

*dynaklim*-Publikation



T. Korte, M. Sommerhäuser

# Auswirkungen des Klimawandels auf die Lebensgemeinschaften in großen Flüssen

Gefördert durch:





# AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DIE LEBENSGEMEINSCHAFTEN IN GROßEN FLÜSSEN

## Untersuchung zur Verbreitung von wärmeliebenden Neozoen und deren Einfluss auf die Bewertung nach EG-Wasserrahmenrichtlinie

Dr. Thomas Korte und Dr. Mario Sommerhäuser  
**Emschergenossenschaft / Lippeverband**  
www.eglv.de

---

dynaklim-Publikation Nr. 13 / Oktober 2011

---



### Abstract

Es wurde untersucht, welchen Einfluss die Temperatur auf die Zusammensetzung wirbelloser Lebensgemeinschaften (Makrozoobenthos, MZB) in den großen Flüssen Lippe, Ems und Ruhr hat und ob sich eine Temperaturerhöhung durch den Klimawandel auf die Bewertung solcher Gewässertypen nach EU-Wasserrahmenrichtlinie auswirken kann.

Da die mittleren Jahreswassertemperaturen an einer Probestelle einen signifikanten Erklärungsanteil an der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft haben, wurde eine neue biologische Messgröße (Metrik) abgeleitet, deren Größe von der Temperatur abhängt: Die Häufigkeiten wärmeliebender Neozoen-Arten des Makrozoobenthos steigen signifikant mit der Temperaturzunahme an einer Probestelle. In den thermisch veränderten Probestellen der Lippe sind die Häufigkeiten deutlich höher als in der Ems und in der Ruhr. Es wurden Grenzwerte abgeleitet, um die thermische Veränderung einer Probestelle durch den Metrik „Häufigkeiten wärmeliebender Neozoen“ näher zu beschreiben.

Die aktuell in Deutschland zur Bewertung des Fließgewässertyps 15g (Großer sand- und lehmgeprägter Fluss des Tieflands) verwendeten Metriks und der Saprobienindex des PERLODES Verfahrens, die vorrangig morphologische Degradation und organische Belastung anzeigen sollen, reagieren signifikant auf erhöhte Wassertemperaturen. Die Bewertung von hydromorphologischer Degradation und der organischen Belastung ist bei gleichzeitig bestehender thermischer Veränderung also nicht gesichert. Durch Anwendung des Metriks „Häufigkeiten wärmeliebender Neozoen“ können thermisch veränderte Probestellen identifiziert werden und die Ergebnisse nach PERLODES und nach dem Saprobienindex als nicht gesichert bewertet werden.

## 1 Inhalt

2	Einleitung.....	3
2.1	Vorstellung der Untersuchungsgewässer.....	4
2.2	Potenzielle Ausbreitungswege für Neozoen im Untersuchungsgebiet.....	5
3	Methoden.....	5
3.1	Kontrollstationen.....	5
3.2	Probennahme.....	6
3.3	Umweltparameter.....	7
3.4	Redundanzanalyse (RDA).....	10
3.5	Metrik „Häufigkeiten wärmeliebender Neozoen“.....	10
3.6	Ableitung von Grenzwerten für den Metrik „Häufigkeiten wärmeliebender Neozoen“.....	11
3.7	Einfluss der Wassertemperatur auf das deutsche Bewertungssystem PERLODES.....	11
4	Untersuchungsgebiet.....	12
5	Ergebnisse.....	12
5.1	Temperaturvergleich Lippe, Ems und Ruhr.....	12
5.2	RDA.....	13
5.3	Temperaturabhängigkeit wärmeliebender Neozoen.....	15
5.4	Ableitung eines Grenzwertes.....	16
5.5	Einfluss der Wassertemperatur auf die Core Metriks.....	16
6	Diskussion.....	17
6.1	RDA.....	17
6.2	Temperaturabhängigkeit wärmeliebender Neozoen.....	17
6.3	Temperatur und Leitfähigkeit.....	18
6.4	Einfluss zunehmender Wassertemperaturen auf die Fließgewässerbewertung.....	19
6.5	Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel.....	20
7	Zusammenfassung.....	21
8	Danksagung.....	22
9	Literatur.....	22

## 2 Einleitung

Der Klimawandel wird dazu führen, dass in Deutschland die Sommer wärmer und die Winter milder werden (Deutscher Wetterdienst 2011). Da die Wassertemperaturen mit den Lufttemperaturen korrelieren, werden die Temperaturen in den Fließgewässern ebenfalls steigen (vgl. Ormerod 2009, Greis et al. 2011). Eine erhöhte Wassertemperatur durch den Klimawandel wird sich direkt auf die Lebensgemeinschaft auswirken, da die meisten Organismen nur geringe Schwankungen der Wassertemperatur vertragen. Bei steigender Wassertemperatur sinkt z. B. die Löslichkeit von Sauerstoff, gleichzeitig steigt aber die Stoffwechselrate der Organismen. Mobile und kälteliebende Arten mit hohen Sauerstoffansprüchen werden aus dem Lebensraum verschwinden (Lorenz & Graf 2008, Ormerod 2009). Erhöhte Wassertemperaturen führen auch dazu, dass Arten aus weiter unterhalb liegenden wärmeren Fließgewässerabschnitten in ehemals kalte Abschnitte einwandern und die frei gewordenen Nischen besetzen können (Daufresne et al. 2004).

Vor dem Hintergrund einer Temperaturzunahme in Fließgewässern durch die prognostizierte Klimaerwärmung erhalten besonders eingewanderte oder eingeschleppte Arten aus wärmeren Klimazonen einen Konkurrenzvorteil gegenüber der einheimischen Fauna und Flora. Dies kann für die Fließgewässerfauna bereits heute anhand der starken Ausbreitung von „neuen Arten“ – den sogenannten Neozoen – beobachtet werden.

Als Neozoen definiert man Tiere, die seit 1492 durch menschliche Aktivitäten entweder vorsätzlich oder unbeabsichtigt in neue Gebiete eingewandert sind und dort überwinterungsfähige Populationen bilden. Viele der aquatischen Neozoen unter den Arten des Makrozoobenthos in den westdeutschen Fließgewässern stammen aus dem Ponto-Kaspischen Raum (Schwarzmeerbereich), dem mediterranen Raum (Mittelmeer), Süd-Asien und Nord-Amerika. Besonders Arten aus klimaähnlichen Regionen der warmgemäßigten Zone (Lufttemperaturen in den wärmsten Monaten > 20 °C, aber im Jahresmittel Lufttemperaturen < 20 °C) können sich hier etablieren (Eggers und Martens 2009). Bei genauer Betrachtung erkennt man, dass das Klima in den Heimatregionen vieler Neozoen im Vergleich zu Deutschland wärmer ist (Mittelmeer, Süd-Asien) oder es ist geprägt von wärmeren Sommern und kälteren Wintern (Schwarzmeer Bereich). Entsprechend werden die meisten Neozoen aus diesem Raum als eurytherm, thermophil oder warmstenök in Bezug auf ihre Temperaturpräferenz bezeichnet (Tachet et al. 2000, Tittizer 2001).

Wichtige Ausbreitungswege dieser Neozoen sind die Schifffahrtskanäle (Eggers und Martens 2009, Leuven et al. 2009); im Besonderen der Schifffahrtsverkehr aus dem Donaumündungsgebiet am Schwarzmeer. Die Neozoen besiedeln entweder direkt den Schiffsrumpfs (Schnecken und Muscheln) oder werden mit dem Ballastwasser der Schiffe transportiert (Krebstiere). Hauptausbreitungswege für das westliche Deutschland sind der 1993 eröffnete Rhein-Main Donau Kanal bzw. der Rhein und andere Bundeswasserstraßen bzw. Schifffahrtskanäle. Sind sie erst einmal in den neuen Regionen angekommen, können Sie sich über aktives Wandern oder durch andere Tiere, z.B. durch Vögel, weiter ausbreiten. Ein wichtiger Grund für die guten Ausbreitungsmöglichkeiten von Neozoen ist die Degradation der heimischen Fließgewässer. Dazu zählen u.a. die Verschlechterung der Strukturgüte, Abflussregelungen, die organische Belastung, die Salzbelastung und die thermische Belastung. Diese Belastungen führen dazu, dass die heimischen Arten ihren Lebensraum verlieren, der dann von den häufig „toleranteren“ Neozoen besetzt werden kann (Tittizer, 2001, Leuven et al. 2009). Zusätzlich sind viele Neozoen-Taxa konkurrenzstärker als die heimischen Arten und können diese aktiv verdrängen; der Flohkrebs *Dikerogammarus villosus* ist z.B. ein Räuber, der sich von anderen Flohkrebsen ernährt und dessen räuberische Aktivität maßgeblich von der Wassertemperatur bestimmt wird (Grabowski et al. 2007).

Der Klimawandel führt also zu einer veränderten Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften. Dies wird auch Folgen für die Bewertung der Fließgewässer haben, besonders wenn wärmeempfindliche (kaltstenotherme) und sauerstoffanspruchsvolle Arten als bislang im Referenzzustand „gewässertypische Arten“ und für eine positive Gewässerbewertung wichtige Indikatoren aus dem System verschwinden und z.B. durch wärmeliebende (thermophile, eurytherme und warmstenöke) Neozoen

ersetzt werden. Damit kann das Vordringen der Neozoen eine große wasserwirtschaftliche Bedeutung haben: Ein Ersatz von gewässertypischen Arten durch Neozoen kann zu einem schlechteren Bewertungsergebnis in einem Wasserkörper führen ohne dass sich auf der Immissionsseite oder im Ausbauzustand des betreffenden Gewässers etwas geändert hätte (Döppner et al. 2011).

In der folgenden Untersuchung wurden drei große Flüsse von Nordrhein-Westfalen miteinander verglichen; die Lippe und die Ems als Große sand- und lehmgeprägte Tieflandflüsse (Typ 15g) und die Ruhr als großer Fluss des Mittelgebirges (Typ 9.2.). Die Lippe ist im Vergleich zur Ems und zur Ruhr durch die Einleitung von Kühlwasser aus Kraftwerken thermisch verändert und könnte somit zukünftige Klimaszenarien in den großen Flüssen widerspiegeln. Als erstes wurden die Temperaturhaushalte der Lippe, der Ems und der Ruhr miteinander verglichen. Anschließend wurde untersucht, welchen Einfluss die Temperatur im Vergleich zu anderen Umweltparametern an der Zusammensetzung der MZB- Lebensgemeinschaften in den drei Flüssen hat. Ausgewählte eurytherme, thermophile und warmstenöke Neozoen (Tachet et al. 2000, Tittizer 2001) sowie Neozoen aus dem Schwarzmeer Raum wurden zu der biologischen Messgröße (Metrik) „Häufigkeiten wärmeliebender Neozoen“ zusammengeführt. Dann wurde untersucht, ob die Häufigkeiten dieser wärmeliebenden Neozoen in der Lippe, der Ems und der Ruhr abhängig sind von der Wassertemperatur an der Probestelle. Es wurden Grenzwerte für die Häufigkeiten der wärmeliebenden Neozoen abgeleitet, um die thermische Belastung einer Probestelle zu beschreiben. Abschließend wurde getestet, ob die aktuell genutzten biologischen Messgrößen (Metriks) zur Bewertung von großen sand- und lehmgeprägten Flüssen sensibel auf Temperaturerhöhungen reagieren.

### 2.1 Vorstellung der Untersuchungsgewässer

#### Lippe

Die Lippe entspringt in einer Höhe von 138 m ü NN bei Bad Lippspringe am Fuße des Teutoburger Waldes und des Eggegebirges. Sie fließt in ost-westlicher Richtung und mündet nach 220 km bei Wesel in den Rhein. Das Einzugsgebiet beträgt 4.882 km<sup>2</sup>. Es wird im Norden von den Einzugsgebieten der Issel und der Ems und im Süden von den Einzugsgebieten der Emscher und der Ruhr begrenzt. Im Untersuchungsgebiet fließt der große Tieflandfluss (LAWA-Gewässertyp 15g; Pottgiesser & Sommerhäuser 2008) durch die naturräumliche Einheit Westfälische Bucht. Die Gewässersohle des Flusses ist im natürlichen Zustand geprägt von sandigen und lehmigen Substraten, wobei besonders Kies als zusätzlicher Substrattyp vorhanden sein kann. Weitere wichtige Habitatstrukturen sind Totholz, Erlenwurzeln, Wasserpflanzen und Falllaub. Am Nordrand des rheinisch-westfälischen Industriegebiets gelegen, ist besonders die mittlere und untere Lippe ein vielfältig genutztes Gewässer. Neben dem biologisch gereinigten Abwasser von 1,5 Millionen Einwohnern werden auch Kühlwasser von Kraftwerken sowie das im Steinkohlenbergbau anfallende salzhaltige Grubenwasser eingeleitet. Im Lippeinzugsgebiet wird aus dem Grundwasservorkommen der Halterner Sande Trinkwasser gewonnen. Auch zu Freizeit Zwecken wird die Lippe auf verschiedene Weise genutzt. Der überwiegende Teil des Einzugsgebietes und der Lauflänge des Flusses wird vom Lippeverband bewirtschaftet, der hier u. a. 54 Kläranlagen und 111 Niederschlagswasserbehandlungsanlagen betreibt.

