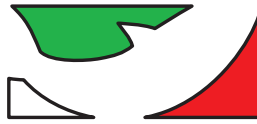


Jost Borchering  
Svenja Gertzen

**Die aktuelle Fischbestandsdynamik  
am Rhein unter besonderer  
Berücksichtigung invasiver Grundeln**

Monitoring und adaptives Management  
für eine nachhaltige Fischerei und  
eine Verbesserung des ökologischen Potentials  
am Rhein





# **Fischereiverband**

Nordrhein-Westfalen e.V.

## **Die aktuelle Fischbestandsdynamik am Rhein unter besonderer Berücksichtigung invasiver Grundeln**

Monitoring und adaptives Management für eine nachhaltige Fischerei  
und eine Verbesserung des ökologischen Potentials am Rhein

Ergebnisbericht zum Forschungsprojekt  
durchgeführt von  
PD Dr. Jost Borchering & M.Sc. Svenja Gertzen  
Institut für Zoologie der Universität zu Köln  
Allgemeine Ökologie  
Ökologische Forschungsstation Grietherbusch

im Auftrag des  
Fischereiverbandes Nordrhein-Westfalen e.V.

Bearbeitung Institut für Zoologie der Universität zu Köln  
Allgemeine Ökologie  
Ökologische Forschungsstation Grietherbusch  
PD Dr. Jost Borchering & M.Sc. Svenja Gertzen

Fischereiverband NRW e.V.  
Sprakeler Str. 409, 48159 Münster  
Dr. Michael Möhlenkamp, Telefon: 0251/48271-19  
mkp@lfv-westfalen.de | www.lfv-westfalen.de

Herausgeber: Fischereiverband Nordrhein-Westfalen e.V.  
Sprakeler Str. 409  
48159 Münster

Titelfoto: Olaf Niepagenkemper

Fotos: Jost Borchering, Kristan Brenner, Emschergenossenschaft/Lippeverband,  
Daniel Fey, Olaf Niepagenkemper, Carsten Nolting, Marketa Ondračková,  
Rainer Stawikowski

Layout & Satz: Hubertus Wittmers,  
Medicom Marketing GmbH

Druck: Druckhaus Tecklenborg,  
Steinfurt

© 2016 Fischereiverband Nordrhein-Westfalen e.V.

Alle Rechte vorbehalten.  
Nachdruck nur mit Genehmigung des  
Fischereiverbandes Nordrhein-Westfalen e.V.

Printed in Germany

ISBN 978-3-9809545-1-8

Die vorliegende Arbeit wurde aus Mitteln der Fischereiabgabe gefördert.

# Inhalt

Vorwort .....	5
Kurzfassung .....	7
1. Einleitung .....	9
2. Entwicklung der Fischfauna im Rhein .....	11
3. Die ökologische Nische der invasiven Grundeln .....	25
1.1. Habitatwahl .....	25
1.2. Aktivität und Energiestoffwechsel .....	26
1.3. Reproduktion (Vermehrung) .....	28
1.4. Ernährung .....	31
1.5. Nahrungskonkurrenz mit heimischen Arten .....	32
1.6. Prädation auf Grundeln von einheimischen Räubern .....	35
4. Fördermaßnahmen für die einheimische Fischfauna .....	39
5. Empfehlungen für ein langfristiges Monitoring .....	44
6. Literatur .....	46

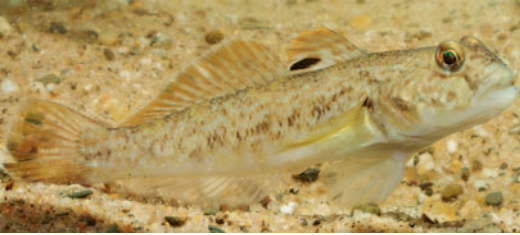
Invasive Grundeln im Rhein: Arten und Jahr des Erstnachweises



1999: *Proterorhinus semilunaris* (Marmorgrundel)



2006: *Ponticola kessleri* (Kesslergrundel)



2008: *Neogobius melanostomus* (Schwarzmundgrundel)



2008: *Neogobius fluviatilis* (Flussgrundel)

## Vorwort

Der Rhein hat als großer Niederungsstrom und herausragendes Fischgewässer eine besondere Bedeutung im Land Nordrhein-Westfalen, das er auf rund 250 km Lauflänge durchfließt. Auch wenn von der ursprünglichen – teilweise bis zu 30 km breiten – Auenlandschaft aufgrund von Trockenlegung und Deichbau nur noch kleine Reste vorhanden sind und der Rhein heute als Schifffahrtstraße stark ausgebaut ist, so kommt dem großen Strom mit seinen Zuflüssen und Nebengewässern bis hin zur Nordsee eine wichtige ökologische Rolle zu.

Nach dem Tiefpunkt mit einer akuten Gewässerverschmutzung in den 1970er-Jahren haben die nationalen und internationalen Bemühungen zur Verbesserung der Wasserqualität am Rhein bis heute Früchte getragen. Die meisten natürlichen Fischarten des Niederrheins (über 40 Arten) sind heute wieder vorhanden. Darunter sind neben den typischen Fluss- und Auenarten auch weit wandernde Fischarten wie z. B. Neunaugen, Lachs, Schnäpel, Maifisch und Flunder. Die schrittweise Erholung der Artenvielfalt im Rheinsystem ist somit ein gutes Beispiel für die Machbarkeit des Gewässerschutzes.

Im Zuge der EU-Wasserrahmenrichtlinie sollen künftig weitere Maßnahmen zur Verbesserung des ökologischen Zustands im Rheinhauptstrom und seiner Auenlandschaft ergriffen werden, um einem naturnahen Fließgewässersystem noch näher zu kommen. Der weitere Erfolg dieser ökologischen Maßnahmen ist ein wichtiges Zeichen am Wirtschaftsstandort Nordrhein-Westfalen. Gesunde Fischbestände sind ohne jeden Zweifel einer der wichtigsten Indikatoren für eine intakte aquatische Umwelt.

Im Rheinsystem kommen jedoch, wie in vielen anderen durch Menschen veränderten Ökosystemen, auch immer neue eingeschleppte Arten vor. Bei den tierischen Invasoren („Neozoen“) waren dies in den vergangenen Jahrzehnten gleich mehrere Arten von Muscheln, Krebsen und Fischen. Sie erschienen meist mit einer Massenentwicklung und pendelten sich dann häufig auf geringerem Bestandsniveau ein. Aktuell sind es nun verschiedene Grundel-Arten, die in den letzten Jahren in den Rhein eingeschleppt wurden und teilweise enorme Bestandsdichten entwickelt haben.

Um das Ökosystem Rhein und seine Fischbestände positiv weiterentwickeln zu können, müssen wir die bestehenden Störungen in der Gewässerlandschaft und auch die Wechselwirkungen mit eingeschleppten Arten wie den Grundeln verstehen lernen. Aus diesem Grund wurde die im vorliegenden Bericht beschriebene Studie aus Mitteln der Fischereiabgabe NRW, also finanziert von Anglern, gestartet. Ausgehend von den Ergebnissen dieser wissenschaftlichen Studie der Universität zu Köln werden dann weitere Schritte folgen.



Der Fischereiverband Nordrhein-Westfalen e.V. will vor Ort mit dem Rheinischen Fischereiverband von 1880 e.V., der Rheinfischereigenossenschaft NRW, den beteiligten Wissenschaftlern und den Fischereiverwaltungsstellen des Landes in den kommenden Jahren einen „fischökologischen Managementplan“ für den Rhein und seine Aue in NRW erstellen und so einen aktiven Beitrag dazu leisten, die Fischbestände und unsere Umwelt im Sinne des Gemeinwohls weiter zu schützen und zu stärken.

*Johannes Nüsse*  
Johannes Nüsse



Kesslergrundel

## Kurzfassung

Die Universität zu Köln (Institut für Zoologie, Außenstelle Rees-Grietherbusch) sollte in dem hier vorgestellten Projekt die Fischartengemeinschaften im Rhein und angebundenen Gewässern nach der Invasion der Grundeln untersuchen. Darauf basierend sollten Empfehlungen zum Management der Fische im Rhein sowie zu einem langfristigen und nachhaltigen Monitoringkonzept abgeleitet werden.

In den letzten 30 Jahren hat sich die Fischbiomasse des Rheins aufgrund reduzierter Primärproduktion um rund 90 % verringert. Nach ihrer Invasion machen die Grundeln durchschnittlich rund 70 % der Fischbiomasse aller Jungfische im Rhein aus. Die Untersuchungen belegen dabei eine hohe Konkurrenzstärke der Grundeln gegenüber der einheimischen Fischfauna um die begrenzte Nahrung im Rhein. Insbesondere Flussbarsch und Zander werden in ihrer Jugendentwicklung durch die Grundeln in einen „juvenile competitive bottleneck“ (sinngemäß übersetzt: Flaschenhals in der Jugendentwicklung durch starke Konkurrenz) gezwängt, bevor sie langfristig als erfolgreiche Räuber die Grundeln dezimieren könnten. Die Untersuchungen zeigen aber auch die überaus fein voneinander abgegrenzten ökologischen Nischen der drei invasiven Grundelarten Flussgrundel, Schwarzmaulgrundel und Kesslergrundel, wobei letztere vermutlich langfristig nicht mehr in „bedrohlichen“ Stückzahlen im Rhein vorkommen wird.

Abgeleitet aus den Ergebnissen wird ein nachhaltiges Management der Fischfauna des Rheins mit der Renaturierung und Wiedervernässung der noch vorhandenen Auengebiete vorgeschlagen, damit Arten wie Flussbarsch und Zander bessere Aufwuchsbedingungen erhalten. Zusätzliche Maßnahmen wären die Wiederansiedlung der Quappe als potentieller Grundelräuber sowie eine Etablierung von verschiedenen Nutzungsformen der invasiven Grundeln als Nahrung. Ohne jeden Zweifel bedarf es eines langfristigen Monitoringprogramms für die Fischfauna des Rheins mit einer Reihe verschiedener Methoden, damit kurzfristige Ereignisse wie die Invasion der Grundeln schneller erfasst werden, um rechtzeitig nachhaltige Managementmaßnahmen ergreifen zu können.





Der Rhein an der Lippemündung bei Wesel

## I. Einleitung

Die Invasionsbiologie beschäftigt sich im Detail mit so genannten Neobiota (als Neobiota bezeichnet man Arten, die sich ohne oder mit menschlicher Einflussnahme in einem Gebiet etabliert haben, in dem sie zuvor nicht heimisch waren; nach Wikipedia) und erforscht den Prozess und die Rahmenbedingungen der Etablierung und Ausbreitung dieser gebietsfremden Arten sowie genetische und ökologische Konsequenzen ihrer Invasion. Generell gelten alle Habitats als invasibel (MOYLE & LIGHT 1996; WILLIAMSON 1997), wobei diskutiert wird, dass durch den Menschen beeinflusste, degradierte (in ihrer Funktion verschlechterte) Habitats die Einwanderung begünstigen (DIDHAM ET AL. 2005 und Literatur darin), während Habitats mit hoher Diversität (Vielfalt der Strukturen und Arten) einer Einwanderung entgegenwirken (siehe Review von LEVINE 2000). Ponto-kaspische Grundeln besiedeln inzwischen nicht nur weite Teile Europas, sondern sind bis nach Nordamerika vorgedrungen (GRABOWSKA & GRABOWSKI 2005; VAN KESSEL ET AL. 2009; GOZLAN ET AL. 2010). Aktuell sind vier invasive Grundelarten im Rhein bekannt: die Marmorgrundel (*Proterorhinus semilunaris*, Pallas 1814), die Schwarzmaulgrundel (*Neogobius melanostomus*, Pallas 1814), die Kesslergrundel (*Ponticola kessleri*, Günther 1861) und die Flussgrundel (*N. fluviatilis*, Pallas 1814). Die fünfte invasive Grundelart, die Nackthalsgrundel (*Babka gymnotrachelus*, Kessler, 1857) wurde in Deutschland bisher nur in der Donau nachgewiesen (HAERTL ET AL. 2012). Alle diese Arten stammen ursprünglich aus dem ponto-kaspischen Raum (Schwarzes Meer, Kaspisches Meer, Asowsches Meer), wo sie sowohl marine als auch Süßwasserhabitats besiedeln (KOTTELAT & FREYHOF 2007). Während die Marmorgrundel bereits 1999 im Rhein nachgewiesen wurde (KOTTELAT & FREYHOF 2007), wanderten die anderen Arten erst in den letzten Jahren ein (VAN BEEK 2006; VAN KESSEL ET AL. 2009; BORCHERDING ET AL. 2011).

Mit den Untersuchungen im Projekt sollten wir uns einer Reihe von Projektzielen annähern, die sich zwei Kategorien zuordnen lassen, nämlich dem Verständnis von Invasionsprozessen am Beispiel der Grundeln und deren Auswirkungen auf die Fischartengemeinschaften im Rhein und angebundene Gewässern sowie der Entwicklung von Managementempfehlungen und der Etablierung eines langfristigen und nachhaltigen Monitoringkonzeptes. In diesem Ergebnisbericht werden wir den ersten Teil zur Rheinfischfauna und den invasiven Grundeln in drei Abschnitte untergliedern, die als Grundlage in den vierten Teil münden, den Empfehlungen zum langfristigen Monitoring am Rhein.

1. Die aktuelle Bestandsentwicklung der Fische im Rhein und ausgewählten Nebengewässern ist vor dem Hintergrund der Invasion ponto-kaspischer Grundeln zu bewerten. Hierbei liegt ein Schwerpunkt auf der Erfassung der Bestände im Uferbereich des Niederrheins, die in Beziehung zu langfristigen Datenreihen über die Entwicklung der Fischfauna im Rhein bewertet werden.
2. Dem Verständnis der ökologischen Nische (bezeichnet die Gesamtheit der biotischen und abiotischen Umweltfaktoren, die das Überleben einer Art beeinflussen. Einige Autoren umschreiben die ökologische Nische von Tieren auch als deren „Beruf“ oder „Planstelle“; nach Wikipedia) einzelner Fischarten im Rhein kommt eine zentrale Rolle zu, um funktionale Zusammenhänge im Invasionsprozess zu verstehen. Deshalb liegt der Schwerpunkt unserer

Analyse in der Konkurrenzsituation der einheimischen Fischfauna mit den invasiven Grundeln in ihren unterschiedlichen Altersstufen.

3. Aus den Ergebnissen wird die Entwicklung von geeigneten Förderungsmaßnahmen der heimischen Fischbestände, beispielsweise durch gezielte Förderung von Raubfischen wie Flussbarsch und Zander, Hegebefischungen, Habitatverbesserungen etc. abgeleitet und dargestellt.
4. Schließlich werden auf der Basis unserer Ergebnisse Schlussfolgerungen gezogen, welche Methoden in einem langfristigen Monitoringsystem für den Rhein zu etablieren sind, damit aktuelle und zukünftige Entwicklungen der gesamten Fischfauna unter wechselnden Umweltbedingungen (Oligotrophierung, Klimawandel) erfasst und abgebildet werden können.



Flussgrundel

## 2. Entwicklung der Fischfauna im Rhein

Wenn man die aktuelle Rheinfischfauna vor dem Hintergrund der Invasion der Grundeln seit 2006 beurteilen will, dann kann dieses nur über den Vergleich mit Daten erfolgen, die vor der Grundelinvasion erhoben wurden. Und genau hier stößt man auf ein grundlegendes Problem: Es gibt nur sehr wenige Daten, die für einen solchen Vergleich geeignet wären.

