärung fachtechnischer und fachjuristischer Fragen notwendig sein.

Vorhandenes Wissen beachten – erweitertes Wissen generieren

- Ergebnisse aus F+E-Vorhaben „Machbarkeitsstudie zur Maßnahme Migrationsbarrieren in Kanälen“ beachten und erweitertes Wissen mit Hinblick auf nachfolgende Fragen generieren.
- Welche schon vorhandenen und welche noch nicht vorhandenen invasiven aquatischen Arten könnten in Zukunft relevant für Maßnahmen in deutschen Schifffahrtskanälen werden?
- Über welche als prioritär eingestuft Kanäle könnten diese Arten ausgebreitet werden?
- Welche Maßnahmen (-kombinationen) in Kanälen können gegen diese Arten wirksam sein?
- Welche Maßnahmen könnten in Kanälen schon Anwendung finden?
- Für welche Maßnahmen wären noch ergänzende Labor-/Freilandversuche notwendig?
- Welche realistischen Wirkungen der Maßnahmen sollten im Hinblick auf die gewünschten Zielsetzungen erreicht werden?

Anwendung prüfen

- Welche der betroffenen prioritären Schifffahrtskanäle wären für Maßnahmen im Rahmen von Pilotvorhaben und dauerhaft geeignet?
- Welche potentiellen Standorte sind für Maßnahmen in den jeweiligen Kanälen vorhanden und welche Standorte sind am Besten geeignet (u.a. Prüfung Besitzverhältnisse, Infrastruktur, natürliche Begebenheiten, Kostenwirksamkeit, Ausschlusskriterien)?
- Welche Konfliktpotenziale bei Umsetzung von Maßnahmen sind zu erwarten und wie könnten diese analysiert, diskutiert und einvernehmlich gelöst werden?

Rechtliche Rahmenbedingungen definieren

- Wem obliegen welche Zuständigkeiten bei Planung, Genehmigung und Umsetzung einer Maßnahme in einem betroffenen Schifffahrtskanal?

- Welche Gesetzesgrundlagen sind für die Genehmigung einer Maßnahme in einem Kanal relevant?
- Besteht ein Harmonisierungsbedarf zwischen verschiedenen nationalen und internationalen Rechtsinstrumenten (u.a. Natur- und Umweltschutzgesetzgebungen, Wasserrecht, Wasserstraßenrecht) und wie könnten ggf. konträre Ziele angeglichen werden, um die unabsichtliche Einbringung und Ausbreitung invasiver aquatischer Arten über Kanäle zu verhindern oder zu minimieren?
- Gibt es rechtliche Lücken bzw. rechtliche Widersprüche in einem potentiellen Genehmigungsverfahren und wie könnten ggf. diese Probleme gelöst werden?
- Welche weiteren Lösungen auch außerhalb von Rechtsinstrumenten sind notwendig, um naturschutzfachliche, ökologische, wasserwirtschaftliche und verkehrliche Aspekte und Ziele integrativ zu verknüpfen?

Zweite Aktionsphase realisieren – nachfolgende Aktionsphasen planen

- Im Zentrum steht die Berücksichtigung naturschutzfachlicher Erfordernisse zum Schutz der biologischen Vielfalt vor gebietsfremden Arten beim Betrieb von Schifffahrtskanälen.
- Der Schwerpunkt anstehender Aufgaben und Arbeiten liegt auf fachtechnischen und rechtlichen Fragen mit Bezug auf Bundeswasserstraßen.
- Der Verkehrs- und Wasserwirtschaftssektor des Bundes ist direkt betroffen und sollte zukünftig federführende Aktivitäten übernehmen.
- Neben notwendigen Maßnahmen in prioritären deutschen Schifffahrtskanälen sollten Überlegungen forciert werden, wie Regelungen und Vereinbarungen zu Maßnahmen in prioritären Kanälen anderer europäischer Staaten umgesetzt werden könnten, um die Prävention bei der eigenständigen Ausbreitung gebietsfremder Arten in den Binnengewässern Europas bestmöglich zu gewährleisten.
- Die Ausgestaltung der Aktionsphasen 2024ff und ihrer Inhalte sowie die Festlegung der zukünftigen Akteure und Kooperationspartner sind im Rahmen der aktuell laufenden Überarbeitung des Aktionsplans, der eine Laufzeit von 2025 bis 2031 haben wird, zu diskutieren und festlegen.