#### Ems

Die Quelle der Ems befindet sich in der Senne bei Schloß Holte-Stukenbrock auf einer Höhe von 134 m ü NN am Westhang des Teutoburger Waldes. Bis Rheine fließt sie in nord-östlicher Richtung, schwenkt dann Richtung Norden und mündet bei Emden nach einer Fließstrecke von 371 km in die Nordsee. Das 13.160 km<sup>2</sup> große Einzugsgebiet liegt in der Norddeutschen Tiefebene und wird im Osten vom Einzugsgebiet der Weser, im Westen von dem der Issel und im Süden vom Lippeinzugsgebiet begrenzt. Im Untersuchungsgebiet ist die Ems ein großer sand- und lehmgepräg-

ter Tieflandfluss (Typ 15g). Im natürlichen Zustand sind als besondere Habitatstrukturen Totholz, Erlenwurzeln, Wasserpflanzen und Falllaub vorhanden. Das Einzugsgebiet ist weitestgehend von intensiver Landwirtschaft geprägt, was zur Folge hat, dass die Ems stark mit Nährstoffen, besonders in Form von Stickstoffverbindungen, belastet wird. Der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz bewirtschaftet die Ems und deren Nebengewässer. Er reinigt die Abwässer von über 3 Millionen Einwohnern im Einzugsgebiet durch 224 Kläranlagen.

### Ruhr

Die Quelle der Ruhr liegt im Rothaargebirge bei Winterberg in einer Höhe von 674 m ü NN. Nachdem die Ruhr die ersten 20 km in nördliche Richtung fließt, schwenkt sie bei Olsberg in westliche Richtung ab und mündet nach einer Fließstrecke von insgesamt 219 km bei Duisburg in den Rhein. Das 4.485 km<sup>2</sup> große Einzugsgebiet, das überwiegend in der naturräumlichen Einheit des Sauer- und Siegerlands liegt, wird im Norden von den Einzugsgebieten der Lippe und der Emscher und im Süden von denen der Sieg, Eder und Wupper begrenzt. Im Untersuchungsgebiet ist die Ruhr ein großer Fluss des Mittelgebirges (Typ 9.2), dessen Gewässersohle überwiegend von Schottern, teilweise auch Kiesen geprägt ist. Im Referenzzustand sind Schotter- und Kiesbänke und in strömungsarmen Bereichen Sande vorhanden. Die Ruhr wird vor allem als Trinkwasserlieferant für 4,6 Millionen Menschen sowie zur Aufnahme von gereinigtem Abwasser und zur Energiegewinnung genutzt. Die Hauptaufgaben der acht Talsperren sind die Niedrigwasseraufhöhung der Ruhr und der Hochwasserschutz. Zudem dienen die meisten Talsperren als Rohwasserreservoir zur Trinkwasseraufbereitung und einige, wie auch die fünf Ruhrstauseen, einer vielfachen Freizeitnutzung. Die Ruhr und ihr gesamtes Einzugsgebiet werden vom Ruhrverband bewirtschaftet, der 71 Kläranlagen und 549 Niederschlagswasserbehandlungsanlagen betreibt.

## 2.2 Potenzielle Ausbreitungswege für Neozoen im Untersuchungsgebiet

Als potentielle Ausbreitungsquellen, über die Neozoen in die untersuchten Gewässer einwandern können, gelten Anschlüsse des Gewässers an einen Schifffahrtskanal und/oder der Anschluss des Gewässers an den Rhein (Eggers und Martens 2009, Leuven et al. 2009, Sommerhäuser et al. 2009)

### Lippe

Die Lippe mündet bei Wesel in den Rhein. In Hamm-Uentrop, Datteln und Olfen (Entlastung des Kanals) hat sie direkten Anschluss an den Datteln-Hamm- bzw. Wesel-Datteln-Kanal. Die Kraftwerke an der Lippe nutzen Kanalwasser zur Kühlung, welches anschließend in die Lippe geleitet wird.

### Ems

Die Ems ist von ihrer Mündung in Emden die ersten 206 km flussaufwärts eine Bundeswasserstraße. Der Dortmund-Ems-Kanal hat in Gleesen / Hanekenfähr direkten Anschluss an die Ems und bei Fuestrop (nördlich von Münster) entlastet der Schifffahrtskanal direkt in die Ems. In Bramsche hat die Ems Anschluss an den Mittellandkanal.

### Ruhr

Die Ruhr mündet bei Duisburg in den Rhein.

## 3 Methoden

### 3.1 Kontrollstationen

Zum Vergleich der Temperaturhaushalte der drei Flüsse wurden die Messungen von Kontrollstationen an der Lippe (acht Stationen), der Ems (eine Station) und der Ruhr (zehn Stationen) herangezogen, die im Minuten- bis Viertelstundentakt die Wassertemperatur messen. Diese Werte wurden zu Tagesmittelwerten und dann zu Monatsmittelwerten zusammengefasst. Aus den so ermittelten Mittelwerten für eine Station wurde dann der monatliche Mittelwert über alle Stationen für einen Fluss berechnet.

### 3.2 Probennahme

Insgesamt wurden die Daten von 31 Probestellen, die in den Jahren 2007 und 2008 zwischen Mai und September im Rahmen des Operativen Monitorings erhoben wurden, ausgewertet (Ausnahmen: Probestellen (PS)- Nr. 20 wurde 2005, PS- Nr. 19 2006 und die PS- Nr. 91 2009 besammelt). Die Probennahme und die weitere Bearbeitung der Proben wurden von den Wasserverbänden Lippeverband (für die Lippe), Ruhrverband (Ruhr) in Kooperation mit dem Landesamt für Umwelt, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (LANUV) und für die Ems vom Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz durchgeführt.

Die Besammlung erfolgte standardisiert nach dem deutschen Bewertungssystem PERLODES (Meier et al. 2006a). Dabei wurden die verschiedenen Substrattypen im Untersuchungsabschnitt entsprechend ihrer Häufigkeit an der Gewässersohle beprobt (Multi-Habitat Besammlung, MHS). Für die Lippe wurden insgesamt 16 Probestellen, die Ems sechs und die Ruhr neun Probestellen betrachtet (siehe Tabelle 1).

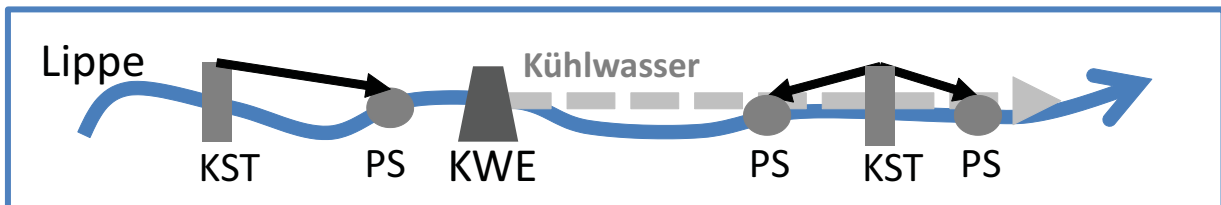
**Tabelle 1: Untersuchte Probestellen an Lippe, Ems und Ruhr. PS-Nr. = Probestellennummer, FG-typ = Fließgewässertyp.**

PS-Nr.	Gewässer	FG-typ	Rechtswert	Hochwert	Beprobungsdatum
12	Lippe	15g	3414840	5727920	14.05.2008
13	Lippe	15g	3398390	5720620	14.05.2008
14	Lippe	15g	3409221	5726384	30.06.2008
16	Lippe	15g	3425029	5730464	14.05.2008
17	Lippe	15g	3397040	5721330	14.05.2008
18	Lippe	15g	2597753	5726344	08.07.2008
19	Lippe	15g	3446890	5725620	19.09.2005
20	Lippe	15g	3431910	5726075	02.08.2006
80	Lippe	15g	2585120	5732980	15.05.2008
81	Lippe	15g	2582010	5733598	24.09.2007
82	Lippe	15g	3419930	5729500	25.06.2008
83	Lippe	15g	2573780	5729094	02.07.2008
84	Lippe	15g	2570690	5726637	15.05.2008
85	Lippe	15g	2567098	5726311	01.07.2008
86	Lippe	15g	2561546	5726380	24.10.2007
91	Lippe	15g	2543750	5723500	05.08.2009
22	Ems	15g	2599363	5793776	07.08.2007
23	Ems	15g	3400449	5784351	03.06.2008
25	Ems	15g	3404934	5780403	03.06.2008
26	Ems	15g	3424102	5760405	25.06.2008
28	Ems	15g	2597003	5798111	02.08.2007
29	Ems	15g	3413544	5765261	25.06.2008
163	Ruhr	9.2	2554860	5702040	18.07.2008
164	Ruhr	9.2	2568362	5694156	21.08.2008
165	Ruhr	9.2	2575238	5696507	21.08.2008
166	Ruhr	9.2	2579829	5699035	15.07.2008
167	Ruhr	9.2	2584001	5698795	15.07.2008
168	Ruhr	9.2	2596342	5695334	10.07.2008
169	Ruhr	9.2	3396657	5698670	10.07.2008
170	Ruhr	9.2	3426980	5704310	26.07.2007
171	Ruhr	9.2	3427370	5702920	15.05.2008



### 3.3 Umweltparameter

Für jede Probestelle wurden insgesamt 22 Umweltparameter erhoben oder berechnet. Diese Parameter umfassen hydromorphologische Beschreibungen, Erfassung der Strukturgröße (LUA 2001) und chemisch-physikalische Parameter. Weitere Parameter, die für die Verbreitung von Neozoen wichtig sind, wurden mithilfe des GIS-Werkzeuges für Abwasser, Oberflächengewässer und Gewässergüte in NRW (ELWAS-IMS, Version 2.1.5) des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MKULNV) ermittelt (siehe Tabelle 2). Mit einer Spearman Rank Korrelation wurden Parameter berechnet, die stark miteinander korrelieren (Grenzwert Spearman  $R > 0,7$ ); also voneinander abhängen und bezogen auf eine Probestelle die gleiche Aussage machen. So steigen z.B. mit zunehmender Jahresmitteltemperatur auch gleichzeitig die Temperatursummen an den Probestellen für die Monate Juni bis August. In so einem Fall wurde der Parameter mit dem längsten Gradienten (ermittelt durch Box & Whisker Plots) weiter verwendet, der jeweils andere von der Untersuchung ausgeschlossen. Zudem wurde berücksichtigt, mit wie vielen weiteren Parametern eine Korrelation besteht. 13 Umweltparameter wurden auf diese Weise für die weitere Untersuchung ermittelt (siehe Tabelle 2). Den Probestellen an Lippe und Ruhr wurden die gemessenen Jahresmitteltemperaturen der Kontrollstationen zugeordnet. Den Probestellen ließen sich somit sehr genau die thermischen Einflüsse von Kühlwassereinleitungen aus Kraftwerken oder Stauseen zuordnen (siehe Abbildung 1).



**Abbildung 1: Beispiel Zuordnung der Temperaturwerte der Kontrollstationen (KST) zu den Probestellen (PS).**  
 Die schwarzen Pfeile zeigen die zugeordneten Temperaturwerte der KST zu den PS. Minimale Entfernung KST zu PS = 30 m, maximale Entfernung = 19 km, Median = 4 km, Mittelwert = 6,19 km. KWE = Kraftwerk. Spearman Rank Korrelationskoeffizient ( $r$ ) zwischen den „regelmäßig“ im Jahresverlauf gemessenen Temperaturwerten direkt an der PS und den zugeordneten Werten der KST  $r = 0,91$  ( $p < 0,0001$ ).