Datenreihen über die Entwicklung der Biomasse der Fischfauna im Rhein wurden von uns anhand der Elektrobefischungen des Landesamts für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) NRW erarbeitet. Dabei wurden die dort erhobenen Anzahlen von Fischen pro befischte Strecke in standardisierte Biomassen (Gewicht pro Flächeneinheit) umgerechnet und vergleichend analysiert.

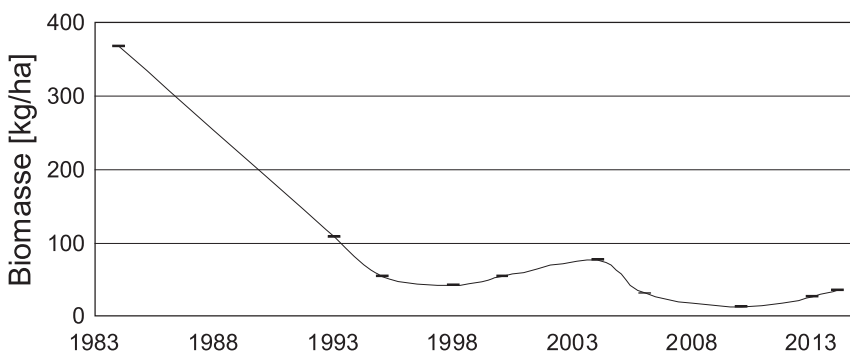


Abb. 1: Biomassen (kg/ha) aller Fischfänge im Uferbereich des Rheins in der zeitlichen Entwicklung zwischen 1984 und 2014, umgerechnet aus den standardisierten Elektrobefischungen des LANUV NRW

Deutlich ersichtlich wird bei den Ergebnissen zu Befischungen der Uferregionen mittels standardisierter Elektrobefischungen, dass die Fischbiomasse im Rhein seit Beginn der Erhebungen (1983) und nach der Erholung der Fauna im Rhein bis zur Mitte der neunziger Jahre dramatisch abgenommen und sich in den letzten zehn Jahren bei rund 25 kg/ha stabilisiert hat (Abb. 1). Diese Reduktion von rund 90 - 95 % innerhalb der letzten 30 Jahre basiert sicherlich auf der gleichgerichteten Reduktion der Primärproduktion (also dem Wachstum der Algen als Nahrungsgrundlage aller Tiere) im Rhein (dargestellt anhand des Chlorophyll-a-Gehalts im Rhein), der von uns in einem statistischen Modell anhand der Messwerte des Landesumweltamts (LUA) NRW an der Wasserkontrollstation in Bimmen erstellt wurde (Abb. 2).

Der Rückgang der Primärproduktion steht dabei statistisch in signifikanter Korrelation zum Rückgang der primären Pflanzennährstoffe Stickstoff und Phosphor, die aufgrund von Veränderungen in Produktionsprozessen (z. B. Ersatz von Phosphat in Waschmitteln) und dem Bau moderner Kläranlagen mit Beginn der achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts in die Wege geleitet wurden (Abb. 3). Auch wenn das statistische Modell zu diesem Thema nicht alleine den genannten Zusammenhang erklären kann (vgl. Diskussion hierzu in HARDENBICKER ET AL. 2014), so ist es doch ein maßgeblicher Baustein für den Rückgang der Primärproduktion im Rhein.

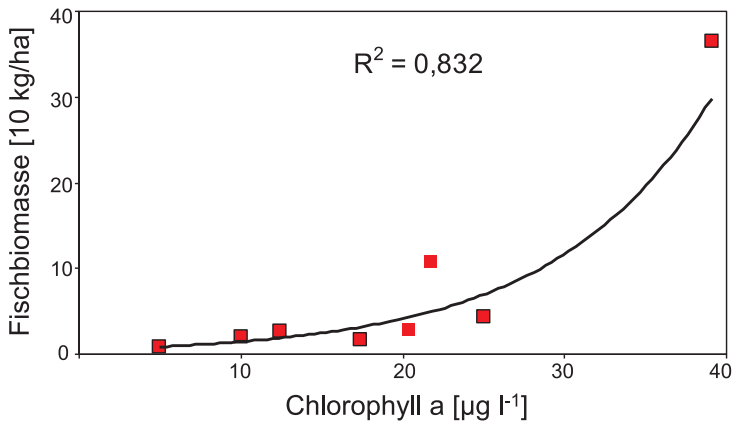
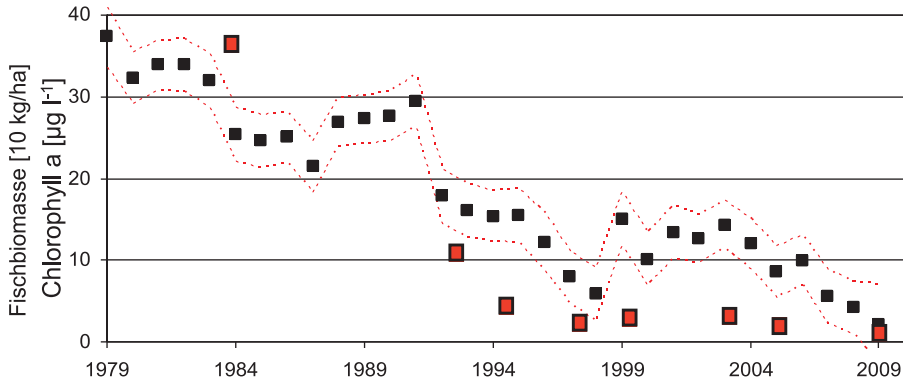


Abb. 2: Chlorophyll-a-Gehalt ( $\mu\text{g/l}$ ) als Modellberechnung an der Wasserkontrollstation Bimmen/Lobith (nach Messdaten des LUA NRW) und Fischbiomassen des Rheins (aus Abb. 1) zwischen 1979 und 2009 (oben) und die Korrelation beider Messwertreihen (unten)

Betrachtet man die Analyse der Fischbiomassen im Rhein innerhalb der letzten 30 Jahre auf Artniveau, so wird ersichtlich, dass vor allem die eurytopen Massenfischarten (z. B. Rotaugen, *Rutilus rutilus* und Brachsen, *Abramis brama*) abgenommen haben, während andere Arten wie der Flussbarsch (*Perca fluviatilis*) oder der Zander (*Sander lucioperca*) längst nicht derart massiv eingebrochen sind und Nase (*Chondrostoma nasus*) und Aland (*Leuciscus idus*) eher stabile Biomassenentwicklungen zeigen (Abb. 4).

Der Rückgang der Fischbiomassen im Rhein anhand der standardisierten Elektrofischungen der Ufer wird im Übrigen durch eine zweite Methode, nämlich die Fangdaten der Angelfischerei aus dem Rhein der Rheinfischereigenossenschaft (der hier für das zur Verfügungstellen der Daten herzlich gedankt sei) nachhaltig gestützt, wie eine entsprechende, signifikante Korrelation dieser beiden voneinander völlig unabhängigen Methoden belegt (Abb. 5).

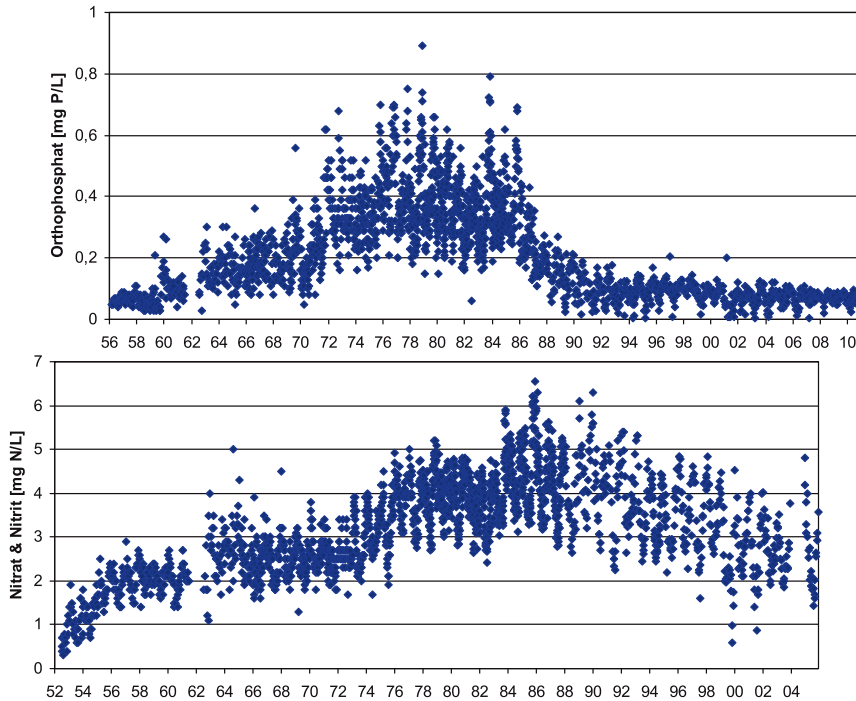


Abb. 3: Messwerte des Orthophosphats (mg/l, oben) und des Nitrat- und Nitritstickstoffs (mg N/l, unten) im Rhein aus den Messreihen an der Wasserkontrollstation in Lobith zwischen 1952 und 2011 (<http://live.waterbase.nl>)

### Methode Elektrofischungen Watgerät



Zweimal im Jahr (April und Oktober) wurden die Grundelichten an fünf Standorten des Niederrheins bei Rees (Rhein-km 831-845) mit Hilfe von Elektrofischungen erhoben. Hierfür wurde ein tragbares Rückengerät eingesetzt (maximale Ausgabe 225-300 V, Frequenz 55–75 Hz, Kescheranode 40\*20cm, Maschenweite 4mm, Bednar, Tschechien), das im Wasser watend an der Steinschüttung entlang einer definierten Strecke geführt wurde. Fische, die in das elektrische Feld gelangen, schwimmen zur Anode (Elektrotaxis) und fallen schließlich in eine kurzzeitige Elektronarkose. Die betäubten Fische wurden mit dem Kescher entnommen. Zudem wurde zusätzlich mit einem nicht-elektrifizierten Kescher nachgefischt, um den Fangerfolg zu erhöhen.

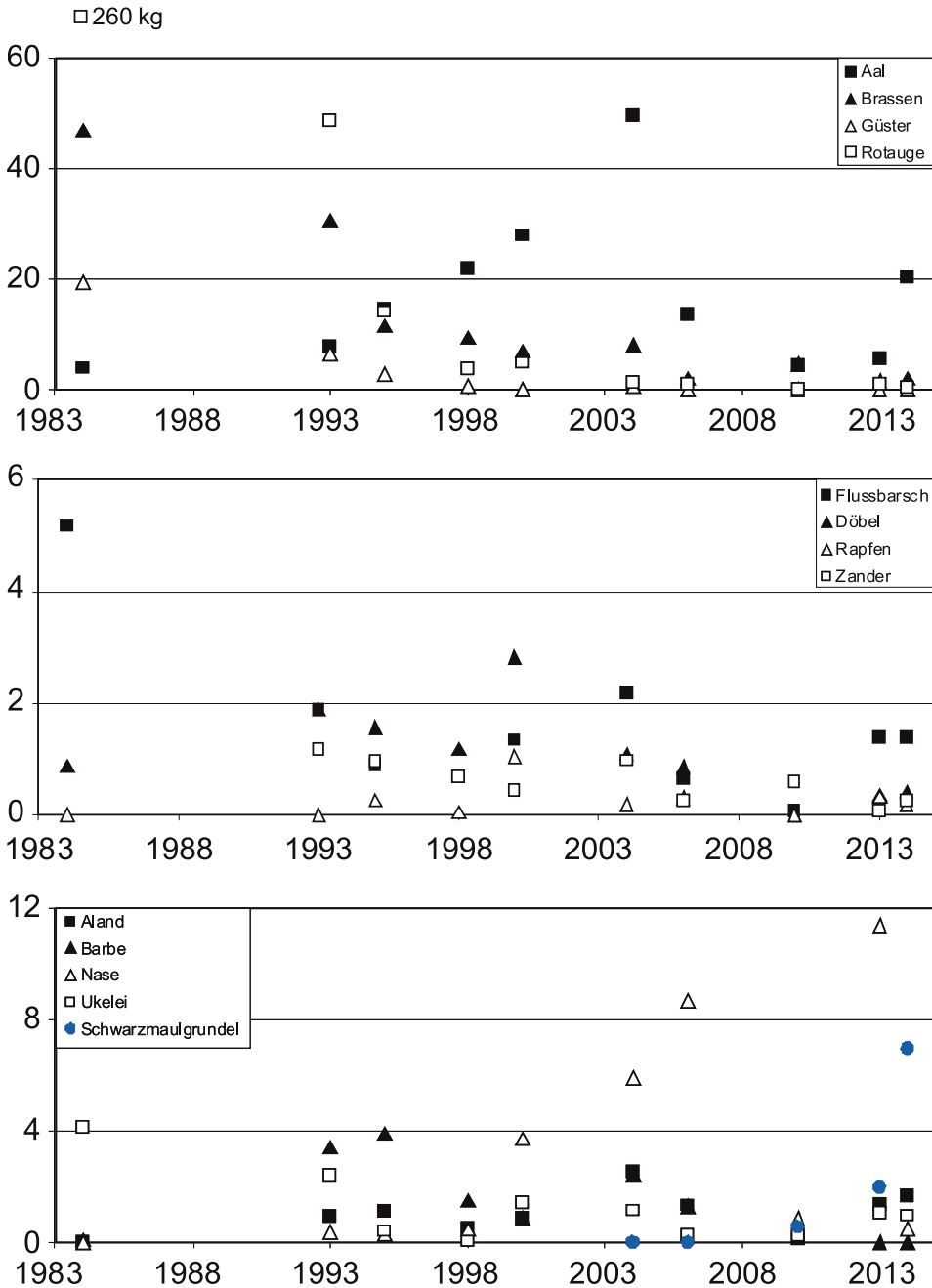


Abb. 4: Biomassen (kg/ha) ausgewählter Fischarten im Uferbereich des Rheins in der zeitlichen Entwicklung zwischen 1984 und 2014, umgerechnet aus den standardisierten Elektrofischungen des LANUV NRW

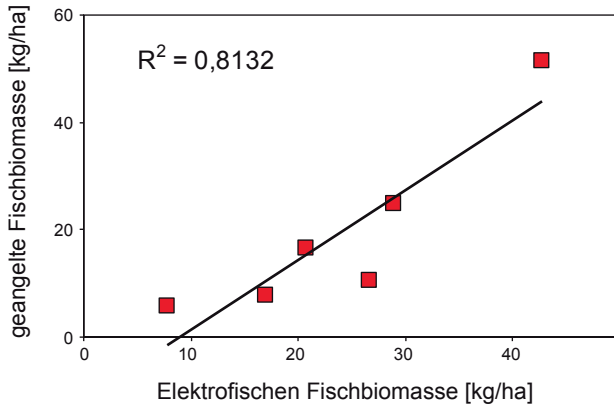


Abb. 5: Geangelte Fischbiomassen (kg/ha, Daten von der Rheinfischereigenossenschaft) in Abhängigkeit von den Fischbiomassen aus den Elektrofischungen des LANUV NRW

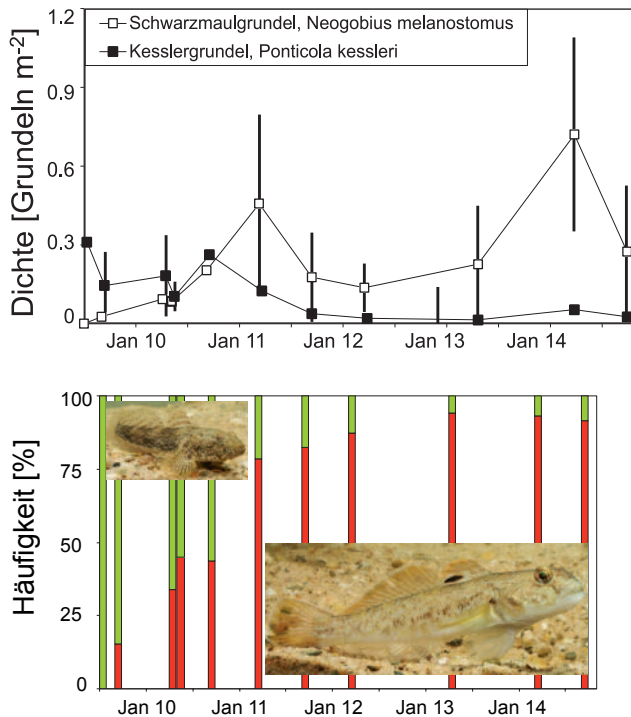


Abb. 6: Entwicklung der Grundeldichte (Ind/m<sup>2</sup>, oben) und der Artzugehörigkeit (unten, grün = *Ponticola kessleri*, rot = *Neogobius melanostomus*) der Grundeln in den Steinschüttungen des Rheins bei Rees anhand von Elektrofischungen zwischen 2009 und 2015 (Watgerät)



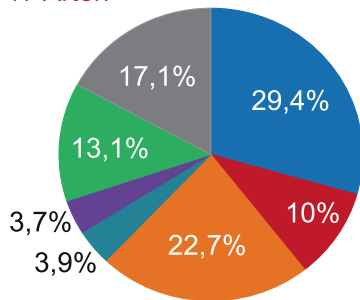
Auch bei der Methode der bootsgestützten Elektrofischungen der Ufer des Rheins durch das LANUV NRW konnte in den letzten Jahren eine klare Zunahme der Biomassen der invasiven Grundeln (dargestellt am Beispiel der Schwarzmaulgrundel, vgl. Abb. 5 unten) belegt werden.