Literaturverzeichnis

- BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2021): Bekanntmachung des ersten Aktionsplans über die Prävention und das Management der Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten vom 21. Juni 2021. Bundesanzeiger, BAnz AT 9.8.2021 B3: 42 S.
- BNatSchG, Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz) vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 8. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2240) geändert worden ist.
- CBD, Convention on Biological Diversity (2002): Decision: Alien species that threaten ecosystems, habitats or species. VI/23. In: Sixth Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity. The Hague, Netherlands: 7-19.
- DWSV, Deutscher Wasserstraßen- und Schifffahrtsverein Rhein-Main-Donau e.V. (2023): Die Bundeswasserstraßen gliedern sich nach dem Wasserwegerecht in Binnenwasserstraßen und Seewasserstraßen. Nürnberg. <https://www.schifffahrtsverein.de/wasserstrassennetz/> (Letzter Zugriff: 11.11.2023)
- EU-VO, Verordnung (EU) Nr. 1143/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Oktober 2014 über die Prävention und das Management der Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten. Amtsblatt der Europäischen Union L 317: 35-55.
- IPBES, Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (2019): Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. In: Brondizio, E.S., Settele, J., Díaz, S., Ngo, H.T. (eds.), IPBES Secretary, Bonn: 1148 S.
- Mayer, K., Heger, T., Kühn, I., Nehring, S., Gaertner, M. (2023a): Germany's first Action plan on the pathways of invasive alien species to prevent their unintentional introduction and spread. *Neobiota* 89: 209-227.
- Mayer, K., Heger, T., Kühn, I., Tiesmeyer, A., Nehring, S., Gaertner, M. (2023b): Deutschlands erster Aktionsplan: Präventive Maßnahmen gegen die unbeabsichtigte Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten entlang prioritärer Pfade. *Natur und Landschaft* 98: 562-568.
- Mayer, K., Heger, T., Kühn, I., Tiesmeyer, A., Nehring, S., Gaertner, M. (2024): Erster Aktionsplan für die nicht vorsätzliche Einbringung und Ausbreitung invasiver Arten gemäß Verordnung (EU) Nr. 1143/2014: Grundlagen, Inhalte und Ausblick. *BfN-Schriften* 691: 158 S.
- Nehring, S. (2015): Invasive Arten: Vorsorge ist der beste Schutz! *Jahrbuch für Naturschutz und Landschaftspflege* 60: 90-97.
- Nehring, S., Rabitsch, W., Kowarik, I., Essl, F. (Hrsg.) (2015): Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde Wirbeltiere. *BfN-Skripten* 409: 222 S.
- Rabitsch, W., Nehring, S. (Hrsg.) (2017): Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde aquatische Pilze, Niedere Pflanzen und Wirbellose Tiere. *BfN-Skripten* 458: 220 S.
- Rabitsch, W., Heger, T., Jeschke, J., Saul, W.-S., Nehring, S. (2018): Analyse und Priorisierung der Pfade nicht vorsätzlicher Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten in Deutschland gemäß der Verordnung (EU) Nr. 1143/2014 / Analysis and prioritisation of pathways of unintentional introduction and spread of invasive alien species in Germany in accordance with Regulation (EU) No 1143/2014. *BfN-Skripten* 490: 103 S.
- Vilà, M., Basnou, C., Pyšek, P., Josefsson, M., Genovesi, P., Gollasch, S. et al. (2010): How well do we understand the impacts of alien species on ecosystem services? A pan-European, cross-taxa assessment. *Frontiers in Ecology and the Environment* 8: 135-144.

Die „BfN-Schriften“ sind eine seit 1998 unperiodisch erscheinende Schriftenreihe in der institutionellen Herausgeberschaft des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) in Bonn. Sie sind kurzfristig erstellbar und enthalten u.a. Abschlussberichte von Forschungsvorhaben, Workshop- und Tagungsberichte, Arbeitspapiere oder Bibliographien. Viele der BfN-Schriften sind digital verfügbar. Printausgaben sind auch in kleiner Auflage möglich.

DOI 10.19217/skr704



Bundesamt für
Naturschutz