**Tabelle 2: Untersuchte Umweltparameter an einer Probestelle. PS = Probestelle, GÜS = Güteüberwachungssystem. LANUV = Landesamt für Natur, Umweltschutz und Verbraucherschutz des Landes NRW.**

Parameterklasse	Umweltparameter	Erklärung	Abkürzung	Transformationsinformation
Allgemeine Kennzeichen	Größe Einzugsgebiet	Größe des Einzugsgebietes an der PS	EZG	log 10
	Entfernung Quelle	Entfernung der PS von der Quelle	Entf_Quelle	log 10
	Fließgewässertyp	nach Pottgießer & Sommerhäuser(2008)	FG-Typ	Quadratwurzel
Struktur	Strukturgüteklasse	Strukturgüteklasse nach LUA-Kartierung NRW	Struktur	Quadratwurzel
	Sand/Schlamm	Relativer Anteil Schlamm, Sand oder Sand-Schlammgemisch an der PS	Sa/Schl	Quadratwurzel
	Technolithal	Steinschüttung	Techno	Quadratwurzel
Neozoen Ausbreitungsparameter	km Entfernung von einer Ausbreitungsquelle	Entfernung der PS von einer Neozoenausbreitungsquelle, d.h. vom Rhein, einer Kanaleinseisung oder -kreuzung	Entf Ausbr quelle	Quadratwurzel
	Anzahl Querbauwerke	Anzahl von Wanderhindernissen unterhalb der PS (Wehre, Staueisen) bezogen auf eine Ausbreitungsquelle	Anz Querbauw	Quadratwurzel
	Anschluss Rhein	Anschluss PS an den Rhein (Ja/Nein)	Rhein	Quadratwurzel
	Dattel-Hamm-Kanal	Anschluss PS an den Dattel-Hamm-Kanal (Ja/Nein)	D-H-K	Quadratwurzel
	Kanalanschluss	Anschluss PS an einen Kanal (Ja/Nein)	Anschl Kanal	Quadratwurzel
Chemisch-physikalisch	Temperatur PS	Jahresmittelwert der Temperatur an der PS	Temp PS	log 10
	Temperatursummen (Juni-August)	Summe aus den mittleren Monatstemperaturen in den Monaten Juni bis August	Temp Su	log 10
	Temperatur Fluss	Jahresmittelwert der Temperatur des FG, in dem die PS liegt.	Temp Fluss	log 10
	pH-Wert	Jahresmittelwert des pH-Werts basierend auf dem GÜS des LANUV Monitoring	pH	log 10
	Leitfähigkeit	Jahresmittelwert der Leitfähigkeit basierend auf dem GÜS des LANUV Monitoring	Leitf	log 10
	Nitrat	Jahresmittelwert von Nitrat basierend auf dem GÜS des LANUV Monitoring	NO3	log 10
	Ammonium	Jahresmittelwert von Ammonium basierend auf dem GÜS des LANUV Monitoring	NH4	log 10
	Gesamt-Phosphatgehalt	Jahresmittelwert des Gesamt-Phosphats basierend auf dem GÜS des LANUV Monitoring	Phosph-Ges	log 10
	Sauerstoffsättigung	Jahresmittelwert der Sauerstoffsättigung basierend auf dem GÜS des LANUV Monitoring	O2	log 10
	Biologischer Sauerstoffbedarf	Jahresmittelwert des Biologischen Sauerstoffbedarfs in 5 Tagen basierend auf dem GÜS des LANUV Monitoring	BSB5	log 10
	Gesamter organischer Kohlenstoff	Jahresmittelwert des gesamten organischen Kohlenstoffs basierend auf dem GÜS des LANUV Monitoring	TOC	log 10

AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DIE LEBENSMEINSCHAFTEN IN GROßEN FLÜßEN

Tabelle 3: Spearman Rank Korrelationskoeffizienten (r). Kursiv =  $r > 0,7$  und  $p < 0,05$ , fett = Umweltparameter, die für die weitere Untersuchung berücksichtigt wurden. Abkürzungen siehe Tabelle 2.

	EZG	Entf_Q uelle	FG-typ	Struktur	Sa/Schl	Techno	Entf Ausbr quelle	Anz Querbauw	Rhein	D-H-K	Anschl Kanal	Temp PS	Temp Su	Temp Fluss	pH	Leitf	NO3	NH4	Phosph- Ges	O2	BSB5	TOC
<b>EZG</b>	1,00	<i>0,96</i>	0,36	-0,08	-0,16	0,09	0,01	-0,64	0,02	0,34	0,36	0,40	0,13	0,32	0,09	0,52	0,63	0,42	0,28	-0,46	0,16	0,43
Entf Quelle	<i>0,96</i>	1,00	0,37	-0,13	-0,06	0,04	0,11	-0,71	-0,14	0,29	0,43	0,34	0,04	0,27	0,15	0,55	0,64	0,50	0,27	-0,51	0,21	0,53
FG-typ	0,36	0,37	1,00	-0,06	0,54	-0,69	-0,32	-0,49	-0,31	0,66	1,00	0,26	0,12	0,28	0,75	0,79	0,79	0,79	-0,11	-0,33	0,76	0,79
<b>Struktur</b>	-0,08	-0,13	-0,06	1,00	-0,06	-0,04	-0,27	-0,15	-0,03	-0,08	-0,06	0,13	0,26	0,19	-0,10	-0,02	-0,19	-0,04	0,25	0,12	0,15	0,04
Sa/Schl	-0,16	-0,06	0,54	-0,06	1,00	-0,74	-0,13	-0,07	-0,71	-0,07	0,54	-0,34	-0,28	-0,36	0,43	0,03	0,08	0,49	0,10	0,21	0,40	0,59
<b>Techno</b>	0,09	0,04	-0,69	-0,04	-0,74	1,00	0,44	0,03	0,48	-0,26	-0,70	0,08	0,02	0,12	-0,76	-0,28	-0,37	-0,15	-0,17	-0,17	-0,47	-0,53
Entf Ausbr quelle	0,01	0,11	-0,32	-0,27	-0,13	0,44	1,00	0,19	-0,27	-0,52	-0,32	-0,40	-0,51	-0,35	-0,34	-0,42	-0,25	-0,05	0,23	-0,26	-0,21	-0,05
<b>Anz Querbauw</b>	-0,64	-0,71	-0,49	-0,15	-0,07	0,03	0,19	1,00	0,20	-0,30	-0,50	-0,29	-0,06	-0,28	-0,05	-0,65	-0,58	-0,53	-0,24	0,58	-0,30	-0,54
<b>Rhein</b>	0,02	-0,14	-0,31	-0,03	-0,71	0,48	-0,27	0,20	1,00	0,51	-0,31	0,54	0,62	0,63	-0,16	0,17	0,11	-0,34	-0,24	0,06	-0,20	-0,59
D-H-K	0,34	0,29	0,66	-0,08	-0,07	-0,26	-0,52	-0,30	0,51	1,00	0,66	0,67	0,61	0,75	0,56	0,85	0,80	0,45	-0,29	-0,25	0,53	0,25
Anschl Kanal	0,36	0,43	1,00	-0,06	0,54	-0,70	-0,32	-0,50	-0,31	0,66	1,00	0,26	0,12	0,28	0,75	0,79	0,79	0,79	-0,11	-0,33	0,76	0,79
<b>Temp PS</b>	0,40	0,34	0,26	0,13	-0,34	0,08	-0,40	-0,29	0,54	0,67	0,26	1,00	0,85	0,83	0,08	0,53	0,51	0,22	-0,12	-0,13	0,15	0,11
Temp Su	0,13	0,04	0,12	0,26	-0,28	0,02	-0,51	-0,06	0,62	0,61	0,12	0,85	1,00	0,83	0,08	0,42	0,30	0,10	0,06	0,03	0,20	-0,10
Temp Fluss	0,32	0,27	0,28	0,19	-0,36	0,12	-0,35	-0,28	0,63	0,75	0,28	0,83	0,83	1,00	0,18	0,64	0,50	0,27	-0,04	-0,19	0,26	-0,01
<b>pH</b>	0,09	0,15	0,75	-0,10	0,43	-0,76	-0,34	-0,05	-0,16	0,56	0,75	0,08	0,08	0,18	1,00	0,55	0,46	0,41	-0,30	-0,10	0,56	0,42
<b>Leitf</b>	0,52	0,55	0,79	-0,02	0,03	-0,28	-0,42	-0,65	0,17	0,85	0,79	0,53	0,42	0,64	0,55	1,00	0,84	0,66	-0,12	-0,47	0,64	0,47
NO3	0,63	0,64	0,79	-0,19	0,08	-0,26	-0,25	-0,58	0,11	0,80	0,79	0,51	0,30	0,50	0,46	0,84	1,00	0,64	-0,11	-0,51	0,56	0,60
<b>NH4</b>	0,42	0,50	0,79	-0,04	0,49	-0,37	-0,05	-0,53	-0,34	0,45	0,79	0,22	0,10	0,27	0,41	0,66	0,64	1,00	0,26	-0,37	0,78	0,70
<b>Phosph-Ges</b>	0,28	0,27	-0,11	0,25	0,10	0,15	0,23	-0,24	-0,24	-0,29	-0,11	-0,12	0,06	-0,04	-0,30	-0,12	-0,11	0,26	1,00	-0,11	0,07	0,17
<b>O2</b>	-0,46	-0,51	-0,33	0,12	0,21	-0,17	-0,26	0,58	0,06	-0,25	-0,33	-0,13	0,03	-0,19	-0,10	-0,47	-0,51	-0,37	-0,11	1,00	-0,24	-0,23
BSB5	0,16	0,21	0,76	0,15	0,40	-0,47	-0,21	-0,30	-0,20	0,53	0,76	0,15	0,20	0,26	0,56	0,64	0,56	0,78	0,07	-0,24	1,00	0,59
<b>TOC</b>	0,43	0,53	0,79	0,04	0,59	-0,53	-0,05	-0,54	-0,59	0,25	0,79	0,11	-0,10	-0,01	0,42	0,47	0,60	0,70	0,17	-0,23	0,59	1,00

### 3.4 Redundanzanalyse (RDA)

Es wurde untersucht, welche der 13 ausgewählten Umweltparameter die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft an einer Probestelle am besten erklären und wie hoch der Erklärungsanteil dieser Parameter an der Gesamtvariabilität im Datensatz ist. Zuerst wurden die Taxalisten der Probestellen mit einer kanonischen Korrespondenzanalyse (DCA) untersucht. Die so ermittelte Gradientenlänge, welche den Artenwechsel zwischen den Probestellen zeigt, betrug 2,65. Es wurde von einem linearen Verhalten der Arten entlang der Umweltgradienten ausgegangen. Deshalb wurde als weiterführende Ordinationsmethode die Redundanzanalyse (RDA) durchgeführt. Um zu untersuchen, welche Umweltparameter signifikant die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft an einer Probestelle erklären, wurden die Umweltparameter mit dem Artenwechsel zwischen den Probestellen korreliert, in dem das Null-Modell (stepwise forward selection) und als Signifikanztest der Monte Carlo Permutationstest angewendet wurden. Zusätzlich wurde eine partielle RDA (pRDA) durchgeführt, um den relativen Erklärungsanteil jedes Umweltparameters an der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft zu berechnen. Die anderen Parameter sind bei dieser Untersuchung als Covariablen berücksichtigt worden. Die Umweltparameter wurden für die DCA-, die RDA- und pRDA-Untersuchungen transformiert (siehe Tabelle 2). Die Untersuchungen wurden mit dem Programm Canoco for Windows 4.5 (ter Braak & Smilauer 2003) in den jeweiligen Standardeinstellungen durchgeführt.

### 3.5 Metrik „Häufigkeiten wärmeliebender Neozoen“

Ausgewählte Neozoen-Taxa, die im Untersuchungszeitraum in der Lippe, der Ems und der Ruhr gefunden wurden und in der Literatur (Tachet et al. 2000 und Tittizer 2001) als eurytherm, thermophil oder warmstenök eingeteilt wurden, sind zu „wärmeliebenden Neozoen“ zusammengefasst worden. Zusätzlich wurden Neozoen, die aus dem Schwarzmeer Raum kommen und über die es aktuell keine Angaben zur Temperaturpräferenz gibt, zu den „wärmeliebenden Neozoen“ gezählt (siehe Tabelle 4).

**Tabelle 4: Eingestufte „wärmeliebende Neozoen“ Taxa nach Herkunft (Schwarzmeer Raum) und Literaturangaben (Tachet et al. 2000 und Tittizer 2001).**

Gattung	Art	Deutscher Name	Herkunft
<i>Atyaephyra</i>	<i>desmaresti</i>	Süßwassergarnele	Mittelmeer
<i>Branchiura</i>	<i>sowerbyi</i>	Kiemenwurm	Südasien
<i>Corbicula</i>	<i>fluminea/fluminalis</i>	Gerippte Körbchenmuschel	Asien
<i>Corophium</i>	<i>curvispinum</i>	Schlickkrebs	Schwarzmeer Raum
<i>Crangonyx</i>	<i>pseudogracilis</i>	Flohkrebs	Nordamerika
<i>Dikerogammarus</i>	sp.	Höckerflohkrebs	Schwarzmeer Raum
<i>Dreissena</i>	<i>polymorpha</i>	Wandermuschel	Schwarzmeer Raum
<i>Dugesia</i>	<i>tigrina</i>	Gefleckter Strudelwurm	Nordamerika
<i>Gammarus</i>	<i>tigrinus</i>	Getigelter Flohkrebs	Nordamerika
<i>Hypania</i>	<i>invalida</i>	Süßwasser-Borstenwurm	Schwarzmeer Raum
<i>Jaera</i>	<i>istri</i>	Donau-Assel	Schwarzmeer Raum
<i>Limnomysis</i>	<i>benedeni</i>	Donau-Schwebgarnele	Schwarzmeer Raum
<i>Orchestia</i>	<i>cavimana</i>	Süßwasser-Strandflohkrebs	Schwarzmeer Raum
<i>Orconectes</i>	<i>limosus</i>	Amerikanischer Flusskrebs	Nordamerika
<i>Proasellus</i>	<i>coxalis</i>	Assel	Mittelmeer

Für jede Probestelle wurde die Individuenanzahl jedes Vertreters der „wärmeliebenden Neozoen“ in eine Häufigkeitsklasse überführt (siehe Tabelle 5).