Dies deckt sich mit unseren Erhebungen mittels Elektrofischungen (mit einem Watgerät, Zusammenarbeit mit den tschechischen Kollegen der Akademie der Wissenschaften in Brno), die nach wie vor einen ansteigenden Trend in der Dichte der Grundeln am Unteren Niederrhein belegen, auch wenn sich die Anteile zwischen den Grundeln von der anfangs dominierenden Kesslergrundel massiv zur Schwarzmaulgrundel verschoben haben (Abb. 6).

Basierend auf unseren langjährigen und intensiven Befischungen der Sand- und Kiesufer einzelner Bühnenfelder in der Nähe von Rees (Rhein-km 842) wird darüber hinaus deutlich, dass alle drei Grundelarten (neben der Kessler- und der Schwarzmaul- auch die Flussgrundel) zusam-

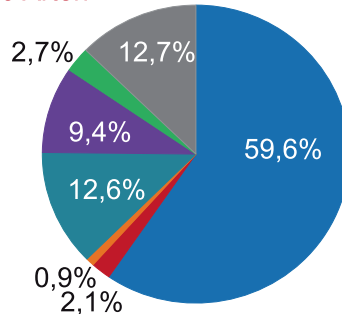
**2010**

17 Arten



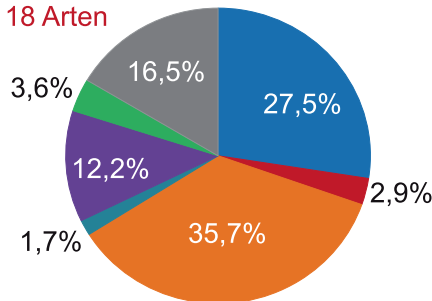
**2011**

19 Arten



**2012**

18 Arten



**2013**

20 Arten

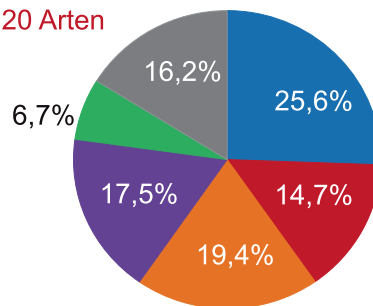


Abb. 7: Anteil der einzelnen Fischarten in Uferzugnetzbefischungen in Bühnenfeldern des Rheins bei Rees zwischen 2010 und 2013

## Methode zum Uferzug



Alle Fische wurden im Rhein bei Rees in Höhe des Rheinkilometers 842 gefangen. Die Hauptbefischungsmethode in den drei Untersuchungsjahren war die Uferzugnetztechnik, bei der ein 15 m langes (1,5 m Höhe), äußerst feinmaschiges Netz (<1 mm Maschenweite) mit Hilfe von zwei Holzstangen per Hand durch Bühnenfelder des Rheins gezogen wurde. Dabei wurde jeweils die Zuglänge und -breite notiert, so dass aus den hervorgehenden Daten Fischdichten berechnet werden konnten. Die

Züge fanden in den drei Untersuchungsjahren 2011 bis 2013 jeweils von April bis Oktober statt. Pro Monat wurden drei Kampagnen bestehend aus je neun Zügen durchgeführt, bei der drei Züge morgens (gegen 9 Uhr), drei Züge nachmittags (gegen 15 Uhr) und drei Züge nachts, nach Einbruch der Dunkelheit (jeweils kurz nach dem zivilen Sonnenuntergang von 20 Uhr bis 23 Uhr je nach Jahreszeit) durchgeführt wurden. Jede der drei Kampagnen startete hierbei zu einer anderen Tageszeit und zwischen den Kampagnen lagen mindestens 24 Stunden. An einigen Terminen war es aufgrund des Rheinpegels oder Unwetter nicht möglich, eine vollständige Kampagne durchzuführen. Insgesamt kamen so in den drei Jahren 488 erfolgreiche Uferzüge mit insgesamt 63.684 Fischen zusammen. Alle gefangenen Fische wurden bestimmt und auf den Millimeter genau vermessen (Totallänge, mm) sowie bei Grundeln zusätzlich das Geschlecht vermerkt. Larvenstadien, die nicht vor Ort determiniert werden konnten, wurden in 96 %-igen Ethanol überführt und später im Labor vermessen und bestimmt (Staas 1996; Urho 1996; Pinder 2001). Grundeln kleiner als 50 mm TL wurden ebenfalls in Ethanol (96 %) überführt, größere Grundeln auf Eis gelegt und anschließend bei -18 °C für spätere Analysen konserviert. Ebenso wurde mit nativen Arten verfahren, die entweder zur Klärung der Konkurrenzsituation (Kaulbarsch, Gründling, 0+-Flussbarsch, 0+-Zander, 0+-Rapfen) oder der Prädation auf Grundeln (Flussbarsch, Zander, Rapfen, Aal) von Interesse waren. Während bei den Grundeln alle gefangenen Individuen konserviert wurden, wurde hier darauf geachtet, dass pro Tageszeit nicht mehr als 15 Individuen pro Art dem System entnommen wurden. Überzählige Individuen wurden ebenso wie für diese Untersuchung nicht relevante Arten direkt nach dem Messen vor Ort wieder freigelassen.

men immer deutlich individuenreicher vorkamen als alle einheimischen Fischarten zusammen (Abb. 7). Zwar gab es durchaus deutliche Unterschiede von Jahr zu Jahr innerhalb der Gruppe der invasiven Grundeln (z. B. 2010 und 2012 viele Kesslergrundeln, 2011 dagegen nur sehr wenige), doch lag der Anteil aller Grundeln innerhalb der durch die Uferzugnetzbefischungen gefangenen Fischfauna (zumeist Jungfische) immer über 60 %.

Tabelle 1: Anzahl aller gefangenen Fische in den einzelnen Jahren unterteilt zwischen Grundeln und „Nicht-Grundeln“ sowie zwischen den Altersstadien 0+ und älter (>0+)

<b>N</b>	<b>Art</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
0+ Grundeln	Flussgrundel	243	604	2414
	Schwarzmaulgrundel	6957	5707	4187
	Kesslergrundel	103	7419	3174
	Grundel	1473	352	1
>0+ Grundeln	Flussgrundel	445	709	1061
	Schwarzmaulgrundel	1648	4775	5630
	Kesslergrundel	12	5	53
0+ Andere		2898	6701	6606
>0+ Andere		188	111	208
Total		13967	26383	23334
Uferzüge (N)		110	174	204

Auf dem Bootshaus der Universität zu Köln in Köln-Bayenthal konnten wir mit Driftnetzbefischungen einen näheren Einblick in die Artenzusammensetzung und Häufigkeiten jener Arten gewinnen, die sich mittels Drift (durch Strömung) im Larven- und Juvenilstadium verbreiten (nahezu alle Arten im Rhein, vgl. Tabelle 2). Eine identische Untersuchung war bereits im Jahre 2000 erfolgt, so dass für diesen analytischen Ansatz ein Vergleich vor und nach der Grundelinvasion möglich war.

## Methode zu Driftnetzbefischungen



Driftnetzbefischungen fanden auf dem Forschungsschiff der Universität zu Köln in Bayenthal in den Jahren 2000 sowie 2012-2014 statt (Rhein-km 684,5). Hierfür wurde ein 1 m x 0,5 m großes Netz (Maschenweite 500  $\mu$ m) in die Strömung exponiert. An das Netz war ein Stahlrahmen angebracht, um die Öffnungsfläche zu definieren, und die Position im Wasser (ca. 20 cm unter der Wasseroberfläche) wurde durch

Gewichte und einen Kran gewährleistet, der auf dem Schiff montiert ist. Die Distanz zum Steinschüttungsufer betrug in etwa 8 m. Die Expositionsdauer und Probenfrequenz wurden jeweils an die Ausbeute der vorangegangenen Fänge angepasst, um einen Fang von mindestens 100 Fischen pro Nacht zu garantieren. Im Jahre 2012 fanden zudem Driftnetzbefischungen in Rees an einem Fähranleger statt (Rhein-km 845). Hier wurde ein 3 m langes, spitz zulaufendes Netz gewählt (Maschenweite 1 mm), an dessen Ende ein Behälter eingeschnürt wurde, in dem sich die Larven gesammelt haben. Die Öffnung des Netzes war ebenfalls durch einen Stahlring vorgegeben (Durchmesser 60 cm). Das Netz wurde mit zusätzlichen Gewichten so adjustiert, dass es 10 cm unter der Wasseroberfläche in der Strömung stand. Generell war dieses Netz näher am Ufer als das Driftnetz in Köln und auch geringeren Strömungskräften ausgesetzt. Die Strömungsgeschwindigkeit wurde mehrfach zu Beginn und gegen Ende des Untersuchungszeitraumes gemessen (Schiltknecht, Schweiz, MiniAir2 & Höntzsch Deutschland, IP-ASDI). Alle gefangenen Fische wurden in Ethanol fixiert und später im Labor determiniert (STAAS 1996; URHO 1996; PINDER 2001).



Tabelle 2: Artspezifische Daten für alle Driftnetzbefischungen zur Frequenz innerhalb der Fänge (F, bei wie vielen Fängen die Art im Jahr vertreten war) und zur Dominanz (D, Anteil der Art am Gesamtfang pro Jahr). Dominanzwerte über 10 % sind in **fett** gedruckt (Tabelle nach BORCHERDING ET AL. 2016).

	2000		2012		2013		2014	
	F	D	F	D	F	D	F	D
Brachsen	40	<b>41.8</b>	24	0.40	11	0.50	6	0.17
Ukelei	47	7.16	21	0.41	42	4.74	11	0.24
Rapfen	27	0.60	31	0.64	5	0.18	11	0.10
Barbe	60	<b>32.6</b>	76	<b>31.4</b>	66	<b>41.3</b>	61	<b>27.5</b>
Güster	20	0.13			13	0.22	6	0.04
Nase	20	0.61	7	0.11			22	0.59
Karpfen	7	0.04			3	0.07		
Gründling	33	2.25						
Aland	13	0.10	17	0.16	8	0.10	33	2.00
Hasel	13	0.12			8	0.16	17	0.43
Rotauge	60	4.30	62	9.00	66	7.67	44	3.99
Döbel	60	7.04			21	0.62		
Flussbarsch	7	0.03	31	2.46	26	2.29	28	2.00
Zander	40	1.96	14	0.32	18	0.35	17	0.37
Coregone	40	0.12						
Groppe	60	0.04						
Hecht	7	0.09						
3-stachliger Stichling	7	0.09			3	0.05		
Flussneunauge	33	0.86						
Flussgrundel			62	<b>18.7</b>	68	<b>18.4</b>	61	<b>15.4</b>
Schwarzmaulgrundel			62	<b>21.8</b>	89	<b>20.5</b>	72	<b>46.4</b>
Kesslergrundel			31	<b>14.6</b>	24	2.82	11	0.79
<b>Anzahl Arten</b>	<b>19</b>		<b>12</b>		<b>16</b>		<b>14</b>	

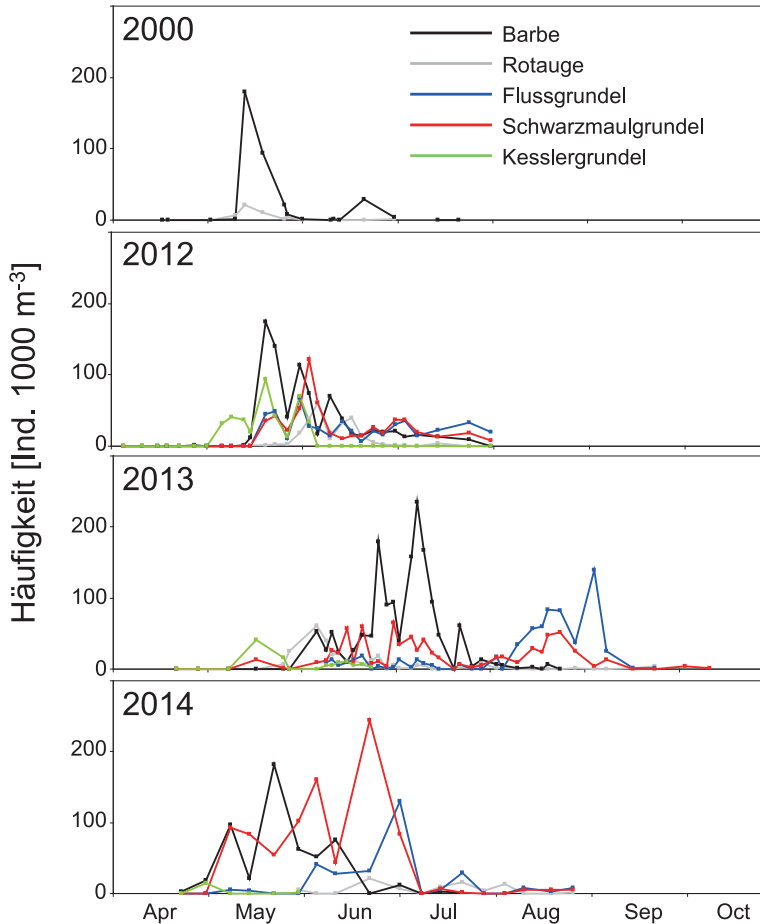


Abb. 8: Saisonale Abundanzen (Ind./1000 m<sup>3</sup>) von einheimischen Arten (Barbe und Rotaugen) und invasiven Grundeln in Driffängen für verschiedene Jahre an der Rheinmessstation der Universität zu Köln

Dieser Vergleich belegt eindeutig, dass die Grundeln zwar auch in der Drift dominant vertreten sind (Tabelle 2), dass jedoch die mittleren Dichten der beiden einheimischen Arten Barbe (*Barbus barbus*) und Rotaugen (*Rutilus rutilus*) nach der Grundelinvasion gegenüber den Daten im Jahre 2000 keinesfalls abgenommen haben (Tabelle 3). Dies werten wir als einen wichtigen Hinweis, dass das Vermehrungspotential dieser einheimischen Arten im Rhein nach wie vor intakt ist, die Dominanz der Grundeln in der Jungfischfauna (vgl. z. B. Abb. 8) demnach erst später im Lebenszyklus der Arten entsteht (BORCHERDING ET AL. IN PREP.).

Tabelle 3: Mittlere Dichte (Ind./1000 m<sup>3</sup>, inklusive Nullfänge für Tage innerhalb der jährlichen Phase des Vorkommens der Art) für einzelne Fischarten am Niederrhein bei Köln in 2000 und 2012 - 2014 (Daten nach BORCHERDING ET AL. 2016)

Jahr	Barbe	Rotauge	Flussgrundel	Schwarzmaulgrundel	Kesslergrundel	Gesamt
2000	42.2	5.6				125.7
2012	34.5	13.2	27.4	31.9	42.7	161.0
2013	55.4	7.9	20.8	19.6	9.3	136.0
2014	40.6	5.9	18.4	55.6	3.0	143.7

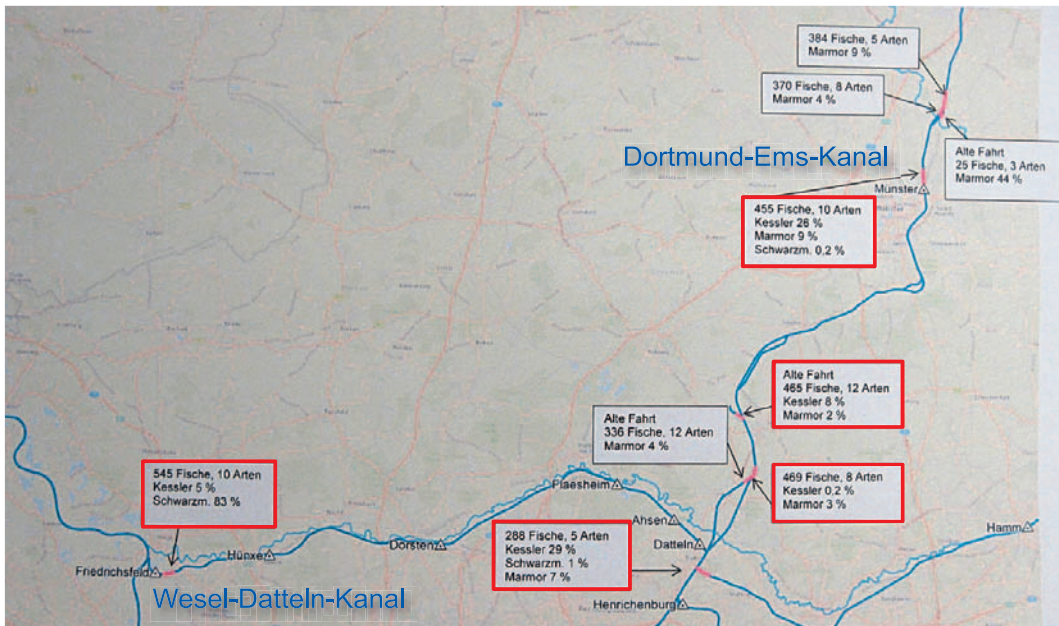


Abb. 9: Elektrofischungen in Bereichen des nordwestdeutschen Kanalsystems des Landesfischereiverbandes Westfalen und Lippe e.V. (Carsten Nolting)



Die Ausbreitung der invasiven Grundeln in die Nebengewässer des Rheins, die Nebenflüsse und das Kanalsystem wurde ebenfalls von uns im Projekt partiell untersucht. Diese Erhebungen zeigen recht klar, dass die rasche Verbreitung der Grundeln vor allem an den Schiffsverkehr (Kanalsystem, vgl. Abb. 9, s. auch ROCHE ET AL. 2013) oder an sogenannte Wasserabschlagspunkte aus dem Kanalsystem in die Nebenflüsse (z. B. Lippe) gebunden ist.

Die rasche Ausbreitung der Grundeln in Gewässern ohne diese beiden Einflussfaktoren ließ sich bisher in keinem Fall belegen und unterstreicht, dass der invasive Charakter der Grundeln im Wesentlichen an die aktive Unterstützung durch menschliche Aktivitäten gebunden ist. Dagegen wurden die direkt mit dem Rhein verbundenen Nebengewässer, wie etwa die Baggerseen und Altwässer im Deichvorland, praktisch alle von den Grundeln als neuer Lebensraum besiedelt, wobei hier die artspezifischen Prioritäten sehr gut zum Ausdruck kommen.



Schwarzmundgrundel





Der Rhein bei Emmerich

### 3. Die ökologische Nische der invasiven Grundeln

Die Untersuchung der ökologischen Nische der invasiven Grundeln liefert grundlegende Daten, um die Lebensweise der Grundeln besser zu verstehen und Aussagen darüber zu treffen, welche anderen Arten am ehesten vom Invasionsprozess beeinflusst sind. Laut dem Konkurrenzausschlussprinzip können keine zwei Arten die exakt gleiche ökologische Nische besetzen, ohne dass in Folge einer Konkurrenzsituation eine Art verdrängt wird (HARDIN 1960). Innerhalb der drei untersuchten Grundelarten konnten klar abgegrenzte, teilweise sehr fein aufeinander abgestimmte Abweichungen in der Habitatswahl, dem Reproduktionsmodus und der Nahrungsaufnahme inklusive Unterschiede im Energiestoffwechsel festgestellt werden. Darüber hinaus sind die Überlappungen zu einheimischen Arten und deren Konkurrenzfähigkeit verschieden stark ausgeprägt, so dass auch die Auswirkungen auf die einzelnen Arten erheblich variieren.

#### 1.1. Habitatwahl

Alle drei Grundelarten nutzen die sandig-kiesigen Bühnenfelder des Rheins als Kinderstube, sowie es auch für einige einheimische Arten der Fall ist. Die invasiven Grundeln erreichen in diesem Habitat jedoch Dichten, die weit über denen der einheimischen Fauna liegen (Abb. 10). So erreicht die Schwarzmaulgrundel 0+-Dichten von bis zu 1,6 Individuen pro  $m^2$ , die Flussgrundel 0,3 Ind./ $m^2$  und die Kesslergrundel bis zu 2,5 Ind./ $m^2$ . Die am häufigsten gefangene einheimische Art, der Flussbarsch, erreicht dagegen nur Höchstwerte von 0,5 Individuen pro Quadratmeter. Knapp 70 % aller gefangenen 0+-Fische in den drei Untersuchungsjahren waren somit invasive Grundeln (vgl. Abb. 7).

Ab einer Größe von ungefähr 60 mm TL führt die Kesslergrundel im Verlaufe ihrer Entwicklung einen Habitatwechsel von den Bühnenfeldern in die Steinschüttung durch. Juvenile Individuen der Schwarzmaulgrundel nutzen die Bühnenfelder auch weiterhin als Habitat, vor allem Tiere der Altersklasse I+, wandern aber ebenso in die Steinschüttung und tiefere Bereiche des Rheins und sind somit ubiquitär (überall vorkommend) vertreten. Die Flussgrundel hingegen meidet die Steinschüttung und wird in allen Größenklassen die gesamte Saison auf sandigen Böden gefangen. Sie zeigt hierbei in den Bühnenfeldern eine eindeutige Präferenz für feines Substrat wie Sand und Schlammauflage, in das sie sich schnell vergraben kann, wohingegen die Kesslergrundel grobkiesiges Material bevorzugt.

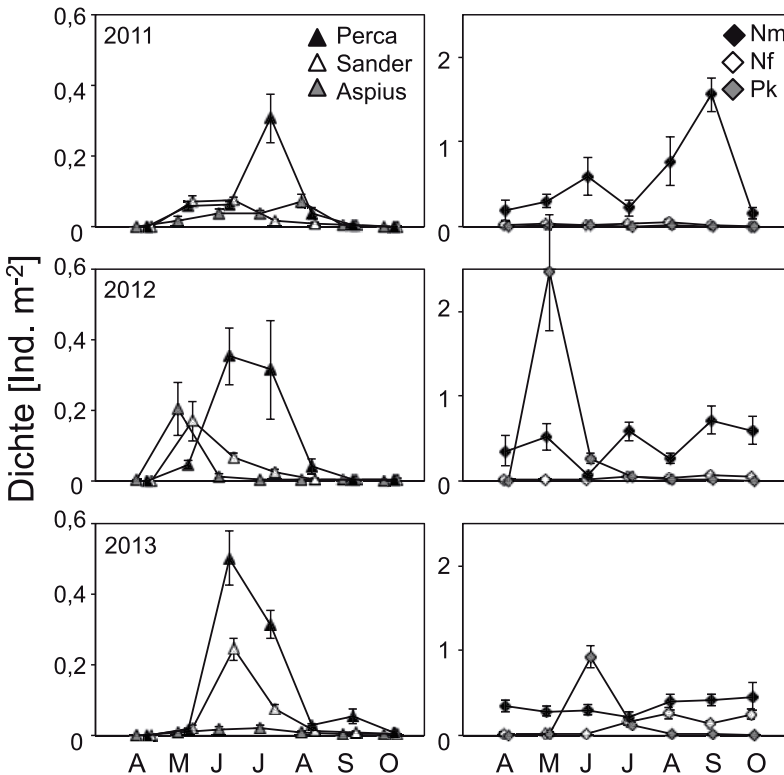


Abb. 10: 0+-Dichten der einheimischen Arten (links) Flussbarsch (Perca), Zander (Sander) und Rapfen (Aspius), sowie für die invasiven Grundeln (rechts) Schwarzmaulgrundel (Nm), Flussgrundel (Nf) und Kesslergrundel (Pk) für die Jahre 2011 (oben) bis 2013 (unten), jeweils von April (A) bis Oktober (O)

## 1.2. Aktivität und Energiestoffwechsel

Angelbefischungen (Abb. 11) und Mesokosmenversuche mit PIT-Tag-Technologie (Abb. 12) zeigen für die Schwarzmaulgrundel eine hohe Aktivität und Wanderungen zwischen der Steinschüttung und Sandbereichen an. Dabei ist eine erhöhte Wanderfrequenz der Schwarzmaulgrundeln in die Steinschüttung gegen Abend zu beobachten. Während die Schwarzmaulgrundel sehr aktiv ist, ist die Flussgrundel eher inaktiv und vergräbt sich gerne im Sand. Die Kesslergrundel wiederum zeigt deutliche Tag-Nacht-Aktivitätsrhythmen (Abb. 12 oben), bei denen sie tagsüber in der Steinschüttung verweilt und erst in der Nacht aktiv wird. Obwohl sie generell inaktiver als die Schwarzmaulgrundel ist, hat diese Art den höchsten Energieverbrauch. Dies zeigt sich zum einen in den Konsumptionsraten (wie viel frisst die Art), die für diese Art wesentlich höher sind als für die anderen beiden Arten (vgl. BORCHERDING ET AL. 2013), zum anderen im Sauerstoffverbrauch, der für die Kesslergrundeln ebenfalls deutlich höher ausfällt (MEHNER 2013).

## Methode zum wissenschaftlichen Angeln



Für die Bestimmung der Aktivität und Habitatswahl fand einmal jährlich ein standardisiertes, wissenschaftliches Angeln auf einem Bühnenkopf bei Rees am Rhein (Rhein-km 842) statt. Hier angelten 4 Angler für mindestens acht Stunden am Stück an genau der gleichen Stelle. Zwei Angler befischten die Steinschüttung mit einer Stippe, die beiden anderen angelten auf Grund ca. 15 - 20 m von der Steinschüttung entfernt auf sandigem Untergrund. Als Köder wurden Maden gewählt. Alle geangelten Fische wurden auf die Minute genau protokolliert und dabei die Fangzeit, der Fangort, die Art, die Totallänge und bei Grundeln das Geschlecht notiert.

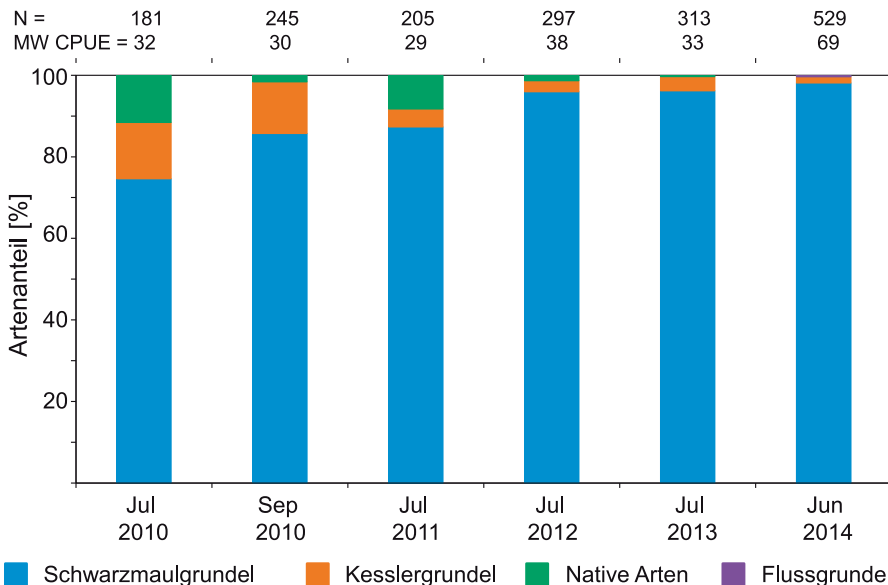
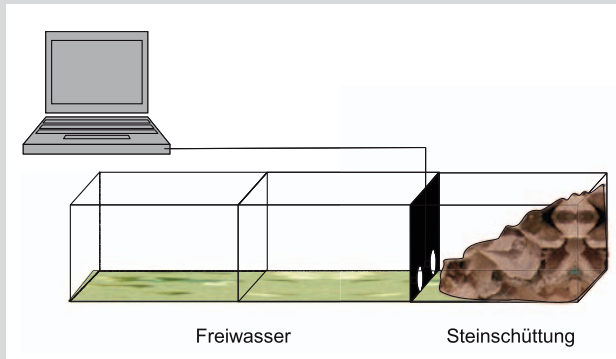


Abb. II: Ergebnisse der alljährlichen wissenschaftlichen Angelaktionen. Anteil der einzelnen Grundelarten und nativer Arten am Gesamtfang. N = Gesamtzahl aller geangelten Fische, MW CPUE = Mittelwert des „Catch per Unit Effort“ = Anzahl Fische pro 4 Angler pro Stunde

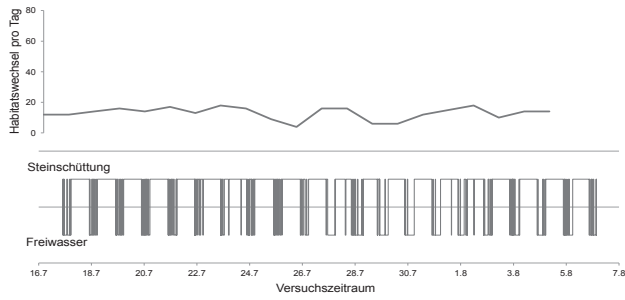
## Mesokosmosversuche

Zur Messung der Aktivität und Habitatswahl der Grundeln wurden in 2010 und 2013 Versuche mit einem autonomen PIT-Tag-Antennensystem mit den Arten Schwarzmaul- und Kesslergrundel durchgeführt, im Jahr 2014 mit Fluss- und Schwarzmaulgrundeln. Die Versuche fanden in zwei 5 m<sup>3</sup> großen Außenbecken statt, die in zwei Bereiche unterteilt waren, die die Habitats des Rheins widerspiegeln sollten. Hierfür war etwa ein Drittel des Beckens mit Steinen aus dem Rhein befüllt (Steinschüttung), wohingegen zwei Drittel nur Sand als Substrat enthielten (Freiwasser). Die beiden Bereiche wurden durch zwei Netze getrennt, in die zwei Tunnel aus jeweils zwei Antennenringen eingnäht wurden. Nur durch diese Tunnel war ein Passieren von einem zu dem anderen Bereich möglich. Die Versuchsfische bekamen nach einer Eingewöhnung im Aquarium unter Narkose (Aquacalm) einen PIT-Tag („passive integrated transponder“, Größe 1 cm) in die Bauchhöhle injiziert, welcher in der Nähe der Antenne ein Signal an den angeschlossenen Computer lieferte. Eingenähte Antennenringe geben die Signale eines passierenden Fisches an den Computer weiter. Dieses Signal enthielt neben der Identifikationsnummer des Individuums auch das Datum und die genaue Uhrzeit sowie die Nummer der Antennenringe, an welchen das Signal ausgelöst wurde. So war es möglich, die Richtung zu bestimmen, in die der Fisch geschwommen ist.