**Tabelle 5: Abundanzskala. Überführung Individuenanzahl in Häufigkeitsklassen (HK) nach Meier et al. (2006a).**

Individuenanzahl	HK
1 – 2	1
3 - 10	2
11 - 30	3
31 - 100	4
101 – 300	5
301 – 1000	6
> 1000	7

Dann wurde für jede Probestelle eine neue biologische Messgröße (Metrik) berechnet. Der Metrik „Häufigkeiten wärmeliebender Neozoen“ ergibt sich aus der Summe der Häufigkeitsklassen aller „wärmeliebenden Neozoen“ an einer Probestelle. Mittels Spearman Rank Korrelation wurde untersucht, wie stark der Zusammenhang zwischen den Metrikwerten „Häufigkeiten wärmeliebender Neozoen“ und a) der Wassertemperatur und b) den anderen Umweltparametern an einer Probestelle ist.

### 3.6 Ableitung von Grenzwerten für den Metrik „Häufigkeiten wärmeliebender Neozoen“

Um die thermische Belastung eines Untersuchungsabschnitts durch den Metrik „Häufigkeiten wärmeliebender Neozoen“ genauer beschreiben zu können, wurde die Spannweite der Metrikwerte in den thermisch veränderten Probestellen der Lippe (Jahresmitteltemperatur > 14°C) der Spannweite der Metrikwerte in den thermisch nicht oder nur gering veränderten Probestellen mittels Box & Whisker Plots gegenübergestellt. Der Bereich, in dem sich die Metrikwerte von thermisch veränderten und nicht veränderten Stellen überlappen, wurde als indifferent bezeichnet. Diese Metrikwerte können sowohl in einer thermisch veränderten als auch einer nicht-thermisch veränderten Probestelle ermittelt werden. Als Grenzwert für thermische Veränderung wurde der nächst höhere Metrikwert außerhalb des Überlappungsbereichs definiert; als unterer Grenzwert für nicht thermisch veränderte Gewässer, der nächst niedrigere Wert außerhalb des Überlappungsbereichs.

### 3.7 Einfluss der Wassertemperatur auf das deutsche Bewertungssystem PERLODES

Die deutsche Fließgewässerbewertungsmethode PERLODES Methode (Meier et al. 2006a) wendet im Modul „allgemeine Degradation“ biologische Messgrößen (Core Metriks) an, welche die Auswirkungen verschiedener Stressoren auf die Fließgewässer widerspiegeln, diese sind vor allem die Degradation der Gewässermorphologie und die Nutzung im Einzugsgebiet, aber auch Pestizide, hormonäquivalente Stoffe, und weitere Einflussgrößen. Es wurde untersucht, ob die Werte der Core Metriks, die für die Bewertung der Lippe und der Ems genutzt werden (beide Typ 15g), von der Temperatur abhängen. Der Zusammenhang wurde mittels Spearman Rank Korrelation untersucht, wobei die standardisierten Core- Metrikwerte (0-1) einer Probestelle mit der Jahresmitteltemperatur an der Probestelle korreliert wurden.

## 4 Untersuchungsgebiet

Die Probestellen der Lippe, der Ems und der Ruhr haben alle ein Einzugsgebiet größer 1000 km<sup>2</sup> (großer Fluss) und befinden sich in Nordrhein-Westfalen (siehe Abbildung 2).

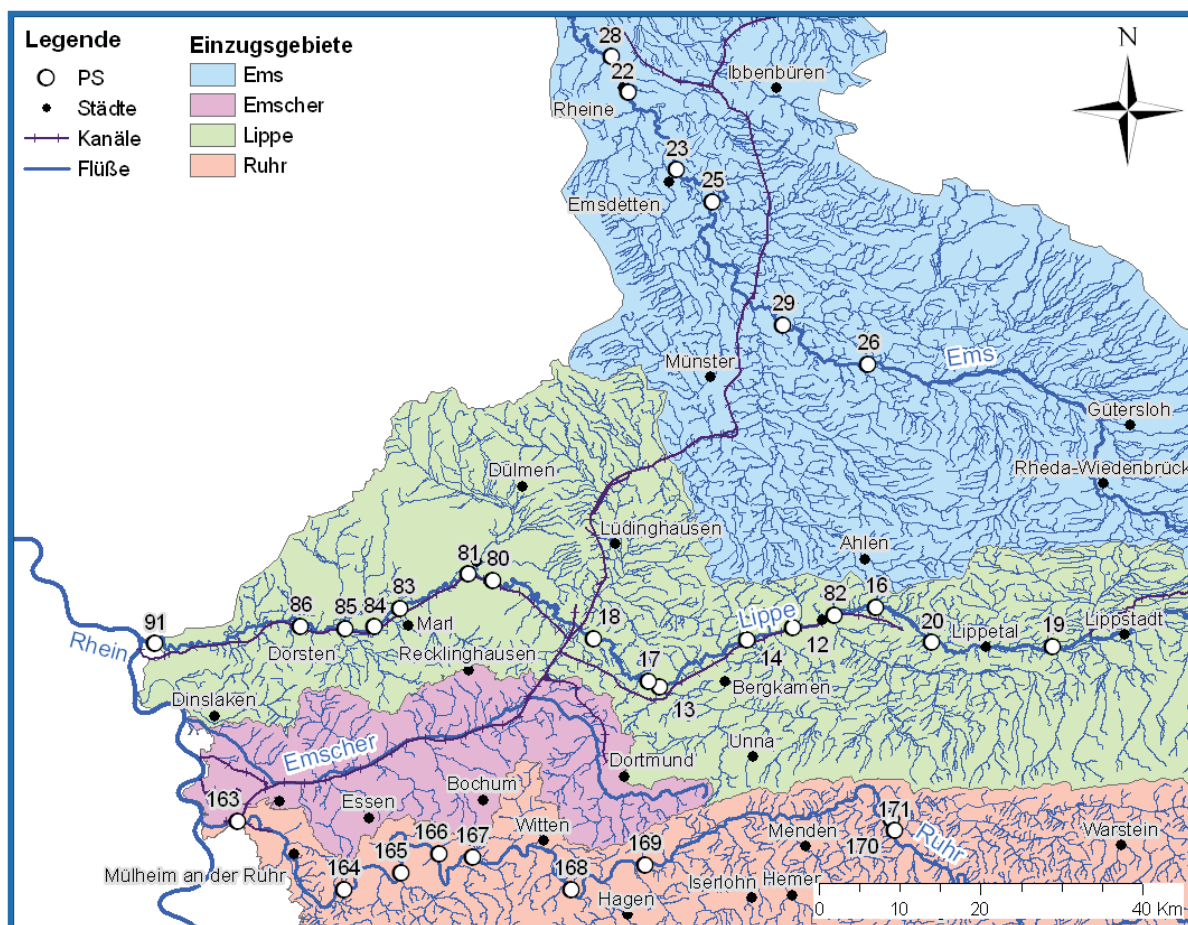


Abbildung 2: Untersuchungsgebiet. PS = Probestelle.

Die drei Flüsse unterliegen alle einer mehr oder weniger stark ausgeprägten Nutzung durch den Menschen. Bei allen wurden in der Vergangenheit technische Ausbauten durchgeführt (v. a. Begradigung, Vertiefung, Uferbefestigung), die die Gewässer trotz lokaler naturnaher Rückbaumaßnahmen bis heute prägen (vgl. Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung NRW, LUA 2005).

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Temperaturvergleich Lippe, Ems und Ruhr

Die Lippe hat in den beiden Untersuchungsjahren 2007 und 2008 in jedem Monat höhere Monatsmitteltemperaturen als die Ems und die Ruhr. Im Mittel hat die Lippe 2007 um 1,81 °C höhere Wassertemperaturen als die Ems und 1,76 °C höhere Temperaturen als die Ruhr. 2008 hat die Lippe im Mittel 1,85 °C höhere Wassertemperaturen als die Ems und 1,61 °C höhere Temperaturen als die Ruhr. Die Spannweiten der monatlichen Temperaturdifferenzen zwischen der Lippe und den beiden anderen beiden Flüssen betragen für das Jahr 2007 zwischen + 0,01 °C im August und + 3,01 °C im Mai (Ems) und + 0,81 °C im Juli und + 2,78 °C im September (Ruhr). 2008 betrug die Spannweite der monatlichen Differenzen zwischen Lippe und Ems + 0,57 °C (August) und + 2,96 °C (Dezember) und zwischen Lippe und Ruhr zwischen + 0,28 °C (August) und + 2,66 °C (Oktober). Die Unterschiede zwi-

schen den monatlichen Wassertemperaturen sind also in den Sommermonaten geringer und in den Herbst-, Winter-, und Frühlingsmonaten höher (siehe Abbildung 3).

Die absolute Maximaltemperatur betrug für das Jahr 2007 in der Lippe 25 °C, in der Ems 22,6 °C und in der Ruhr 25,9 °C und für das Jahr 2008 in der Lippe 28,3 °C, in der Ems 24,7 °C und in der Ruhr 27,1 °C. Die absoluten Minimaltemperaturen betragen für das Jahr 2007 in der Lippe 4,2 °C, in der Ems und Ruhr jeweils 2,0 °C. Im Jahr 2008 beträgt die Minimaltemperatur in der Lippe 1,9 °C, in der Ems 0,5 °C und in der Ruhr 0,9 °C. Die Ems und die Ruhr erreichen in den Sommermonaten also vergleichbare Maximaltemperaturen wie die Lippe; allerdings kühlt sich die Lippe in den Wintermonaten nicht so stark ab wie die Ems und die Ruhr.

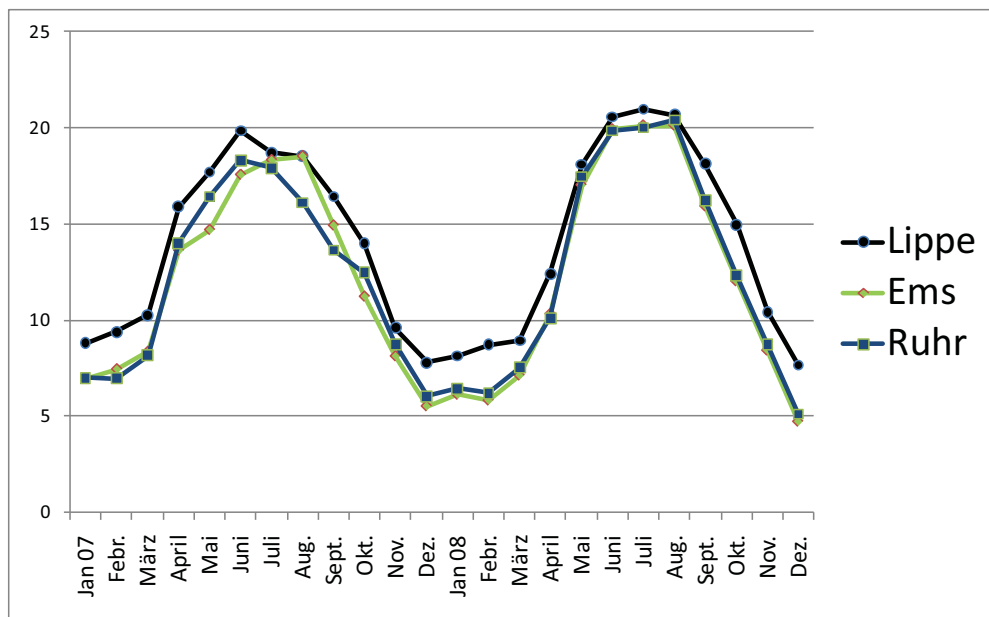


Abbildung 3: Monatsmitteltemperaturen der Lippe, Ems und Ruhr 2007 und 2008.