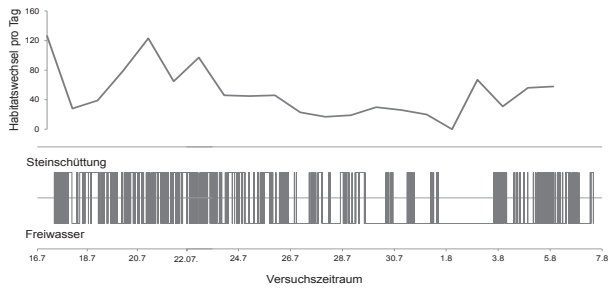


### 1.3. Reproduktion (Vermehrung)

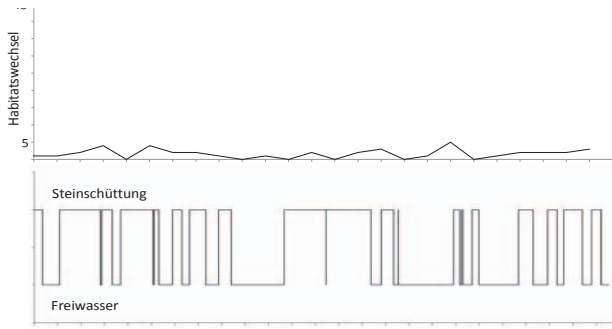
Auch die Reproduktionsmodi der Grundelarten zeigen eine deutliche Nischentrennung der drei Arten. Während die Kesslergrundel im Rhein wie die meisten einheimischen Arten nur ein Laichereignis zu Beginn der Saison zeigt, laichen die Schwarzmaul- und Flussgrundel die gesamte Saison bis in den September hinein (Abb. 13, GERTZEN ET AL. 2015). Dabei zeigen sie unterschiedliche Intensitäten, so dass die Laich- und folglich auch Schlupfereignisse zeitlich weit gestreut sind. Somit wird nicht nur die Konkurrenz um Laichplätze vermindert, sondern auch die Nahrungskonkurrenz der frisch geschlüpften 0+-Individuen. Das Reproduktionsverhalten der Kesslergrundel ist hierbei als das risikoreichste der drei Arten zu bewerten. Wie auch die Schwarzmaulgrundel laicht sie in Höhlenstrukturen, die aus der Steinschüttung resultieren und die vom Männchen bewacht werden. Ein enges Zeitfenster für die Laichaktivität kann dabei zur Folge haben, dass ungünstige Umweltbedingungen zu einem Ausfall des Reproduktionserfolges des gesamten Jahres führen. Dies konnte in der Tat am Niederrhein für das Jahr 2011 bei der Kesslergrundel beobachtet werden. Niedrige



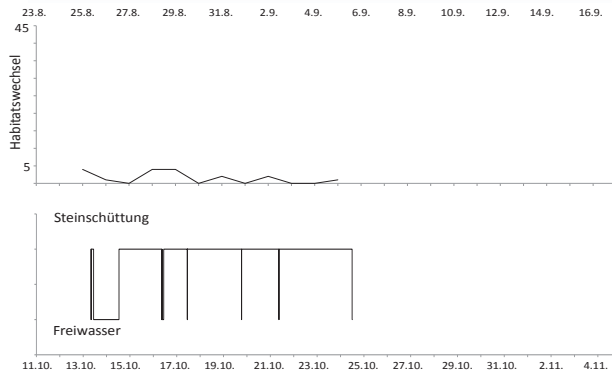
Kesslergrundel



Schwarzmaulgrundel



Flussgrundel



Flussgrundel und Zander als Räuber im System. Nach dem 25.10. gab es kein Signal dieser Flussgrundel mehr, sie war vom Zander gefressen worden.

Abb. 12: Ergebnisse einer Kesslergrundel im Einzelartversuch (Phase I). Habitatswechsel pro Tag (oben) und Aufenthalt in den Bereichen Steinschüttung und Freiwasser (unten). Der Datumsstrich zeigt jeweils Mitternacht des Tages an. Jeweils im oberen Teil der Grafik ist die Aktivität zu sehen (als Habitatwechsel pro Tag) und wo das Tier sich wann aufhielt (unten).

Pegelstände, die genau in dem Laichfenster der Kesslergrundeln verzeichnet wurden, haben hier vermutlich zu einem Trockenfallen der Gelege geführt.

Für die Flussgrundel ist bekannt, dass auch sie harte Strukturen benötigt, um dort ihre Eier anzuhaften und auch hier kommt Brutpflege durch das Männchen vor. Bisher ist jedoch unbekannt, wo genau diese Art im Rhein ablaicht, da sie nicht in der Steinschüttung vorkommt und in den Bühnenfeldern kaum harte, befestigte Strukturen vorhanden sind. Die Männchen aller drei Arten durchlaufen während der Paarungszeit deutliche Veränderungen wie eine dunklere Färbung, Verlängerung der Flossensäume und Verbreiterung der Wangenstrukturen. Dies ist besonders stark bei Individuen der Flussgrundel ausgeprägt. Das Einsetzen der Laichzeit scheint weder temperaturgesteuert noch durch die Tageslänge bedingt zu sein. Welche Faktoren als Auslöser fungieren, bleibt somit noch offen und bedarf weiterer Untersuchungen (GERTZEN ET AL. 2015).

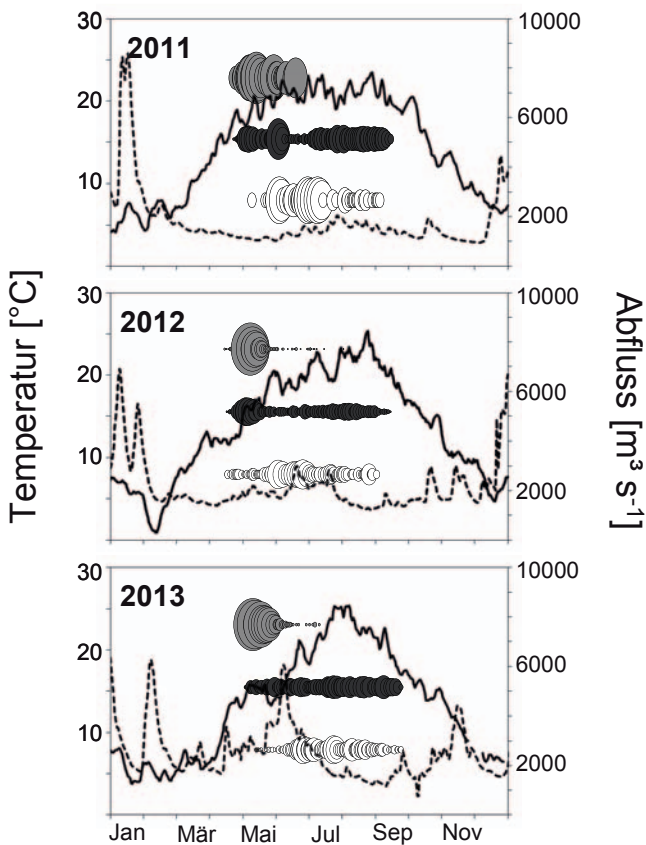


Abb. 13: Wassertemperatur (schwarze Linie), Abfluss (unterbrochene Linie) und relative Abundanzen aller berechneten Schlupfereignisse pro Jahr und Art. Kesslergrundel (grau), Schwarzmaulgrundel (schwarz) und Flussgrundel (weiß) für die Jahre 2011 (oben), 2012 (Mitte) und 2013 (unten)

## I.4. Ernährung

Die Grundeln ernähren sich vornehmlich opportunistisch, also von dem, was gerade zur Verfügung steht. Das sind im Rhein vor allem Insektenlarven der Familie Chironomidae (Büschelmücken) sowie Bachflohkrebse, insbesondere die ebenfalls invasive Art Großer Höckerflohkrebs *Dikerogammarus villosus* (BORCHERDING ET AL. 2013). Einen Nahrungswechsel im Verlaufe der Entwicklung gibt

### Magenanalysen

Für eine Vielzahl von Individuen wurden Magenanalysen durchgeführt, um die Nahrungswahl zu spezifizieren und Aussagen über Konsumptionsraten (Fressraten) sowie Konkurrenz und Prädationsdruck (Raubdruck) treffen zu können. Hierfür wurden zunächst Art, bei Grundeln zusätzlich das Geschlecht, Totallänge und Gesamtgewicht notiert, bevor der Magen (Kaulbarsch, Flussbarsch und Zander) bzw. Verdauungstrakt (Grundeln, Gründling und Rapfen) entnommen wurde. Dieser wurde gewogen (Magen voll [g], 0,0001 g Genauigkeit), alle Nahrungspartikel entfernt und erneut gewogen (Magen leer [g]), um aus der Differenz das Gewicht des Inhaltes ermitteln zu können. Die Nahrungsreste wurden anschließend bis auf die taxonomisch kleinstmögliche Einheit bestimmt und deren Anteil am Gesamtmageninhalt prozentual abgeschätzt (HYSLOP 1980). Der prozentuale Anteil undefinierbarer Masse wurde ebenfalls notiert, um später Aussagen über den Fraßzeitpunkt treffen zu können. Für die Prädationsanalysen einheimischer Räuber auf Grundeln wurden ebenfalls die Beutefische gemessen (TL, mm), sofern diese noch nicht allzu stark verdaut waren. Nach Möglichkeit wurde immer versucht, wenigstens zwischen Grundeln und heimischen Arten zu unterscheiden, wenn die Spezifizierung auf Artniveau aufgrund des Verdauungsprozesses nicht mehr gelang.

Magenfüllungsindex: "Index of stomach fullness" (ISF):

$$\text{ISF [\%]} = \frac{Sc}{W - Sc} * 100$$

mit SC = Mageninhalt [g] und W = Gesamtgewicht vom Fisch [g]

Übersicht aller 4.923 Magenanalysen auf die Arten und Befischungsmethoden verteilt:

Art	Angeln	Uferzug	Elektrobefischung
Aal		4	20
Rapfen	1	402	27
Hecht	3		
Gründling		216	1
Kaulbarsch		158	
Flussbarsch	18	579	107
Zander	43	512	5
Flussgrundel		606	
Schwarzmaulgrundel		1604	
Kesslergrundel		617	



es für alle drei Arten mit zunehmender Totallänge (TL). Etwa ab einer Größe von 100 mm TL ist für die Arten Flussgrundel und Kesslergrundel Fisch ein zusätzlicher wichtiger Nahrungsbestandteil, wohingegen die Schwarzmaulgrundel Mollusken, vornehmlich die invasive Körbchenmuschel *Corbicula* sp. inkludiert. Die ISF-Werte (Magenfüllung, wie viel wurde gefressen) der Grundeln weisen darauf hin, dass alle drei Arten tagsüber bis in die Dämmerung hinein fressen, wohingegen in der Nacht nur wenig bis gar keine Nahrung aufgenommen wird (BORCHERDING ET AL. 2013).

### 1.5. Nahrungskonkurrenz mit heimischen Arten

Die höchsten Nahrungsnischenüberlappungen (Nutzung gleicher Nahrungsquellen, berechnet nach SCHOENER 1970) zeigen die Grundeln untereinander sowie mit den heimischen Arten Kaulbarsch *Gymnocephalus cernua*, Flussbarsch *Perca fluviatilis* und Gründling *Gobio gobio*. In einem nahrungslimitierten System wie dem Rhein (s. o.) deutet eine hohe Nahrungsnischenüberlappung zwischen zwei Arten ein hohes Maß an Konkurrenz an. Um diese Konkurrenzsituation genauer ermitteln und

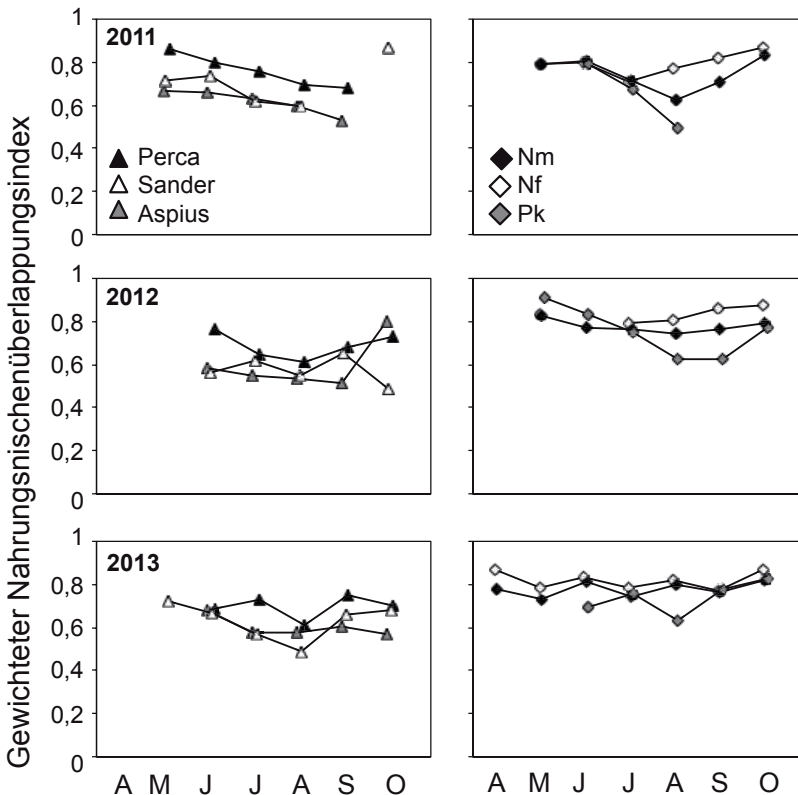


Abb. 14: Gewichteter Nahrungsnischenüberlappungsindex für die nativen Arten Flussbarsch (Perca), Zander (Sander) und Rapfen (Aspius) (links) sowie für die invasiven Grundeln Schwarzmaulgrundel (Nm), Flussgrundel (Nf) und Kesslergrundel (Pk) (rechts) für die drei Untersuchungsjahre

## Berechnungen und Daten zur Nahrungskonkurrenz

1. Konsumptionsrate:

$$\text{Konsumption}_{\text{Ind}} [\text{g} * \text{g}^{-1} * \text{d}^{-1}] = \frac{Sc}{W - Sc} * 3$$

Hierfür wird der Mageninhalt in Relation zum Körpergewicht mit dem Faktor 3 multipliziert, um auf eine Konsumptionsrate pro Tag zu kommen, da der Mageninhalt juveniler Fische immer nur die letzten acht Stunden reflektiert (nach HYSLOP 1980). Somit erhält man Gramm aufgenommene Beute pro Gramm Fisch pro Tag.