## 5.2 RDA

Die untersuchten Umweltparameter erklären insgesamt 66 % (Summe aller kanonischen Eigenwerte) der Gesamtvariabilität im Datensatz. Das Ordinationsdiagramm zeigt, dass mehrere Umweltparameter lange Gradienten aufweisen und die Variabilität im Datensatz erklären. Die Parameter mit den längsten Gradienten lassen sich zu drei Gruppen zusammenfassen:

1. Chemisch-physikalische Parametergruppe (besonders die Jahresmitteltemperatur, der Sauerstoffgehalt, der pH-Wert und die Leitfähigkeit an der Probestelle).
2. Parameter, die für die für Ausbreitung von Neozoen wichtig sind (Anzahl an Querbauwerken von einer potentiellen Ausbreitungsquelle für Neozoen bis zur Probestelle, Entfernung der Probestelle von einer Ausbreitungsquelle, und Anschluss der Probestelle an den Rhein).
3. Die morphologische Degradation einer Probestelle, beschrieben durch den relativen Anteil von Technolithal.

Die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften in der Lippe, der Ems und der Ruhr werden maßgeblich von diesen drei Umweltparametergruppen bestimmt (siehe Abbildung 4).

Fünf Probestellen der Lippe mit ähnlicher Makrozoobenthosbesiedlung sind im Vergleich mit Probestellen aus der Ems und der Ruhr gekennzeichnet durch deutlich höhere Jahresmitteltemperaturen, höhere Leitfähigkeitswerte und Ammoniumgehalte. Zudem befinden sich diese Probestellen in der Nähe einer Ausbreitungsquelle für Neozoen (siehe gepunkteter Kreis Abbildung 4). Ein weiteres abgrenzbares Probestellencluster mit ähnlichen Lebensgemeinschaften ist charakterisiert durch niedrige Temperatur- und Leitfähigkeitswerte und einer recht hohen Anzahl an Querbauwerken vor den Probestellen; zudem sind diese weit entfernt von einer potentiellen Ausbreitungsquelle für Neozoen (siehe gestrichelter Kreis 4).

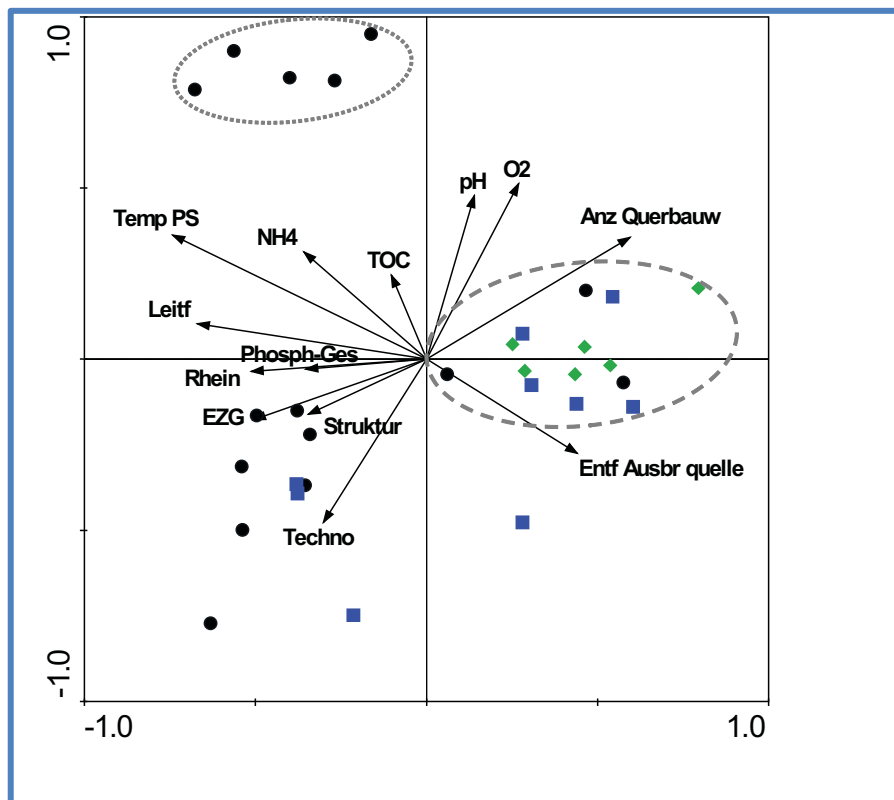


Abbildung 4: Ordinationsplot der Redundanzanalyse (RDA). Punkte = Probestellen (PS) Lippe, Rauten = PS Ems, Quadrate = PS Ruhr. Gepunktete und gestrichelte Kreise siehe Text. Abkürzungen siehe Tabelle 2.

Durch die Anwendung der partiellen RDA konnte 34,6% der erklärten Gesamtvariabilität (66%) im Datensatz bestimmten Umweltparameter zugeordnet werden. Die 13 untersuchten Umweltparameter erklären jeweils zwischen 1,5 % und 5,4 % der Variabilität im Datensatz. Für sechs Umweltparameter konnte der Monte Carlo-Permutationstest signifikante Erklärungsanteile ermitteln (Anzahl an Querbauwerken von einer Neozoen- Ausbreitungsquelle bis zur Probestelle, Jahresmitteltemperatur, Anschluss der Probestelle an den Rhein, Ammoniumgehalt, Größe des Einzugsgebietes, Gesamt-Phosphat und Sauerstoffgehalt). Diese Parameter haben Erklärungsanteile zwischen 2,1 % und 5,4 % (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Ergebnisse Stepwise Forward Selection, Monte Carlo Permutationstest und pRDA. F-Wert = Varianzquotient, p-Niveau = Signifikanzniveau, kursiv =  $p < 0,05$ , %- EA = relativer Erklärungsanteil an der Gesamtvariabilität (Ergebnisse pRDA, anderen Umweltparameter als Covariablen); Abkürzungen Umweltparameter siehe Tabelle 2.

Variable	F-Wert	p-Niveau	%-EA
Anz Querbauw	4,32	<i>0,002</i>	2,6
Temp PS	3,98	<i>0,002</i>	3,9
Rhein	3,95	<i>0,002</i>	2,7
NH4	2,27	<i>0,008</i>	2,1
EZG	2,07	<i>0,016</i>	5,4
Phosph-Ges	1,87	<i>0,038</i>	3,4
O2	1,83	<i>0,024</i>	2,2
Struktur	1,27	0,176	2,5
pH	1,17	0,274	1,9
Entf Ausbr quelle	1,04	0,394	2,1
TOC	1,07	0,362	2,3
Leif	0,94	0,494	2
Techno	0,71	0,75	1,5



### 5.3 Temperaturabhängigkeit wärmeliebender Neozoen

Die Häufigkeiten der wärmeliebenden Neozoen hängen in den untersuchten Flüssen hoch signifikant von der mittleren Jahreswassertemperatur an der Probestelle ab. In der Lippe zeigen z.B. die beiden einzigen nicht thermisch veränderten Probestellen (Lippborg, Klostermersch) geringe Häufigkeiten von wärmeliebenden Neozoen. Ansonsten sind in den anderen thermisch veränderten Probestellen der Lippe deutlich höhere Häufigkeiten von wärmeliebenden Neozoen vorhanden als in der Ems und in der Ruhr. Auch die Probestellen in der Ruhr und der Ems, die mittlere Jahreswassertemperaturen  $\leq 12$  °C aufweisen, haben nur sehr geringe Anteile an wärmeliebenden Neozoen. Ab einer mittleren Jahreswassertemperatur von  $> 12,5$  °C steigen die Häufigkeiten der wärmeliebenden Neozoen an und erreichen bei der maximal ermittelten mittleren Jahreswassertemperatur von  $16,4$  °C ebenfalls ihren Maximalwert (siehe Abbildung 5).

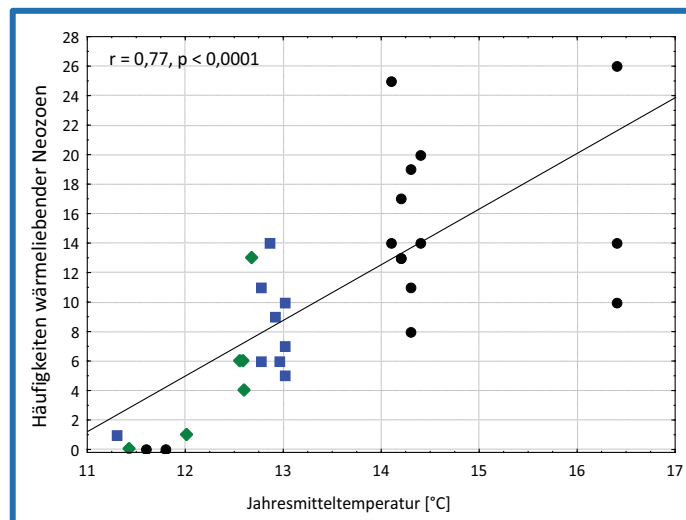


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen der Jahresmitteltemperatur an einer Probestelle und den Häufigkeiten „wärmeliebender Neozoen“. Punkte = Probestellen Lippe, Rauten = PS Ems, Quadrate = PS Ruhr.  $r$  = Spearman Rank Korrelationskoeffizient,  $p$  = Signifikanzniveau.

Tabelle 6 zeigt, dass die Häufigkeiten wärmeliebender Neozoen von mehreren Faktoren signifikant abhängen. Die Häufigkeiten korrelieren besonders deutlich mit der Jahresmitteltemperatur an einer Probestelle ( $r = 0,77$ ), in zweiter Linie mit der Leitfähigkeit ( $r = 0,48$ ), der Größe des Einzugsgebietes ( $r = 0,44$ ) und ob die Probestelle Anschluss an den Rhein ( $0,41$ ) hat. Die Häufigkeiten nehmen ab mit zunehmender Anzahl von Querbauwerken vor der Probestelle bis zur nächsten Ausbreitungsquelle ( $r = -0,39$ ) und mit zunehmender Entfernung von einer Ausbreitungsquelle ( $r = -0,41$ ).

Tabelle 6: Spearman Rank Korrelationskoeffizienten ( $r$ ) Häufigkeiten „wärmeliebender Neozoen“ vs. untersuchte Umweltparameter. Kursiv = Signifikanzniveau  $< 0,05$ . Abkürzungen Umweltparameter siehe Tabelle 2.

Parameter	Spearman r
Temp PS	0,77
Leitf	0,48
EZG	0,44
Anz Querbauw	-0,41
Rhein	0,41
Entf Ausbr quelle	-0,39
Struktur	0,22
NH4	0,20
TOC	0,18
O2	-0,15
Techno	0,06
pH	0,05
Phosph-Ges	0,02

### 5.4 Ableitung eines Grenzwertes

Im Überlappungsbereich (gelber Bereich, Metrikwerte zwischen 8 und 14) liegen sowohl Probestellen der Lippe, die thermisch verändert sind, als auch Probestellen der Ems und der Ruhr, die thermisch nicht oder wenig verändert sind. In diesem Wertebereich lassen sich folglich über die Häufigkeitsklassenwerte der wärmeliebenden Neozoen keine genauen Angaben über die thermische Veränderung einer Probestelle machen (indifferent). Metrikwerte > 14 indizieren dagegen eindeutig Probestellen die thermisch verändert sind (roter Bereich) und Metrikwerte < 8 thermisch nicht veränderter Probestellen (siehe Abbildung 6).

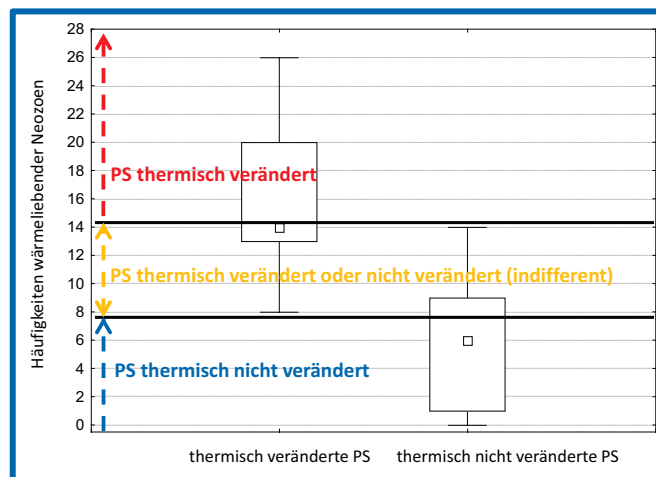


Abbildung 6: Vergleich der Metrikwerte „Häufigkeiten wärmeliebender Neozoen“ in thermisch veränderten und nicht veränderten Probestellen (PS). Die fett gedruckten schwarzen Linien begrenzen den Überlappungsbereich (orange).