2. Maximale Konsumtion:

$$\text{ISF}_{\text{MAX}} = \tilde{x}\{x \mid x_i \geq Q_{0.9}\}$$

mit  $\tilde{x}$  = Median;  $x_1, x_2, \dots, x_i$  =  $\text{ISF}_1, \text{ISF}_2, \dots, \text{ISF}_i$ ; und  $Q_{0.9}$  = 90 % Quantil aller artspezifischen ISF-Werte. Der Median wurde ausgewählt, da er robust ist gegen Ausreißer, die natürlicherweise bei Fischfraß auftreten

3. Konkurrenzstärke

$$\text{SDC} [\%] = \frac{100}{\text{ISF} \times \text{ISF}_{\text{MAX}}}$$

Die Konkurrenzstärke wurde für jedes Individuum als prozentualer Anteil des eigenen ISF-Wertes am artspezifischen maximalen ISF ( $\text{ISF}_{\text{MAX}}$ ) berechnet.

4. Nahrungsnischenüberlappung (nach SCHOENER 1970)

$$O_D = 1 - 0.5 \times \sum |(p_{ix} - p_{iy})|$$

mit  $p_{ix}$  = Prozent von Nahrungskategorie  $i$  in Art  $x$  und  $p_{iy}$  = Prozent der Nahrungskategorie  $i$  in Art  $y$ . Insgesamt traten 83 verschiedene Nahrungskategorien auf, die miteinander verglichen wurden.

5. Gewichteter Nahrungsnischenüberlappungsindex „weighted diet overlap“

$$O_{\text{DW}} = \sqrt{OD_1 \times D_1 + \dots + OD_{n-1} \times D_{n-1} + OD_i \times D_i + OD_m \times D_m}$$

mit  $O_{D_i}$  = Nahrungsüberlappung mit Art  $i$ ,  $D_i$  = Dichte Art  $i$ , als Prozent der Gesamtdichte;  $O_{D_{n-1}}$  = Nahrungsüberlappung mit Art  $n-1$ ,  $D_{n-1}$  = Prozentuale Dichte der Art  $n-1$ ;  $O_{D_i}$  = innerartliche Nahrungsüberlappung,  $D_i$  = Prozentuale Dichte der betrachteten Art und  $O_{D_m}$  = Mittelwert aller kalkulierten Nahrungsüberlappungen außer der innerartlichen Überlappung ( $O_{D_i}$ ),  $D_m$  = Summe aller prozentualen Dichten aller anderen vorkommenden Arten. Der letzte Term beinhaltet alle anderen Arten, die gefangen wurden, von denen aber keine Magenanalysen vorgenommen wurden (im Durchschnitt  $12 \pm 10$  %). Wie auch als Signifikanzlevel für den Nahrungsüberlappungsindex (WALLACE 1981) haben wir hier ein Signifikanzlevel ab einem Wert von 0,6 für unseren gewichteten Nahrungsüberlappungsindex appliziert.

beurteilen zu können, haben wir im Rahmen unserer Studie einen Wert etabliert, der nicht nur die Nahrungsüberlappung mit allen anderen Arten sowie die innerartliche Überlappung widerspiegelt, sondern auch die Dichte der entsprechenden Arten einbezieht. Dieser „gewichtete Nahrungsni-schenüberlappungsindex“ zeigt somit das reale Ausmaß der Nahrungskonkurrenz in diesem spezi-fischen System (Abb. 14), wobei wir ab einem Wert von 0,6 von einer signifikanten Überlappung ausgehen (nach WALLACE 1981). Dieses Maß haben wir auf Freilanddaten von 0+-Individuen der drei Grundelarten als auch auf 0+-Individuen von Flussbarsch (*Perca fluviatilis*), Zander (*Sander lucioperca*) und Rapfen (*Aspius aspius*) angewandt, die alle gemeinsam in den Bühnenfeldern des Niederrheins vorkommen.

Sowohl für die drei Grundelarten als auch für die drei einheimischen Arten werden über die gesamte Saison sehr hohe Werte gemessen, die vor allem zu Beginn und gegen Ende der Saison deutlich über dem Signifikanzniveau von 0,6 liegen. Somit ist die Konkurrenzsituation um Nahrung in den kritischen Phasen der frühen Entwicklung und vor Eintritt des nahrungsarmen Winters am größten. Der Rapfen hat hier die niedrigsten, also vorteilhaftesten Werte, da er vornehmlich Insekten von der Wasseroberfläche frisst, die von den anderen Arten kaum als Beute genutzt werden.

Zusätzlich zum gewichteten Nahrungsni-schenüberlappungsindex wurde ein Wert zur Messung der Konkurrenzstärke entworfen, der ebenfalls auf unseren Freilanddaten basiert und beschreibt, wie viel Prozent der gewünschten Nahrungsmenge tatsächlich aufgenommen werden konnte. Ein Wert von 100 % würde demnach bedeuten, dass jedes Individuum der Population dieser Art in der Lage war, genauso viel Nahrung zu erbeuten, wie es optimaler Weise erbeuten möchte. Man muss sich das in etwa so vorstellen: Sie bereiten zu Hause ein Buffet für 20 Leute vor. Nun bringt aber jeder der Eingeladenen zwei Freunde mit, so dass schließlich 60 Leute vor dem Buffet stehen. Klar ist, es kann nicht für alle reichen. Wer die stärkeren Ellenbogen am Buffet hat, der wird am meisten davon abbekommen, sprich die Schwächeren werden eher hungrig nach Hause gehen. Dass diese Werte der Konkurrenzstärken bei allen sechs Arten deutlich unter dieser 100 %-Marke liegen, deutet auf die hohe Konkurrenz um Nahrung im Rhein hin; das bedeutet, es gibt nicht genug zu fressen für alle.

Die höchste Konkurrenzfähigkeit konnte für die Schwarzmaulgrundel ermittelt werden, die im Durchschnitt knapp 60 % der gewünschten Nahrungsmenge konsumieren konnte (Abb. 15). Von den einheimischen Arten kann hier nur der Rapfen aufgrund seiner zusätzlichen Nahrungsquelle (Insekten, s. o.) relativ gute Werte erzielen, mit knapp 50 % des gewünschten Konsums. Somit ist er gleichauf mit der Flussgrundel, gefolgt von der Kesslergrundel (ca. 40 %). Die geringste Konkurrenzstärke zeigen hier die juvenilen Barsche (ca. 32 %) und insbesondere Zander mit nur knapp 19 % des gewünschten Konsums. In diesem Stadium der Entwicklung kann eine derartige Mangelernährung zu Wachstumsverzögerungen und nachfolgender Wintermortalität führen (POST & EVANS 1989; HOUDE 1997; HEERMANN ET AL. 2009). Die 0+-Barsche und Zander werden hier durch die Grundeln in einen sogenannten „juvenile competitive bottleneck“ (sinngemäß übersetzt: Fla-schenhals in der Juvenilentwicklung durch starke Konkurrenz) gezwängt (PERSSON 1988; PERSSON & GREENBERG 1990): Obwohl sie später durchaus Grundeln fressen und somit als Räuber von ihnen profitieren, behindern die Grundeln durch ihre Konkurrenzstärke um Nahrung das Heranwachsen der frühen Stadien von Barsch und Zander zu Größen, in denen sie Fisch fressen.

Die größten negativen Auswirkungen der invasiven Grundeln liegen also bei den heimischen Barschartigen Flussbarsch und Zander. Aber auch die Arten, die sich vorwiegend vom Makrozoo-

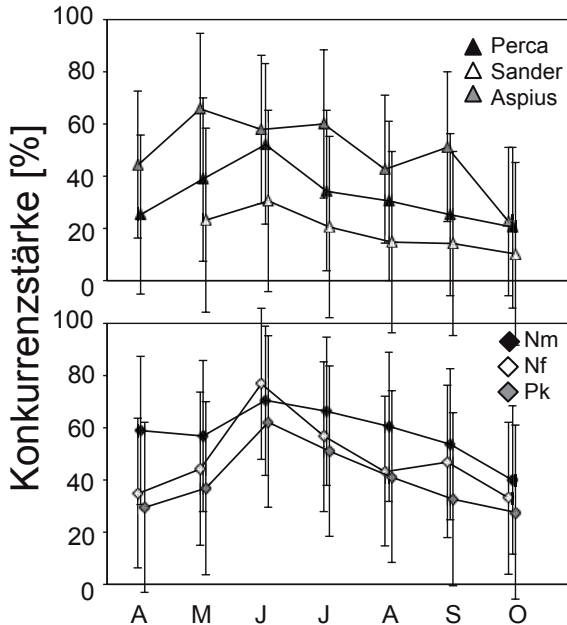


Abb. 15: Konkurrenzstärke bezüglich der Nahrungsaufnahme im Laufe der Saison (A = April bis O = Oktober) für die Arten Flussbarsch (Perca), Zander (Sander) und Rapfen (Aspius) (oben) sowie für Schwarzmaulgrundel (Nm), Flussgrundel (Nf) und Kesslergrundel (Pk) (unten)

benthos ernähren, wie z. B. Gründling oder Kaulbarsch, erfahren eine erheblich gesteigerte Konkurrenz um Nahrung in dem ohnehin limitierten System. Die Auswirkungen auf Plankton fressende Arten und Aufwuchsfresser sind sicherlich geringer einzuschätzen, da sie andere Nahrungsquellen als die Grundeln erschließen können. Jedoch wird es auch hier vor allem in den meisten Larvenstadien, die auf Plankton angewiesen sind, zu Konkurrenzsituationen mit den juvenilen Grundeln kommen, die in dieser kritischen Entwicklungsphase oft über das Überleben und/oder die weitere Entwicklung entscheiden.

### 1.6. Prädation auf Grundeln von einheimischen Räubern

Insgesamt 2096 Magenanalysen wurden durchgeführt, um Aussagen darüber treffen zu können, welche einheimischen Fische Grundeln fressen und womöglich sogar bevorzugen. Dafür wurden Rheinindividuen aus den verschiedensten Befischungen von 17 mm bis 820 mm TL auf ihren Mageninhalt hin analysiert.

Vom Hecht (*Esox lucius*) wurden innerhalb des Untersuchungszeitraumes nur drei Individuen gefangen und von denen hatten zwei Individuen einen leeren Magen. Das dritte Tier enthielt allerdings zwei Schwarzmaulgrundeln. Auch von Anglern hier aus der Region ist bekannt, dass Hechte Grundeln fressen. Eine Aussage über die Präferenz kann hier jedoch nicht ohne weitere Untersuchungen getroffen werden.

Eigentlich für die Konkurrenzanalysen gedacht, wurden auch 217 Gründlinge (*Gobio gobio*) untersucht. Erstaunlicherweise wurde bei 28 Tieren Fisch im Magen gefunden und dies waren immer (sofern noch erkennbar) Grundeln. Bei diesen „Räubern“ handelte es sich um juvenile Gründlinge (28 mm – 51 mm TL), die sich ansonsten vornehmlich von Makrozoobenthos ernähren. Die konsumierten Grundeln waren hier noch recht frisch geschlüpfte Individuen um 6 - 15 mm TL. Diese Größenstadien halten sich aufgrund des fehlenden Larvenstadiums bereits in Bodennähe auf und passen daher in das Beutespektrum der Gründlinge. Von den 157 analysierten Kaulbarschen (*Gymnocephalus cernua*), die ebenfalls zur Konkurrenzanalyse herangezogen wurden, hatten nur drei Individuen nicht mehr identifizierbare Fischreste im Magen.

Der Aal (*Anguilla anguilla*) frisst Fisch ebenfalls nur zu einem geringen Prozentsatz (12 %), Bachflohkrebse bilden hier den Hauptanteil der Beute. Lediglich bei drei von den 24 analysierten Aalen konnte Fisch im Magen gefunden werden. Bei zwei der Inhalte konnten Grundeln identifiziert werden, der dritte Inhalt konnte lediglich als „Fisch“ eingestuft werden.

Von den 429 analysierten Rapfen waren leider nur drei Tiere über 200 mm TL groß, so dass für die adulten Tiere keine Aussage zum Grundelkonsum getroffen werden kann. Angler berichten aber, dass sie Rapfen hier in der Region sowie auch in den Niederlanden zunehmend in Bodennähe fangen und nicht mehr wie früher direkt an der Oberfläche, was ein Indiz für einen zunehmenden Grundelkonsum sein könnte. Hier werden jedoch weitere Analysen benötigt, um eine solche Tendenz nachweisen zu können. Bei den juvenilen Rapfen (bis 150 mm TL) gab es einige Individuen, die sich auf Grundelfraß spezialisiert hatten. Einige junge Rapfen hatten bis zu 36 Grundeln im Magen. Die gefressenen Grundeln waren in diesem Fall frisch geschlüpfte Individuen in der Größe von 6 - 10 mm. Da der Rapfen ein Oberflächenräuber ist und diese Größe genau die Größe der driftenden Grundeln reflektiert, vermuten wir, dass der Rapfen sich diese Tiere aus der Drift gegriffen hat und nicht wie der Gründling vom Grund. Während für die Arten Aal, Kaulbarsch und Gründling die Konkurrenz um Nahrung mit den Grundeln deutlich im Vordergrund steht, frisst der Rapfen vornehmlich Insekten von der Oberfläche und eröffnet sich so eine Beutequelle, die nicht von den Grundeln genutzt wird. Er könnte somit ein bedeutender Grundelräuber im System werden, wenn er sich wirklich wie vermutet auf diese neue Beute einstellt.