### 5.5 Einfluss der Wassertemperatur auf die Core Metriks

Die Tabelle 7 zeigt, dass von den vier Core Metriks und der Saprobienindex, die zur ökologischen Bewertung des Fließgewässertyp 15g benutzt werden, drei signifikant negativ auf zunehmende Wassertemperaturen reagieren und der Saprobienindex signifikant positiv reagiert. Den stärksten negativen Effekt auf eine Temperaturzunahme zeigt der Fauna- Index, der die Auswirkung morphologischer Degradation auf die Lebensgemeinschaft in einem Fließgewässerabschnitt beschreibt. Nur der Metrik %- Anteil von Litoral- Bewohnern bleibt von einer Temperaturzunahme unbeeinflusst.

Tabelle 7: Zusammenhang zwischen der Jahresmitteltemperatur an einer Probestelle (Temp PS), den Core Metriks und des Saprobienindex, die auf den Typ 15g angewendet werden. Spearman Rank Korrelationskoeffizienten, kursiv = Signifikanzniveau  $p < 0,05$ ,  $n = 21$  Probestellen. Abkürzungen: Litoral = Bewohner von Ufer- und Flachwasserregionen, EPT = Eintagsfliegen, Steinfliegen und Köcherfliegen, Trichoptera = Köcherfliegen.

Parameter	Fauna Index	%- Anteil Litoral Bewohner	%- Anteil EPT-Taxa	Anzahl Trichoptera Taxa	SI-Wert
Temp PS	<i>-0,77</i>	<i>-0,29</i>	<i>-0,62</i>	<i>-0,55</i>	<i>0,52</i>

## 6 Diskussion

### 6.1 RDA

Das Ordinationsdiagramm der RDA zeigt, dass der Erklärungsanteil der Temperatur für die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften sehr hoch ist; der Temperaturgradient ist einer der längsten im Diagramm. Auch der Monte Carlo Permutationstest hat verdeutlicht, dass die Temperatur einen signifikanten Einfluss auf die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft hat. Die Temperatur ist einer der wichtigsten Umweltfaktoren im Fließgewässer. Sie bestimmt die Entwicklungsgeschwindigkeit von MZB- Organismen und sie leitet bei Überschreitung oder Unterschreitung bestimmter Temperaturwerte bestimmte Entwicklungsphasen ein. Die Temperatur synchronisiert somit die Organismen mit den herrschenden Umweltbedingungen. Die Sauerstoffkonzentration im Gewässer wird maßgeblich über die Temperatur beeinflusst. Bei höheren Wassertemperaturen sinkt die Sauerstoffkonzentration im Gewässer. Die meisten Tiere sind an bestimmte Temperaturbereiche und Sauerstoffkonzentrationen angepasst, werden diese über- oder unterschritten, fallen diese Organismen aus (Lorenz & Graf 2008, Hering et al. 2007).

Der insgesamt geringe Erklärungsanteil der Temperatur an der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft von 3,9 % zeigt, dass auch noch andere Umweltfaktoren wichtig sind. In der vorliegenden Untersuchung sind für die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften in den großen Flüssen neben den chemisch-physikalischen Parameter solche wichtig, welche auch für die Verbreitung von Neozoen Bedeutung haben. Die Parameter Anzahl an Querbauwerken von einer potentiellen Ausbreitungsquelle für Neozoen bis zur Probestelle und Anschluss der Probestelle an den Rhein, erklären signifikant die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft an einer Probestelle. Ebenfalls verdeutlicht das Ordinationsdiagramm, dass diese drei Umweltparameter maßgeblich die Zusammensetzungen der Lebensgemeinschaften erklären. Neozoen sind also wesentlicher Bestandteil der aquatischen Wirbellosenfauna in den untersuchten Fließgewässern (vgl. auch Arbačiauskas et al. 2008, Sommerhäuser et al. 2009, Leuven et al. 2009, Döppner und Sommerhäuser 2011).

### 6.2 Temperaturabhängigkeit wärmeliebender Neozoen

Es wurde gezeigt, dass die Häufigkeiten wärmeliebender Neozoen signifikant von der Temperatur abhängen. In allen drei Flüssen sind die Häufigkeiten von wärmeliebenden Neozoen in den Probestellen mit mittleren Jahreswassertemperaturen  $\leq 12$  °C gering. Mit zunehmender Wassertemperatur steigen dann die Häufigkeiten der wärmeliebenden Neozoen signifikant an. Die Lippe erreicht die höchsten Temperaturen und auch die höchsten Anteile an wärmeliebenden Neozoen. Jeder Organismus hat bezogen auf den Umweltfaktor Temperatur einen Präferenzbereich, in dem z.B. Stoffwechselforgänge ideal ablaufen und die Aktivität am höchsten ist. Wenn ein Organismus die Möglichkeit hat, versucht er, in diesen Präferenzbereich zu gelangen. Durch den Ausbau des internationalen Schifffahrtsverkehrs und andere unterstützende Ausbreitungsmöglichkeiten (z.B. durch Fische und Vögel) haben viele aquatische Wirbellose aus entfernten Fließgewässersystemen, z.B. aus Südasien, dem Donau- Einzugsgebiet oder dem Mittelmeerraum, mittlerweile die Möglichkeit, auch große Distanzen zu überwinden (Nehring 2003). Die ehemals geografische Trennung der Flusssysteme ist weitestgehend aufgehoben und Neozoen können sich fast ungehindert verbreiten.

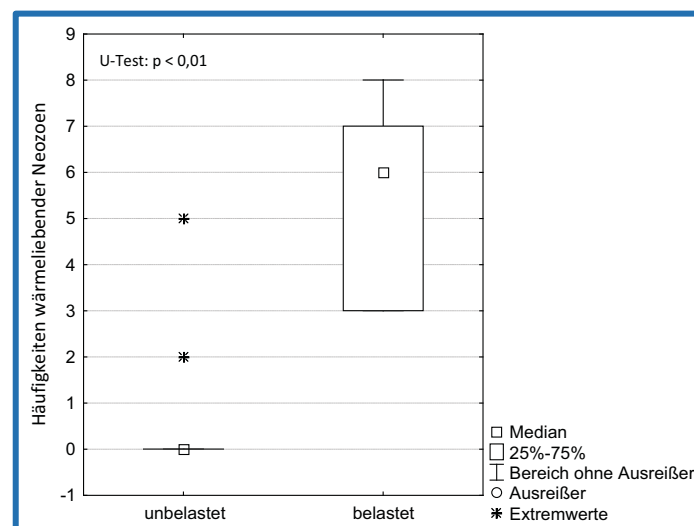
Steigen im Rahmen des Klimawandels die Temperaturen in den deutschen Gewässern, wird die Ausbreitung von Neozoen aus Regionen mit wärmeren Wassertemperaturen zusätzlich gefördert. Gleichzeitig werden die Bedingungen bei einer Zunahme der Wassertemperaturen für die heimischen Arten schlechter. Sie werden gegenüber den Neozoen konkurrenzschwächer. Die Anzahl an gelegten Eiern, die Brutentwicklungszeit, der Schlüpfertag und die Fortpflanzungspause werden z.B. bei den Flohkrebse (Gammariden) durch die Temperatur stark beeinflusst (Pöckl 1993). Dabei hat jeder Organismus seine spezifische Optimaltemperatur. Duran (2004) hat eindrucksvoll gezeigt, dass höhere (erhöhte) Wassertemperaturen heimische Flohkrebse in ihrer Entwicklung negativ beeinflussen: Beim in Mitteleuropa weit verbreiteten Bachflohkrebs *Gammarus pulex* konnte er zei-

gen, dass bei einer Temperatur von 15 °C 80 %, bei 25 °C hingegen nur noch 55 % der Tiere überleben.

### 6.3 Temperatur und Leitfähigkeit

Die Temperatur an einer Probestelle korreliert signifikant mit der Leitfähigkeit an der Probestelle ( $r = 0,53$ ,  $p < 0,01$ ). Dies liegt daran, dass viele Probestellen der Lippe sowohl durch warmes Kühlwasser als auch durch Salzfrachten aus dem Bergbau belastet sind. Somit zeigen eine Reihe der Probestellen an der Lippe im Vergleich zur Ems und zur Ruhr höhere Temperatur- und Leitfähigkeitswerte. Die Häufigkeiten der wärmeliebenden Neozoen könnten also auch durch die erhöhten Leitfähigkeitswerte bedingt sein. Von den 15 wärmeliebenden Neozoen sind sechs als salztolerante oder halophile Arten eingestuft (*Corophium curvispinum*, *Dreissena polymorpha*, *Gammarus trigunus*, *Hypania invalida*, *Jaera istri* und *Orchestia cavimana*). Der Einfluss der Salzbelastung auf die Häufigkeiten von wärmeliebenden Neozoen wurde geprüft, indem die salzbelasteten Probestellen aus dem Datensatz gelöscht wurden und die Korrelation zwischen der Jahresmitteltemperatur an der Probestelle und den Häufigkeiten der wärmeliebenden Neozoen für die 20 übrig gebliebenen Stellen neu berechnet wurden. Der Neuberechnete Spearman Korrelationskoeffizient von  $r = 0,78$  ( $p < 0,001$ ) zeigt, dass die Häufigkeiten wärmeliebender Neozoen weiterhin stark von der Temperatur abhängen.

Der Zusammenhang von thermischer Belastung und Salzbelastung auf die Häufigkeiten wärmeliebenden Neozoen wurde an der Erft, die bei Neuss in den Rhein mündet, weiter untersucht. Die Erft ist durch die Einleitung von Sumpfungswässern erheblich thermisch belastet, im Gegensatz zur Lippe aber nicht salzbelastet. Die Probenahme des MZB erfolgte 2010 nach der DIN 38410-Methode (DIN 2004). Die Probestellen wurden eingeteilt in a) thermisch unbelastete Probestellen oberhalb der Einleitungen sowie nicht thermisch belastete Zuflüsse und b) thermisch belastete Probestellen nach Einleitung von warmen Sumpfungswässern. Die Box & Whisker Plots und der Mann-Whitney U-Test zeigen, dass die Häufigkeiten von wärmeliebenden Neozoen in den thermisch belasteten Probestellen der Erft signifikant höher sind, als in den thermisch nicht belasteten Probestellen der Erft (siehe Abbildung 7).



**Abbildung 7: Vergleich Summe Häufigkeitsklassen (HK) wärmeteranter Neozoen in thermisch belasteten und unbelasteten Probestellen der Erft und im Mündungsbereich von deren Zuflüssen, Anzahl Probestellen unbelastet: n = 13, belastet: n = 5.**

In der Erft sind die Metrikwerte der thermisch belasteten Stellen  $< 8$ . Diese Probestellen gelten folglich nach Anwendung der vorgeschlagenen Grenzwerte als thermisch nicht belastet. Die niedrigen Häufigkeitswerte könnten zwei Gründe haben: 1. Die Probenahme des MZBs erfolgte in der Erft nicht nach der MHS-Methode, sondern nach der DIN 38410-Methode. Dadurch sind die ermittelten

Häufigkeiten von wärmeliebenden Neozoen nur bedingt vergleichbar. 2. Die Temperaturen in der Erft betragen selbst in den Wintermonaten immer  $> 10\text{ °C}$  (Rose 2011). Diese Werte weichen extrem von den winterlichen Temperaturwerten aus den Heimatgebieten (warmgemäßigte Zone) der wärmeliebenden Neozoen ab. Die Erft spiegelt mit ihrem Temperaturregime eher die Bedingungen von Fließgewässern in den Tropen wider (geringe Schwankungen der Temperatur im Jahresverlauf bzw. Tagesschwankungen sind höher als die Jahresschwankungen). Somit stellt die Erft einen Sonderfall dar. Ihr Temperaturregime ist so stark verändert, dass sie für die wärmeliebenden Neozoen aus der warmgemäßigten Zone keine idealen Lebensbedingungen aufweist.

Ein Beispiel dafür, dass kühle Wassertemperaturen das Eindringen der Neozoen geradezu verhindern, ist die Wupper. Dieser, südlich der Ruhr bei Leverkusen in den Rhein mündender Nebenfluss ist in einigen Bereichen thermisch belastet. „Wärmeliebende Neozoen“ könnten wie bei Lippe und Ruhr über den Rhein einwandern und sich etablieren. In der Wupper kommen allerdings von den eingestuften „wärmeliebenden Neozoen“ nur 2 Arten vor, *Dugesia tigrina* und *Proasellus coxalis*, davon *Dugesia tigrina* nachweislich nur in den wärmebelasteten Stellen (van den Boom 2009). Der Grund für die geringen Häufigkeiten wärmeliebender Neozoen ist wahrscheinlich, dass einen Kilometer oberhalb der Mündung der Wupper in den Rhein die Dhünn in die Wupper mündet. Die Dhünn weist durch Aufnahme von kaltem Tiefenwasser aus der Großen-Dhünn-Talsperre unnatürlich niedrige Temperaturen auf. Die Wupper wird also bis zur Mündung in den Rhein durch die Dhünn stark abkühlt. Diese Abkühlung ist wahrscheinlich eine Barriere, die für „wärmeliebende Neozoen“ nicht überwunden werden kann.