Bis 10 cm frisst der Flussbarsch nur zu einem geringen Anteil Fisch (< 20 %), auch hier ist die Hauptbeute der Große Höckerflohkrebs, so dass er eine hohe Überlappung mit den invasiven Grundeln zeigt. Allerdings frisst der Barsch auch in diesen frühen Stadien schon Grundeln, und zwar zu einem deutlich höheren Anteil als einheimische Arten. Ab 15 cm TL frisst der Barsch fast ausschließlich Fisch und davon wird der Großteil (knapp 90 %) von den invasiven Grundeln ausgemacht. Schaut man sich hier die Artenverteilung innerhalb der gefressenen Grundeln genauer an, so sieht man eine klare Präferenz für die Schwarzmaulgrundel, wohingegen die Flussgrundel nur gelegentlich gefressen wird. Kesslergrundeln konnten dagegen gar nicht im Magen des Barsches detektiert werden. Beim Zander sieht das Bild etwas anders aus: Im Gegensatz zum Barsch frisst er auch schon in den jungen Stadien (bis 10 cm TL) bis zu 60 % Fisch, hiervon sind jedoch nur ca. die Hälfte aller Fische Grundeln, der andere Teil setzt sich aus einheimischen Arten zusammen. Auch lässt sich beim Zander keine klare Präferenz für eine Grundelart erkennen. Er frisst Schwarzmaul- und Flussgrundeln zu gleichen Anteilen und sogar gelegentlich eine Kesslergrundel. Wir vermuten, dass dies mit der Habitatswahl der Räuber beim Jagen zusammenhängt. Während der Zander nachts sowohl vor der Steinschüttung als auch in den sandigen Bühnenfeldern gefangen

werden kann, sitzen die fischfressenden Stadien der Barsche nur in bzw. vor der Steinschüttung. Dies reflektiert genau die Habitatswahl der konsumierten Grundeln. In der Steinschüttung gibt es keine Flussgrundeln, wohl aber auf den sandigen Bereichen der Bühnenfelder.

Der Teil der Barsche und Zander, die aus dem erwähnten Flaschenhals herauswachsen, fressen also durchaus gute Mengen der Grundeln. Bis zu einer Größe von 10 cm TL ist der Zander hierbei der „bessere“ Grundelräuber, danach übernimmt der Flussbarsch die stärkere Räuberposition. Dies spiegelt sich auch saisonal in den Bühnenfeldern wider; bis Juni fressen die 0+-Zander mehr Grundeln, ab Juli dann die 0+-Flussbarsche. Leider liefern die Daten aus den Bühnenfeldern nur Dichten der 0+-Individuen und nicht der adulten Tiere. Hier sehen wir zwar eine Präferenz für Grundeln beim Barsch und auch Grundelfraß beim Zander, welche Auswirkungen dies aber auf die große Häufigkeit der Grundeln hat, bleibt noch ungeklärt. Zudem konnten wir in unseren Versuchen zeigen, dass die Grundeln durchaus in der Lage sind, den Räuber Zander als solchen zu erkennen und Vermeidungsstrategien wie Verstecken anzuwenden.

Als weiterer möglicher Räuber für die Grundeln sei zuletzt die Quappe (*Lota lota*) genannt, für die derzeit ein Wiederansiedlungsprojekt in der Lippe läuft (finanziert vom nordrhein-westfälischen Umweltministerium, Projekt des Landesfischereiverbandes Westfalen und Lippe e.V. in Kooperation mit der Biologischen Station des Kreises Soest und dem Ruhrverband, Abb. 16). Fraßversuche mit juvenilen Quappen (ca. 90 mm TL) konnten nicht nur zeigen, dass die Quappe erhebliche Mengen an Grundeln frisst, sie wächst zudem auch erstaunlich gut mit dieser Nahrung (KUNDRUHN 2014). Des Weiteren konnte eine Präferenz der juvenilen Quappen für Flussgrundeln vor Schwarzmaulgrundeln gesehen werden und zudem noch ein Lerneffekt im Umgang mit dieser neuen Beute. Auch wird bei dieser Art die Ausbildung des „juvenile competitive bottleneck“ wie beim Barsch oder Zander vermutlich weniger ausgeprägt stattfinden, da diese Art bereits im Winter laicht und Jungtiere somit



Abb. 16: Junge Quappe (*Lota lota*), gefangen am 11.6.2015 in den Auen des neu gestalteten Auenbereichs im Lippe-Mündungsgebiet

einen Größenvorsprung auf die 0+-Grundeln hätten. Wir halten demnach eine Ausdehnung des Wiederansiedlungsprojektes der Quappe nicht nur zu Bestandserhaltungszwecken für äußerst sinnvoll, sondern auch als potenzielle Maßnahme zur Minimierung der invasiven Grundelbestände.

Zusammenfassend lässt sich die ökologische Nische der Grundeln im Rhein folgendermaßen darstellen:

Tabelle 4: Ökologische Nische in Steckbriefformat der invasiven Grundelarten Flussgrundel, Schwarzmaulgrundel und Kesslergrundel \* = Arten im Vergleich untereinander.

<b>Art</b>	<b>Flussgrundel (Nf)</b>	<b>Schwarzmaulgrundel (Nm)</b>	<b>Kesslergrundel (Pk)</b>
Maximale Größe (TL)	160mm	190mm	190mm
Reproduktionsmodus	Portionslaicher	Portionslaicher	Einmaliges Abbläichen
Brutpflege	durch das Männchen	durch das Männchen	durch das Männchen
Laichzeit	Mitte März - Mitte September	Mitte März - Mitte September	Mitte März - Mitte Juli
Laichhabitat	unbekannt	Höhlen in der Steinschüttung	Höhlen in der Steinschüttung
Habitat (adult)	Buhnenfelder (bevorzugt sandige Böden)	Buhnenfelder, tiefe Bereiche, Steinschüttung	Steinschüttung
Habitat (0+)	Buhnenfelder	Buhnenfelder	Buhnenfelder
Größe bei Habitatswechsel			ca. 60mm TL
Driftaktivität	Mai-September	April-September	April-Juni
Driftgröße (TL)	8,5 +/- 1,4mm	8,8 +/- 1,1mm	9,3 +/- 3,3mm
Sexualdimorphismus	deutlich (Laichzeit)	deutlich (Laichzeit)	minimal (Laichzeit)
Erhöhte Piscivorie	ab 100mm TL	nein	ab 100mm TL
Konkurrenzstärke um Nahrung	hoch	hoch	mittel
Energiestoffwechsel*	niedrig	mittel	hoch
Aktivität*	niedrig	hoch	mittel
Gefressene Nahrungsmenge [g/g Körpergewicht/Tag]	0,076	0,097	0,152
Beute für Flussbarsch	wenig	ja	nein
Beute für Zander	ja	ja	wenig
Invasionsstatus	äußerst hoch	äußerst hoch	hoch



#### 4. Fördermaßnahmen für die einheimische Fischfauna

Der obere Niederrhein bis etwa bei Düsseldorf ist aufgrund geomorphologischer und hydrologischer Merkmale noch dem Epipotamal (d. h. der Barbenregion) zuzuordnen, während der untere Niederrhein bis zur niederländischen Grenze dem Metapotamal (d. h. der Brachsenregion) entspricht (STAAS 1998). Durch eine Vielzahl von Untersuchungen wurde belegt, dass nahezu alle einheimischen Fischarten des Rheins zu bestimmten Lebensabschnitten auf eine intakte Aue angewiesen sind (s. z. B. SCHARBERT & BORCHERDING 2013). Als ein typisches Beispiel sei hier der eurypote Brachsen genannt, dessen Nachkommenschaft sich nur in den strömungsberuhigten Bereichen der Aue in nennenswerter Anzahl entwickeln kann (MOLLS 1999, Abb. 17). Nicht nur am Rhein, sondern weltweit gehören Flussauen heute zu den am stärksten bedrohten Habitaten und wurden erst jüngst auf der Roten Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands in die Kategorie „von vollständiger Vernichtung bedroht“ eingestuft. In den letzten 100 Jahren hat darüber hinaus die Sohl-

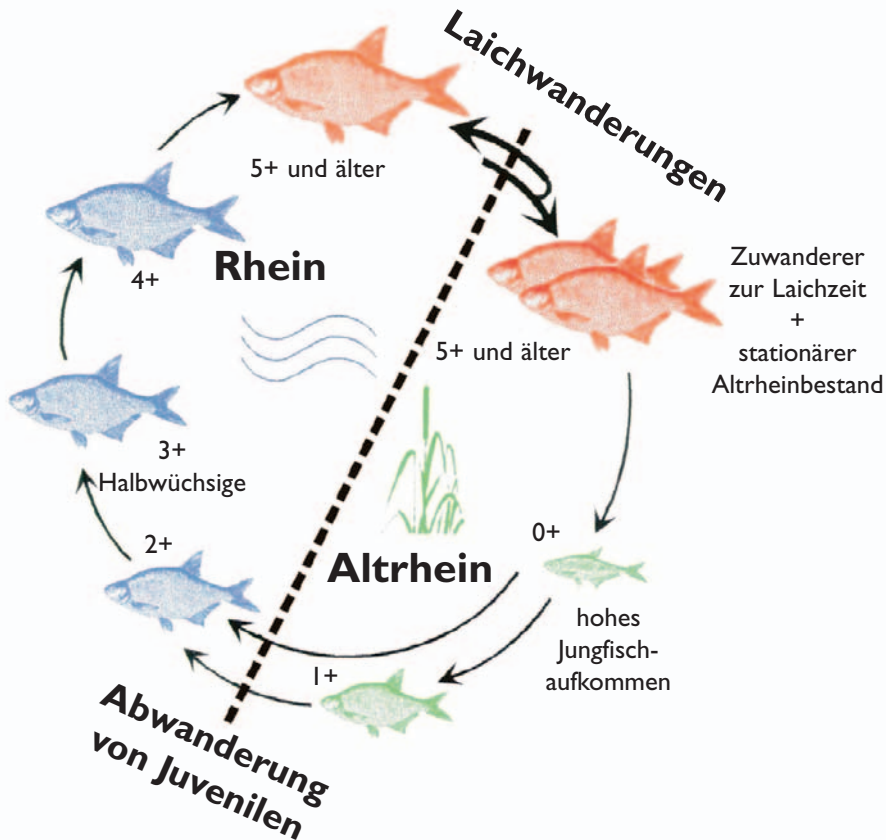


Abb. 17: Lebenszyklus des Brachsen im Niederrhein mit den verschiedenen Altersstufen und ihren Wanderungen vom Hauptstrom in die Auengewässer und zurück, nach MOLLS (1999)



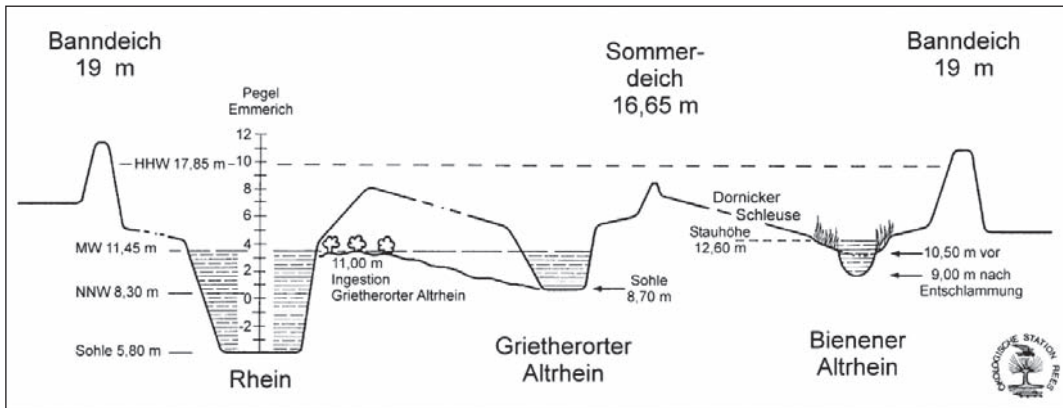


Abb. 18: Die Aue des Rheins im Bereich des Naturschutzgebietes „Alter Rhein bei Bienen-Praest/Millinger und Hurler Meer“ im Querschnitt (nach NEUMANN 1994)

erosion am Niederrhein den Strom bis zu 5 m eingetieft, mit immensen Auswirkungen auf die Auen: der Grundwasserspiegel sinkt, Altarme und Stillwasserbereiche fallen trocken und die Verbindung der Auengewässer zum Fluss ist unterbrochen (Abb. 18). Mithin ist die auf hohe Produktivität und Dynamik beruhende ökosystemare Funktionalität von Auen mit ihrer hohen Biodiversität nachhaltig gestört. Da zudem zwischen den vielfältigen, menschlichen Nutzungsansprüchen an die Auen z. T. massive Interessenskonflikte bestehen, gerät die beispielsweise von der EU-WRRL (Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft) geforderte funktionale Integrität der Auen als Bestandteil vitaler Flusssysteme heute zunehmend ins Hintertreffen. Und dies ist, wie auch durch unsere Ergebnisse angedeutet, einer der wesentlichen Gründe für den aktuellen Erfolg der invasiven Grundeln.

Jede Verbesserung von bestehenden Auensystemen als Lebensraum für Fische und andere aquatische Organismen kann nur auf Konzepten basieren, in denen die noch vorhandenen, derzeit aber eher trockenen Auenreste wieder vernässt und nachhaltig mit dem Hauptstrom verbunden werden (SCHARBERT & BORCHERDING 2013). Dies gelingt am effizientesten durch eine Tieferlegung der Aue, wie dies eindrucksvoll am Beispiel der Lippemündung in den Rhein demonstriert wurde (vgl. hierzu BORCHERDING & GERTZEN 2015, Abb. 19). Allgemein machen solche Fallstudien deutlich, dass für eine artenreiche und produktive Fischbiozönose des Rheins insbesondere eine Vernetzung mit Biotopstrukturen und Nahrungsspektren in den Stillgewässern der Aue von entscheidender Bedeutung ist.

Darüber hinaus müssen ufergestaltende Maßnahmen längs des Rheins und die Pflege von makrophytenreichen Auengewässern (ohne starke Wasserstandsschwankungen) hinzukommen. Aber auch die Erhaltung und Ufergestaltung der rheinangebundenen Baggerseen als Ersatzbiotope sollte hierbei in den Fokus gestellt werden (BORCHERDING & STAAS 2008). Insgesamt empfehlen wir ein langfristig angelegtes Entwicklungskonzept, das alle Bereiche der gegenwärtig noch vorhandenen Aue umfasst und in dem die heute vielfach isolierten Gewässer großflächig miteinander und mit dem Strom vernetzt werden (NEUMANN & BORCHERDING 1998).



Abb.19: Die erweiterte, tiefergelegte und neu gestaltete Aue im Bereich der Lippemündung in den Rhein (im Hintergrund) bei Wesel. Gut zu erkennen sind die vielfältigen und flach auslaufenden Ufer in den Auenbereichen sowie die vielgestaltige Reliefgestaltung durch die Lippe im Strom (Foto: Emschergenossenschaft/ Lippeverband).

Das vorrangige Ziel all dieser Maßnahmen wäre in der Konsequenz die Stützung der Reproduktions- und Aufwuchsareale der heimischen Fischfauna, die dann in ihrer weiteren Entwicklung gestärkt in die aktuell schwierige Konkurrenzsituation mit den invasiven Grundeln gehen könnten. Dies bezieht sich insbesondere genau auf jene Arten wie den Flussbarsch oder den Zander, die als Prädatoren der invasiven Grundeln deren Entwicklung nachhaltig beeinflussen könnten.

Wie unsere Analyse am Niederrhein gezeigt hat, existiert zwischen dem Rapfen und den anderen Arten nur eine mäßige Nischenüberlappung. Die sich anschließende Analyse der Konkurrenzstärke ergab, dass der Rapfen die einzige einheimische der untersuchten Arten war, die etwa die gleiche Konkurrenzstärke wie die dominante Schwarzmaulgrundel (und die Flussgrundel) erreichte. Dies deutet an, dass wenn direkte Konkurrenz um gleiche Nahrungsquellen gering ausgeprägt ist, dann die ansonsten sehr konkurrenzstarken Grundeln ihren Vorteil gegenüber den nativen Arten verlieren. Diese Konkurrenzsituation basiert immer auf dem zeitgleichen Auftreten der Kontrahenten, da alle bisher untersuchten Arten im Frühjahr ablaichen und somit die Jungfischentwicklung der ersten Monate parallel abläuft. In allen zu untersuchenden Habitaten ist aber auch eine Art potentiell heimisch, die als Winterlaicher um Monate früher mit ihrer Jungfischentwicklung beginnt, die Quappe (*Lota lota*).

Die Quappe ist in den nearktischen und paläarktischen Regionen vom 40. bis zum 70. Breitengrad vertreten. In der Thaya (tschechisch Dyje), einem Nebenfluss der Donau mit einem guten

Bestand der Quappe und dem Vorkommen der Schwarzmaulgrundel, fressen adulte Quappen nahezu ausschließlich Grundeln (Pavel Jurajda, pers. Mittl.). In eigenen Laboruntersuchungen fraßen juvenile Quappen in sehr hohen Raten juvenile Grundeln und wuchsen dabei außergewöhnlich gut (KUNDRUHN 2014). Da die Quappe aber derzeit im Rhein (ebenso wie im Unterlauf der Lippe) praktisch ausgestorben ist, läuft momentan ein Wiederansiedlungsprojekt (Kooperation der Emschergerossenschaft/Lippeverband, der Biologischen Station im Kreis Wesel e.V., und der Universität zu Köln – Außenstelle Grietherbusch) im Mündungsbereich der Lippe in den Rhein, das auch in den nächsten Jahren fortgeführt werden soll und weiterer Unterstützung bedarf.

Die am schnellsten zu realisierende Maßnahme zur Stützung der autochthonen Fischfauna in ihrer Konkurrenz zu den invasiven Grundeln ist aber sicherlich, die Grundeln intensiv zu befischen. In ihren Ursprungsgebieten sind die Grundeln ein hoch geschätzter Speisefisch, der sogar in entsprechenden Fabriken für den menschlichen Verzehr verarbeitet wird (vgl. Abb. 20). In Lettland, wo sich die Schwarzmaulgrundel seit 2004 in der Ostsee etabliert hat, wird die Art kommerziell mit Reusen und Schleppnetzen sehr erfolgreich befischt, wobei aktuell mehr als 100 Tonnen jährlich gefangen und erfolgreich vermarktet werden (Elina Knospina, Institute of Food Safety, Animal Health and Environment “BIOR”, Riga, Latvia). Deshalb sollten auch bei uns entsprechende Rezepte zur Zubereitung und weitere Ideen zur Nutzung der invasiven Grundeln vor allem in Anglerkreisen verbreitet werden. Unsere eigenen Erfahrungen zeigen, dass mit Angeln innerhalb kürzester Zeit große Anzahlen gefangen werden können (durchschnittlich bis zu 30 Grundeln pro Stunde und Rute), die bei sehr einfacher Zubereitung zudem ein exzellentes und sehr wohlschmeckendes Mahl sind! Kürzlich wurde aus Anglerkreisen berichtet, dass bei 70 °C gedörrte Grundeln ein perfekter Snack für Hunde und Katzen sind. Solche Ansätze sind genau der richtige Weg, um auf Dauer vernünftige und nachhaltige Nutzungsformen der Grundeln in der Bevölkerung zu etablieren.



Abb. 20: Grundeln als schmackhafte Speisefische

## 5. Empfehlungen für ein langfristiges Monitoring

Ein effektives Monitoring kann nur aus einer Vielzahl von Befischungsmethoden bestehen, da die meisten Methoden arten- und/oder größenspezifische Fangquoten haben und zudem nicht in allen Habitaten einsetzbar sind. Für alle im Folgenden empfohlenen Befischungen und Methoden sollte ein möglichst hohes Maß an Standardisierung (Orte, Geräte, Strukturen, Zeiten, Wasserstände etc.) erreicht werden. Nur so lässt sich eine Vergleichbarkeit über der zeitlichen Achse, verschiedenen Gewässerabschnitten und unterschiedlichen Bearbeitern gewährleisten. Aufgrund unserer Erfahrungen aus den letzten Jahren und in der Zusammenarbeit mit dem Rheinischen Fischereiverband von 1880 e.V. und der Rheinfischereigenossenschaft empfehlen wir folgendes Programm:

Tabelle 5: Vorschlag für ein Monitoring-Programm für die Rheinfischfauna des Niederrheins Standardprogramm (oben) und fakultatives Zusatzprogramm (unten)

Methodik	Turnus	Zielfische	Zeitpunkt	Konditionen
Uferzugnetz	jährlich	vor allem 0+-Stadien benthischer Arten	Juli, Tag + Nacht	je 5 Strecken à 20 m, konstanter Pegel
PAS	jährlich	vor allem 0+-Stadien	s. Limnoplan 2015	s. Limnoplan 2015
Elektrobefischung (LANUV)	jährlich	alle Arten	Sommer	gleicher Streckenumfang, konstanter Pegel
Treibnetze/ Kiemennetze	jährlich	Wanderfische, große adulte Fische		
Aalschokker/ feste Fangstation	budgetabhängig			
Angeln (wissenschaftlich)	jährlich		Juli	Angelvereine unter Anleitung

- **Jungfischbestandserhebungen:** Vor allem für den Rekrutierungserfolg bieten sich Uferzugnetzbefischungen in sandig-kiesigen Bühnenfeldern an, wie sie intensiv auch in der vorliegenden Studie angewendet wurden. Sowohl die Artenzahlen als auch die Fischbiomassen sind im Monat Juli am höchsten, wodurch sich dieser Monat besonders für ein Monitoring anbietet. Wie die Ergebnisse belegen, ergänzen Nachtbefischungen hierbei sowohl die Artenzahl als auch die Menge gefangener Fische substantiell. Wir empfehlen daher eine alljährliche Uferzugnetzbefischung im Juli, bei der jeweils fünf Strecken à 20 m am Tag und in der Nacht mit einem feinen Netz (maximale Maschenweite 4 mm) gezogen werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass der Wasserpegel zumindest innerhalb der vorherigen sieben Tage relativ konstant war. Diese Methode kann/sollte durch point-abundance-Elektrobefischungen (PAS) ergänzt werden. Hierzu liegen umfangreiche Erfahrungen aus einem weiteren Forschungsprojekt vor (LIMNOPLAN 2015).

- Fischfauna Allgemein, Vergleichbarkeit in langen Jahresreihen: Die bootsgestützten *Elektro-Streckenbefischungen des LANUV* müssten jedes Jahr durchgeführt werden, bei möglichst vergleichbaren Wasserständen im Sommer.
- Auengewässer und Stromsohle: Standardisierte *Multimaschenkiemennetzbefischungen* in beruhigten Uferbereichen und Auengewässern sowie *Treibnetzbefischungen* der Stromsohle erlauben die Erfassung von Fischbeständen in ansonsten z. T. schwierig zu befischenden Bereichen.
- Feste Fangstationen mit Reusenkonstruktionen: Die Einrichtung einer *festen Fangstation* mit (semi-)kontinuierlichen Befischungsreihen z. B. mit einem Hamen ist anzustreben. An solchen Stationen können auch *Driftnetzbefischungen* bei gezielten Fragestellungen (z. B. der Suche nach speziellen Larven wie etwa dem Nordseeschnäpel) sehr gut und erfolgreich eingesetzt werden. In jedem Falle sollten auch Befischungsprogramme mit *Aalschokkern* Bestandteil kontinuierlicher Monitoringprogramme am Rhein sein, besonders unter dem Gesichtspunkt der diadromen Wanderfische.
- Wissenschaftliches Angeln: Mit dieser Methode könnten die Nutzer am Rhein in das Monitoring eingebunden werden. Hierzu bedarf es aber strikter Vorgaben und einer wissenschaftlichen Begleitung, um Vergleichbarkeit anhand eines CPUE (catch-per-unit-effort) zu ermöglichen.



## 6. Literatur

- BORCHERDING, J., ARNDT, H., BREIDEN, S., BRENNER, K., HEERMANN, L., HÖFER, S., LEISTENSCHNEIDER, C., LINDNER, J., STAAS, S. & GERTZEN, S. (2016): Drift of fish larvae in the Rhine before and after the goby invasion. NN in Prep.
- 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. *Limnologica* 43: 49-58.
- BORCHERDING, J. & GERTZEN, S. (2015): Die Lippemündung im Kreis Wesel - Die Jungfischfauna als Indikator für die Funktionalität dieses neuen Flussauenbereichs (Wiederansiedlungsprogramm Quappe). unveröffentlichtes Gutachten.
- BORCHERDING, J. & STAAS, S. (2008): Local riverine fish communities as promoters for habitat restoration in the floodplain area of the lower Rhine. *American Fisheries Society Symposium* 49: 835-843.
- BORCHERDING, J., STAAS, S., KRÜGER, S., ONDRACKOVA, M., SLAPANSKY, 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.
- DIDHAM, R. K., TYLIANAKIS, J. M., HUTCHISON, M. A., EWERS, R. M. & GEMMELL, N. J. (2005): Are invasive species the drivers of ecological change? *Trends in Ecology & Evolution* 20: 470-474.
- GERTZEN, S., FIDLER, A., KREISCHE, F., KWABEK, L., SCHWAMBORN, V. & BORCHERDING, J. (2015): Reproductive strategies of three invasive Gobiidae co-occurring in the Lower Rhine (Germany). *Limnologica* in press.
- GOZLAN, R. E., BRITTON, J. R., COWX, I. & COPP, G. H. (2010): Current knowledge on non-native freshwater fish introductions. *Journal of Fish Biology* 76: 751-786.
- GRABOWSKA, J. & GRABOWSKI, M. (2005): Diel-feeding activity in early summer of racer goby *Neogobius gymnotrachelus* (Gobiidae): a new invader in the Baltic basin. *Journal of Applied Ichthyology* 21: 282-286.
- HAERTL, M., CERWENKA, A. F., BRANDNER, J., BORCHERDING, J., GEIST, J. & SCHLIEWEN, U. (2012): First record of *Babka gymnotrachelus* (Kessler, 1857) from Germany (Teleostei, Gobiidae, Benthophilinae). *Spixiana* 35: 155-159.
- HARDENBICKER, P., ROLINSKI, S., WEITERE, M. & FISCHER, H. (2014): Contrasting long-term trends and shifts in phytoplankton dynamics in two large rivers. *International Review of Hydrobiology* 99: 287-299.
- HARDIN, G. (1960): The competitive exclusion principle. *Science* 131: 1292-1297.
- HEERMANN, L., ERIKSSON, L. O., MAGNHAGEN, C. & BORCHERDING, J. (2009): Size-dependent energy storage and winter mortality of perch. *Ecology of Freshwater Fish* 18: 560-571.
- HOUDE, E. D. (1997): Patterns and trends in larval-stage growth and mortality of teleost fish. *Journal of Fish Biology* 51: 52-83.
- HYSLOP, E. J. (1980): Stomach content analysis - a review of methods and their application. *Journal of Fish Biology* 17: 411-429.
- KOTTELAT, M. & FREYHOF, J. (2007): Handbook of European freshwater fishes. Publications Kottelat, Cornol, Switzerland, -646.

- KUNDRUHN, M. (2014): Predation of juvenile burbot (*Lota lota*) on juvenile invasive gobiids – potential for successful control? Bachelor thesis, University of Cologne. -71 pp.
- LEVINE, J. M. (2000): Species Diversity and Biological Invasions: Relating Local Process to Community Pattern. *Science* 288: 852-854.
- LIMNOPLAN (2015): Monitoring-Programm Rheinfischfauna 2014 (Beitrag zur Erarbeitung eines Fischmonitoringkonzeptes für die Auengewässer des Rheins in NRW) - Teilbericht 2: Jungfisch-Monitoring im Hauptstrom. – Ergebnisbericht im Auftrag des Rheinischen Fischereiverbandes von 1880 e.V. zum Kooperationsprojekt von Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Rheinischem Fischereiverband von 1880 e.V., Rheinfischereigenossenschaft NRW, LimnoPlan – Fisch- und Gewässerökologie. -44.
- MEHNER, L. (2013): Metabolic rates of three invasive Gobiidae in the Lower Rhine – oxygen consumption under varying conditions. Bachelor thesis, University of Cologne. -86 pp.
- MOLLS, F. (1999): New insights into the migration and habitat use by bream and white bream in the floodplain of the River Rhine. *Journal of Fish Biology* 55: 1187-1200.
- MOYLE, P. B. & LIGHT, T. (1996): Biological invasions of fresh water: Empirical rules and assembly theory. *Biological Conservation* 78: 149-161.
- NEUMANN, D. (1994): Ökologische Probleme im Rheinstrom. *Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften - Vorträge* 407: 43-83.
- NEUMANN, D. & BORCHERDING, J. (1998): Die Fischfauna des Niederrheins und seiner ehemaligen Auenlandschaft. Istzustand, ökologische Anpassungen und Vorschläge für zukünftige Maßnahmen. *LÖBF-Mitteilungen* 2/98: 12-15.
- PERSSON, L. (1988): Asymmetries in competitive and predatory interactions in fish populations. In: Ebenman, B. and Persson, L. *Size-Structured Populations*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag: 203-218.
- PERSSON, L. & GREENBERG, L. A. (1990): Juvenile competitive bottlenecks: the perch (*Perca fluviatilis*)-roach (*Rutilus rutilus*) interaction. *Ecology* 71: 44-56.
- PINDER, A. C. (2001): Keys to larval and juvenile stages of coarse fishes from freshwaters in the British Isles. *Ambleside: Freshwater Biological Association*, -134.
- POST, J. R. & EVANS, D. O. (1989): Size-dependent overwinter mortality of young-of-the-year yellow perch (*Perca flavescens*): Laboratory, in situ enclosure, and field experiments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 46: 1958-1968.
- ROCHE, K., JANAC, M. & JURAIDA, 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*.
- SCHARBERT, A. & BORCHERDING, J. (2013): Relationships of hydrology and life-history strategies on the spatio-temporal habitat utilisation of fish in European temperate river floodplains. *Ecological Indicators* 29: 348-360.
- SCHOENER, T. W. (1970): Nonsynchronous spatial overlap of lizards in patchy habitats. *Ecology* 51: 408-418.



- STAAS, S. (1996): Anleitung zur Bestimmung von 0+-Jungfischen aus dem Rhein., Report Ecological Field Station Rees-Grietherbusch. University of Cologne.
- STAAS, S. (1998): Das Jungfischauftreten im Rheinstrom und in künstlichen Abgrabungsseen mit Anbindung an den Rheinstrom. LÖBF-Mitteilungen 2/98: 15-19.
- URHO, L. (1996): Identification of perch (*Perca fluviatilis*), pikeperch (*Stizostedion lucioperca*) and ruffe (*Gymnocephalus cernuus*) larvae. Annales Zoologici Fennici 33: 659-667.
- VAN BEEK, G. C. W. (2006): The round goby *Neogobius melanostomus* first recorded in the Netherlands. Aquatic Invasions 1: 42-43.
- VAN KESSEL, N., DORENBOSCH, M. & SPIKMANS, F. (2009): First record of Pontian monkey goby, *Neogobius fluviatilis* (Pallas, 1814), in the Dutch Rhine. Aquatic Invasions 4: 421-424.
- WALLACE, R. K. (1981): An assessment of diet-overlap indexes. Transactions of the American Fisheries Society 110: 72-76.
- WILLIAMSON, M. (1997): Biological invasions. London: Chapman & Hall: 1-244.