#### 6.4 Einfluss zunehmender Wassertemperaturen auf die Fließgewässerbewertung

Drei der vier Core-Metrikwerte für den Typ 15g reagieren signifikant negativ auf steigende Jahresmitteltemperaturen an der Probestelle. Eine Temperaturerhöhung hat also Auswirkungen auf die Bewertung der großen sand- und lehmgeprägten Flüsse des Tieflands. Für das Modul allgemeine Degradation wird aus den vier untersuchten Core Metrikwerten ein gewichtetes Mittel gebildet, der multimetrische Index. Der Fauna-Index, der zu 50 % in diese Mittelwertbildung eingeht (Stand PERLODES 2006) und überwiegend morphologische Degradation beschreiben soll, aber auch auf organische Belastung reagiert (Meier et al. 2006b), wird von einer Temperaturerhöhung am stärksten negativ beeinflusst ( $r = -0,77$ ). Die Indikatorwirkung dieses Metriks wird also geschwächt, da bei nicht beeinträchtigter Gewässermorphologie und guter Wasserqualität aber gleichzeitig bestehender thermischer Belastung die Metrikwerte sinken. Ein Grund für die schlechtere Bewertung ist, dass von den 15 wärmeliebenden Neozoen fünf innerhalb des Fauna-Index als „Störanzeiger“ und die restlichen Taxa als „indifferent“ eingestuft sind. Steigt der Anteil wärmeliebender Neozoen an der Lebensgemeinschaft durch eine Zunahme der Wassertemperatur, kann also die Bewertung schlechter werden. Die anderen beiden Metriks Prozentanteil von Eintags-, Stein- und Köcherfliegen und Anzahl der Köcherfliegen-Taxa werden ebenfalls durch eine Temperaturerhöhung negativ beeinflusst. Innerhalb der drei besprochenen Metriks sind Taxa enthalten, die vergleichbare Temperaturpräferenzen aufweisen, da diese natürlicherweise an das Temperaturregime großer Tieflandflüsse angepasst sind. Deren ökologisches Potential gegenüber Temperaturschwankungen ist aber scheinbar unterschiedlich; sie vertragen teilweise nur geringe Schwankungen der Temperatur. Die Lippe hat in den beiden Untersuchungsjahren im Sommer Temperaturwerte von maximal  $25,0\text{ °C}$  (2007) und  $28,3\text{ °C}$  (2008) erreicht. Hohe Wassertemperaturen tragen zu niedrigen Sauerstoffkonzentrationen bei (Minimum 2007:  $3,42\text{ mg/l}$  und 2008:  $3,97\text{ mg/l}$ ). Die genannten Maximaltemperaturen bzw. die niedrigen Sauerstoffkonzentrationen sind für einige Eintags-, Köcher- und Steinfliegen sicherlich letal. Dementsprechend sind diese Tiere also nicht nur Indikatoren für hydromorphologische Degradation und organische Belastung sondern auch Indikatoren für Temperaturveränderungen. Als Folge sinken die Metrik-Werte, wenn die Temperatur im Gewässer steigt – bei ansonsten gleichbleibenden Umweltbedingungen (vgl. Hamilton et al. 2010).

Der Metrik Prozentanteil der Litoral-Bewohner setzt sich aus Arten zusammen, die u.a. höhere Sommertemperaturen als andere typische Fließgewässerarten bevorzugen (Meier et al. 2006b). Dies könnte ein Grund sein, warum dieser Metrik durch höhere Temperaturen kaum beeinflusst wird.

Der deutsche Saprobienindex (DIN 2004) zeigt die organische Belastung eines Gewässers mithilfe der im Gewässer lebenden wirbellosen Tiere, an. Jedem Tier wird ein Index-Wert zugeteilt, der dessen Toleranz gegenüber organischer Verschmutzung anzeigt. Hohe Saprobienindex- Werte weisen auf organische Belastung durch Sauerstoffarmut hin. Von den wärmeliebenden Neozoen besitzen fünf Saprobie-Werte zwischen 2,1 und 2,2, vier haben einen Wert von 2,3, einer einen Wert von 2,4 und einer einen Wert von 2,8. Diese Saprobien- Werte schwanken genau zwischen den Zustandsklassen „gut“ und „mäßig“ für diesen Typ (Grenzwert 2,3). Nehmen durch den Klimawandel „wärmeliebende Neozoen“ in der Lebensgemeinschaft zu, bei gleichbleibender oder sogar verbesserter Gewässerqualität, kann der Saprobienindex einen schlechteren Zustand vortäuschen. Schöll et al. haben (2008) für das Bewertungsverfahren für große Flüsse und Ströme, den Potamontypie-Index, zeigen können, dass sich auch hierbei für Rhein, Donau und andere Gewässer die Bewertung in den letzten Jahren bzw. zwei Jahrzehnten zeitlich mit der Zunahme der Neozoen verschlechtert hat.

Bei Neozoen dominierten Fließgewässern können die möglichen Befunde einer nicht guten Bewertung anhand der etablierten biologischen Bewertungssysteme kausalen Handlungsbedarf besonders in den Feldern Gewässerstrukturqualität bzw. punktuelle organische Belastung suggerieren. Wasserwirtschaftlich kann dies zu erheblichen Kosten führen, ohne dass die Umsetzung eintsprechender Maßnahmen zu einer durchgreifenden Verbesserung des Ökologischen Zustandes führen würde.

## 6.5 Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel

Der Klimawandel wird sich auf die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften in den Fließgewässern auswirken, u.a. durch die Zunahme des Anteils wärmeliebender Neozoen an der Lebensgemeinschaft (diese Arbeit, vgl. auch Ormerod 2009). Diese Tiere profitieren von steigenden Wassertemperaturen als Folge des Klimawandels. Die Etablierung dieser meist gleichzeitig anspruchslosen (euryöken) und konkurrenzstarken Arten (Grabowski et al. 2007) wird dadurch unterstützt, dass die Lebensbedingungen für die heimischen Lebensgemeinschaften durch den Ausbau und die Verschmutzung von Fließgewässern schlecht sind (Tittizer 2001, Durance und Ormerod 2009). Neozoen treffen häufig auf eine artenarme und konkurrenzschwache Lebensgemeinschaft und besetzen die offenen Nischen, die von der heimischen Fauna nicht mehr besetzt sind (Tittizer 2001, Nehring 2006, Orendt et al. 2010). Zudem können einige invasive Arten die heimischen Arten aktiv verdrängen, wie z.B. *Dikerogammarus villosus* oder *Dreissena polymorpha* (Orendt et al. 2010). Maßnahmen an den Fließgewässern, die zur Reduzierung von Gewässerverschmutzungen und organischen Belastungen, zur hydromorphologischen Verbesserung der Fließgewässer und zu deren Abkühlung beitragen (zum Beitrag von Anpassungsmaßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie an den Klimawandel vgl. Kupilas et al. 2011), verbessern zweifellos die Lebensbedingungen für die heimischen Lebensgemeinschaften. Idealerweise kann sich eine artenreiche und konkurrenzstarke Lebensgemeinschaft entwickeln. Neozoen fällt es entsprechend schwerer in diese Lebensgemeinschaften einzudringen und sich zu etablieren. Folglich sollten die in Deutschland durchgeführten ökologischen Verbesserungsmaßnahmen an Fließgewässern weiter geführt werden, wobei besonderes Augenmerk auf die Maßnahmen zu legen ist, die sowohl eine strukturelle Aufwertung des Lebensraums bewirken als auch in der Lage sind, die Folgen des Klimawandels, z. B. die Erwärmung der Gewässer zu reduzieren. Sind die Neozoen erst einmal zu einem dominanten Bestandteil der aquatischen Lebensgemeinschaft geworden, wird ihre Reduzierung aufgrund ihrer Konkurrenzstärke und Anpassungsfähigkeit vermutlich schwierig. Hier stellt sich auch die Frage, ob und ab wann sie als Bestandteil der Lebenswelt – oder sogar als Ersatz für ausgestorbene heimische Arten, deren ökologische Nische sie einnehmen – akzeptiert werden können. Diese Diskussion soll hier ebenso wenig weiter geführt werden wie die Frage, ob das Vordringen der Neozoen in den

Fließgewässern etwa durch fallweises, punktuell Belassen von Querbauwerken aufgehalten werden kann und sollte.

Der Klimawandel führt in Deutschland zweifellos dazu, dass es im Sommer heißer und im Winter milder wird (Deutscher Wetterdienst 2011). Da die Wassertemperaturen mit den Lufttemperaturen korrelieren folgen sie diesen Trends. In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass „wärmeliebende Neozoen“ von einer Temperaturzunahme des Wassers profitieren. Eine Zunahme von wärmeliebenden Neozoen in den großen Flüssen (Typ 15g) beeinflusst aber die dort angewendeten aktuellen Fließgewässerbewertungssysteme; bei unveränderter Wasserqualität oder gleichbleibender Strukturgröße wird die Bewertung schlechter (s. o. und vgl. Schöll & König 2008, Sommerhäuser et al. 2009, Hamilton et al. 2010). Die Bewertungsergebnisse sind also für den Fließgewässertyp 15g nicht mehr gesichert. Es wird deshalb vorgeschlagen, die bestehenden Bewertungssysteme anzupassen und das Ergebnis des Metriks „Häufigkeiten wärmeliebender Neozoen“ für den Typ 15g an einer Probestelle mit zu berücksichtigen. Bei Überschreitung des vorgeschlagenen Grenzwertes, der eine thermische Belastung der Probestelle beschreibt (siehe Abbildung 6), sollten die ermittelten Ergebnisse des Multimetrischen Index (PERLODES) und des Saprobienindex als nicht gesichert gelten.

## 7 Zusammenfassung

Die Arbeit hat den Einfluss der Temperaturzunahme auf die Lebensgemeinschaften in großen Flüssen (Fließgewässertypen 15g und 9.2) untersucht und die Auswirkungen auf die Fließgewässerbewertung aufgezeigt. Dafür wurde die thermisch veränderte Lippe mit den nicht thermisch veränderten Flüssen Ems und Ruhr verglichen.

Die Lippe spiegelt durch ihre thermische Belastung zukünftige Klimaszenarien wider; ihre monatlichen Temperaturwerte sind im Mittel zwischen 1,61 °C und 1,85 °C höher als in der Ems und in der Ruhr. Für die Untersuchung wurden Daten von insgesamt 31 Probestellen, die in den Jahren 2007 und 2008 in der Lippe, der Ems und der Ruhr nach der MHS-Methode (PERLODES, Meier et al. 2006a) besammelt wurden, ausgewertet. Für jede Probestelle konnte der Einfluss von insgesamt 13 Umweltparametern auf die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft untersucht werden. Die Temperaturwerte wurden durch Kontrollstationen erfasst, die im Minuten- bis Viertelstundentakt die Wassertemperatur messen.

Die betrachteten Umweltparameter erklären insgesamt 66 % der Gesamtvariabilität im Datensatz; davon hat die mittlere Jahreswassertemperatur einen signifikanten Erklärungsanteil von 3,9 %. Weitere Umweltparameter erklären ebenfalls signifikant die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft an einer Probestelle. In einem weiteren Schritt wurde untersucht, ob sich aus den Taxalisten Klimaindikatoren ableiten lassen, die eine durch den Klimawandel bedingte Temperaturerhöhung beschreiben können. Dafür wurden 15 ausgewählte Neozoen der Lippe, der Ems und der Ruhr zum Metrik „Häufigkeiten wärmeliebender Neozoen“ zusammengefasst. Diese Neozoen werden in der Literatur als eurytherm, thermophil oder warmstenök beschrieben (Tachet et al. 2000, Tittizer 2001). Zusätzlich wurden die Neozoen aus dem Ponto-Kaspischen Bereich (Schwarzmeer Region) als wärmeliebend eingestuft. Die Häufigkeiten der wärmeliebenden Neozoen steigt hoch signifikant mit der mittleren Jahreswassertemperatur an einer Probestelle ( $r = 0,77$ ). In einer weiteren Untersuchung wurde die Bedeutung des erhöhten Salzgehaltes in der Lippe für die Häufigkeiten wärmeliebender Neozoen dargestellt (von den 15 wärmeliebenden Neozoen werden sechs in der Literatur als „salzliebend“ eingestuft). Da die „Häufigkeiten wärmeliebender Neozoen“ auch signifikant mit dem Salzgehalt ( $r = 0,48$ ) korrelieren, wurden in einem nächsten Schritt alle Probestellen der Lippe, die salzbelastet sind, aus der Analyse entfernt; nur noch Probestellen der Lippe oberhalb der ersten Einleitung von Grubenwasser wurden berücksichtigt. Der Zusammenhang zwischen den Häufigkeiten der wärmeliebenden Neozoen und der mittleren Wassertemperatur ist weiter sehr hoch ( $r = 0,78$ ,  $n = 20$ ). Die Ergebnisse wurden zusätzlich im Kontext mit Daten aus der nicht salzbelasteten Erft und Wupper evaluiert, wodurch die Befunde gestützt werden. Die Probestellen der Lippe, Ems und Ruhr wurden in zwei Klassen eingeteilt, in a) thermisch veränderte

(Jahresmitteltemperatur > 14 °C) und b) thermisch nicht veränderte Probestellen. Durch den Vergleich der Metrikwerte zwischen diesen beiden Klassen konnten Wertebereiche abgeleitet werden, die thermisch veränderte Probestellen beschreiben. Es wurden drei Wertebereiche definiert:

1. thermisch veränderte Probestellen (Summe der Häufigkeitsklassen (HK) wärmeliebender Neozoen > 14),
2. indifferenter Bereich (HK zwischen 8 und 13) und
3. thermisch nicht veränderte Probestellen (HK < 13)

Es wurde zusätzlich untersucht, ob erhöhte Wassertemperaturen einen Einfluss auf die Bewertung der großen sand- und lehmgeprägten Flüsse (Typ 15g) anhand der konventionellen biologischen Bewertungssysteme haben. Für jede Probestelle (n = 21) wurden für das Modul „allgemeine Degradation“ des deutschen Fließgewässerbewertungssystems (PERLODES) die Werte der vier Haupt-Metriks und der Saprobienindex berechnet und diese wurden mit der mittleren Jahreswassertemperatur an der Probestelle korreliert. Von den vier Metriks korrelieren drei signifikant negativ mit einer Temperaturzunahme (Fauna- Index:  $r = -0,77$ , %- Anteil von EPT- Taxa:  $r = -0,6$ , Anzahl Trichoptera Taxa:  $r = -0,55$ ). Diese Metriks umfassen Eintags-, Stein-, und Köcherfliegen, die allgemein hohe Ansprüche an ihren Lebensraum haben. Auch der in erster Linie Verschmutzung anzeigende Saprobienindex steigt signifikant mit einer Temperaturzunahme. Erhöhte Wassertemperaturen in einem Fließgewässer führen also zum Ausfall wichtiger Indikatorarten, die in erster Linie hydromorphologische Degradation (Core Metriks) und organischen Belastung (Saprobienindex) beschreiben sollen. Dieser Ausfall führt dann zu einer schlechteren Bewertung des Gewässers, obwohl sich die Hydromorphologie, die Gewässergüte und -qualität nicht messbar verschlechtern. Ein Phänomen, welches schon heute in der Lippe (Sommerhäuser et al. 2009) und im Rhein (Schöll & König 2008) beobachtet werden kann. Der Metrik „Häufigkeiten wärmeliebender Neozoen“ kann thermisch veränderte Probestellen für den Typ 15 g (große sand- und lehmgeprägte Tieflandflüsse) beschreiben. Zeigt der Metrik eine thermisch veränderte Probestelle an, sollten die Ergebnisse von PERLODES und des Saprobienindex als nicht gesichert bewertet werden. Die Festlegung von Maßnahmen zur Erlangung eines guten ökologischen Zustandes wird damit präziser und zielgerichteter.

## 8 Danksagung

Herrn Dr. Udo Rose vom Erftverband möchten wir danken für die Bereitstellung von Temperaturdaten und Makrozoobenthostaxalisten aus der Erft. Für den fachlichen Austausch und die wertvollen Informationen zum Temperaturregime der Wupper möchten wir Frau Dipl.-Biol. Andrea van den Boom vom Wupperverband danken. Den Mitarbeitern aus dem Kooperationslabor von Emschergenossenschaft/Lippeverband und Ruhrverband möchten wir für die Auswertung der Temperaturdaten der Kontrollstationen an der Lippe und der Ruhr danken. Frau Cropp vom Wasser- und Schifffahrtsamt Rheine lieferte wichtige Informationen zur Funktion und Mengenabgabe von Entlastungsbauwerken. Herrn Dr. Jürgen Ruppert vom Wasserverband Westdeutsche Kanäle danken wir für die Bereitstellung umfangreicher Messwerte aus den westdeutschen Kanälen.

## 9 Literatur

ARBAČIAUSKAS, K., SEMENCHENKO, V., GRABOWSKI, M., LEUVEN, R., PAUNOVIĆ, M., SON, M.O., CSÁNYI, B., GUMULIAUSKAITĖ, S., KONOPACKA, A., NEHRING, S., VELDE, G.V.D., VEZHNOVETZ, V. und PANOVA, V.E. (2008): Assessment of biocontamination of benthic macroinvertebrate communities in European inland waterways. *Aquatic Invasions* 3, 211-230.

CHAMBERS, M. R. (1977): The population ecology of *Gammarus tigrinus* (Sexton) in the reed beds of the Tjeukemeer. *Hydrobiologia* 53, 155-164.



DAUFRESNE, M., ROGER, M.C., CAPRA, H. und LAMOUREUX, N. (2004): Long-term changes within the invertebrate and fish communities of the Upper Rhône River: effects of climatic factors. *Global Change Biology* 10, 124–140.

DEUTSCHER WETTERDIENST. (2011): Klimaatlas Deutschland. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. <http://www.dwd.de>, Zugriff: 15.06.2011

DIN 38410. Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser-, und Schlammuntersuchung (Gruppe M). Bestimmung des Saprobienindex in Fließgewässern. (2004). Beuth-Verlag, Berlin.

DÖPPNER, T. und SOMMERHÄUSER, M. (2011): Neozoen in der Ruhr und Lippe - Verbreitung und Einfluss auf die ökologische Bewertung und die Maßnahmenplanung. In: PINNEKAMP, P.D.J. (Hrsg.), 44. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft. Zukunftsfähige Wasserwirtschaft kosteneffizient und energiebewusst. Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e.V., Aachen, 64/61-64/12.

DURAN, M. (2004): Estimating of growth rate of *Gammarus pulex* (L.) collected from the River Yeflilirmak (Turkey). *Archiv für Hydrobiologie* 161, 553-559.

EGGERS, T.O. und MARTENS, A. (2009): Limnische Neozoa in Deutschland: Verbreitungsmuster und Ausbreitungstrends. In: DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR LIMNOLOGIE (Hrsg.), *Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 2008* (Konstanz). Hardegsen, 378-381.

GRABOWSKI, M., BACELA, K. und KONOPACKA, A. (2007): How to be an invasive gammarid (Amphipoda: Gammaroidea) - comparison of life history traits? *Hydrobiologia* 590, 75-84.

GREIS, S., STRAUCH, U., ROTHSTEIN B. (2011): Untersuchungen zur Gewässertemperaturentwicklung ausgewählter Flüsse mit thermischen Kraftwerksstandorten in Deutschland. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 4, 35-40.

HAMILTON, A.T., STAMP, J.D. und BIERWAGEN, B.G. (2010): Vulnerability of biological metrics and multimetric indices to effects of climate change. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 29, 1379-1396.

HERING, D., GRAF, W. und SCHMIDT-KLOIBER, A. (2007): Autökologische Eigenschaften europäischer Köcherfliegenarten: eine Analyse entlang klimatischer Gradienten. In: DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR LIMNOLOGIE (Hrsg.), *Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 2006* (Dresden). Dresden, 71-74.

KUPILAS, B., BUTTSCHARDT, T. und MÜLLER, F. (2011): Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasser-rahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel. In: *dynaklim-Publikationen*. dynaklim Konsortium (Hrsg.). [http://www.dynaklim.de/dynaklim/index/service/publikationen/dynaklim\\_Publikationen.html](http://www.dynaklim.de/dynaklim/index/service/publikationen/dynaklim_Publikationen.html), Zugriff: 06.07.2011

LEUVEN, R.S.E.W., VAN DER VELDE, G., BAIJENS, I., SNIJDERS, J., VAN DER ZWART, C., LENDERS, H.J.R. und BIJ DE VAATE, A. (2009): The river Rhine: A global highway for dispersal of aquatic species. *Biol. Invasions* 11, 1989-2008.

LORENZ, A. und GRAF, W. (2008): (Mögliche) Verlierer und Gewinner des Klimawandels innerhalb der Insektenordnung Plecoptera (Steinfliegen). In: DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR LIMNOLOGIE (Hrsg.), *Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 2007*(Münster). Werder, 326-330.

LUA (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Hrsg.) (2005): Gewässerstrukturgüte in Nordrhein-Westfalen. Bericht 2005. Werbedruck GmbH Horst Schreckhase. Spangeberg.

MEIER, C., HAASE, P., ROLAUFFS, P., SCHINDEHÜTTE, K., SCHÖLL, F., SUNDERMANN, A. und HERING, D. (2006a): Methodisches Handbuch Fließgewässerbewertung. Handbuch zur Untersuchung und Bewertung von Fließgewässern auf der Basis des Makrozoobenthos vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie. <http://www.fliessgewaesserbewertung.de>, Zugriff: 15.06.2011

MEIER, C., BÖHMER, J., ROLAUFFS, P. und HERING, D. (2006b): Kurzdarstellungen „Bewertung Makrozoobenthos“ & „Core Metrics Makrozoobenthos“. <http://www.fliessgewaesserbewertung.de>, Zugriff: 15.06.2011.

NEHRING, S. (2003): Gebietsfremde Arten in den deutschen Gewässern - ein Risiko für die Biodiversität. In: BUNDESMINISTERIUM DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.), Bedrohung der biologischen Vielfalt durch invasive gebietsfremde Arten. Erfassung, Monitoring und Risikoanalyse, 40-51.

NEHRING, S. (2006): Four arguments why so many alien species settle into estuaries, with special reference to German river Elbe. *Helgol. Mar. Res.* 60, 127-134.

LUA NRW (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen) (Hrsg.) (2001): Gewässerstrukturgüte in Nordrhein-Westfalen, Anleitung für die Kartierung mittelgroßer bis großer Fließgewässer, Merkblatt Nr. 26, Essen.

ORENDT, C., SCHMITT, C., VAN LIEFFERINGE, C., WOLFRAM, G. und DE DECKERE, E. (2010): Include or exclude? A review on the role and suitability of aquatic invertebrate neozoa as indicators in biological assessment with special respect to fresh and brackish European waters. *Biol. Invasions* 12, 265-283.

ORMEROD, S.J. (2009): Climate change, river conservation and the adaptation challenge. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 19, 609-613.

PÖCKL, M. (1993): Reproductive potential and lifetime potential fecundity of the freshwater amphipods *Gammarus fossarum* and *G. roeseli* in Austrian streams and rivers. *Freshwater Biology* 30, 73-91.

POTTGIEßER, T. und SOMMERHÄUSER, M. (2008): Beschreibung und Bewertung der deutschen Fließgewässertypen – Steckbriefe [http://wiki.flussgebiete.nrw.de/index.php/Steckbriefe\\_Dokumente/\\_Rahmenkonzeption\\_Flie%C3%9Fgew%C3%A4ssertypen](http://wiki.flussgebiete.nrw.de/index.php/Steckbriefe_Dokumente/_Rahmenkonzeption_Flie%C3%9Fgew%C3%A4ssertypen), Zugriff: 23.06.2011.

ROSE, U. (2011): Neobiota in der Erft - Bewertung und Folgerungen. In: PINNEKAMP, P.D.J., (Hrsg.), 44. Essener Tagung für Wasser und Abfallwirtschaft. Zukunftsfähige Wasserwirtschaft kosteneffizient und energiebewusst. Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e.V., Aachen, 65/61-65/66.

SCHÖLL, F. und KÖNIG, B. (2008): Neobiota und Bewertung nach Wasserrahmenrichtlinie. In: DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR LIMNOLOGIE (Hrsg.), Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 2007 (Münster), Werder, 401-406.

SOMMERHÄUSER, M., LEMMEL, S., EBERHARD, T. und MÄHLMANN, S. (2009): Neozoen in der Lippe. *Natur in NRW* 4, 24-28.

TACHET, H., RICHOUX, P., BOURNAUD, M. und USSEGLIO-POLATERA, P. (2000): Invertébrés d'eau douce. Systématique, biologie, écologie. CNRS Editions, Paris.

TITTIZER, T. (2001): Neozoen in mitteleuropäischen Gewässern. In: Gebietsfremde Arten, die Ökologie und der Naturschutz. Dr. Friedrich Pfeil Verlag, München, 59-74.

VAN DEN BOOM, A. (2009): Neozoen im Wuppereinzugsgebiet. Natur in NRW 4, 21-23.

**Ansprechpartner**

Jens Hasse  
hasse@fiw.rwth-aachen.de

Birgit Wienert  
wienert@fiw.rwth-aachen.de

**Projektbüro *dynaklim***

Kronprinzenstraße 9  
45128 Essen

Tel.: +49 (0)201 104-33 39

***www.dynaklim.de***