

Zur Rolle von Schiffen als Vektoren beim Faunenaustausch Rhein/Main/Main-Donau-Kanal/Donau

Ships as vectors in the faunal exchange Rhine/Main/Main-Danube-Canal/Danube

von Marc Reinhold und Thomas Tittizer

DK 591.91(282.243.147/7)

Von April bis Oktober 1996 wurden im Hafen Nürnberg und in der Güterlande Dietfurt 45 den Main-Donau-Kanal befahrende Schiffe hinsichtlich ihrer Makrozoenbesiedlung untersucht. 44 Taxa, darunter zwei Neozoen für das Rhein/Main-Gebiet, drei Neozoen für den Main-Donau-Kanal und ein Neusiedler für das Altmühl/Donau-Gebiet, wurden an Außenwänden und in Kühlwasserfiltern, nicht aber im Ballastwasser, gefunden. 23 dieser Benthostaxa konnten nicht an der jeweiligen Kaimauer nachgewiesen werden. Somit muß eine Verschleppung dieser Makrozoen durch die untersuchten Schiffe angenommen werden. Auch ein Großteil der übrigen an Schiffen gefundenen Tiere ist vermutlich durch diese verschleppt worden. Schiffe sind demnach als Vektoren am Faunenaustausch Rhein/Main/Main-Donau-Kanal/Donau beteiligt.

From April to October 1996, 45 ships plying the Main-Danube Canal were examined in the harbour of Nürnberg and in the goods wharf of Dietfurt with regard to macrozoobenthos colonization. A total of 44 taxa including two alien species (neozoa) for the Rhine/Main area, three neozoa for the Main-Danube Canal, and one alien species for the Altmühl/Danube area were found on outer hulls and in cooling water filters, but not in ballast water. Of these benthostaxa 23 species could not be found on the embankments in question. Thus, it must be assumed that these macroinvertebrates were transported by the ships. Most of the other invertebrates have presumably also been transported by the examined ships. Ships thus act as vectors in the faunal exchange Rhine/Main/Main-Danube Canal/Danube.

1 Einleitung

In jüngster Zeit wird in den Flußsystemen Rhein/Main und Altmühl/Donau das Auftreten neuer, bis dahin nur in dem jeweils anderen hydrographischen Einzugsgebiet nachgewiesener Makrozoobenthosarten beobachtet. Es findet ein sogenannter Faunenaustausch statt, für den u. a. auch der 1992 eröffnete Main-Donau-Kanal als Ausbreitungsweg in Frage kommt (TITTIZER et al. 1993). Die Ausbreitung der Makroinvertebraten über den Main-Donau-Kanal kann autochor durch aktive Wanderung oder allochor, z. B. anthropochor durch menschliches Handeln, zoochor durch Verschleppung an Füßen, in Gefieder und Darmtrakt (Dauerstadien) von Vögeln oder an Flossen bzw. in Kiemen von Fischen, hydro-

chor durch Verdriftung bei Hochwasserereignissen, erfolgen. Als eine Möglichkeit anthropochorer Ausbreitung von Tieren (und Pflanzen) kommt die Verschleppung durch Schiffe in Betracht (JAZDZEWSKI 1980, HARTOG DEN et al. 1992, MEURS & ZAUKE 1996, TITTIZER 1996).

Während der aus menschlicher Sicht unbeabsichtigte Faunen- und Florentransport im Ballastwasser sowie an Außenbordwänden von Seeschiffen mehrfach Gegenstand der Forschung war (CARLTON 1985, HALLEGRAEF & BOLCH 1992, DAMMER & GOLLASCH 1995), sind Untersuchungen an Binnenschiffen bislang nicht bekannt. Ziel der vorliegenden Studie war es daher, anhand faunistischer Erhebungen an Schiffen im Main-Donau-Kanal Aufschluß über deren Rolle als Vektoren für den Faunenaustausch zu erhalten.

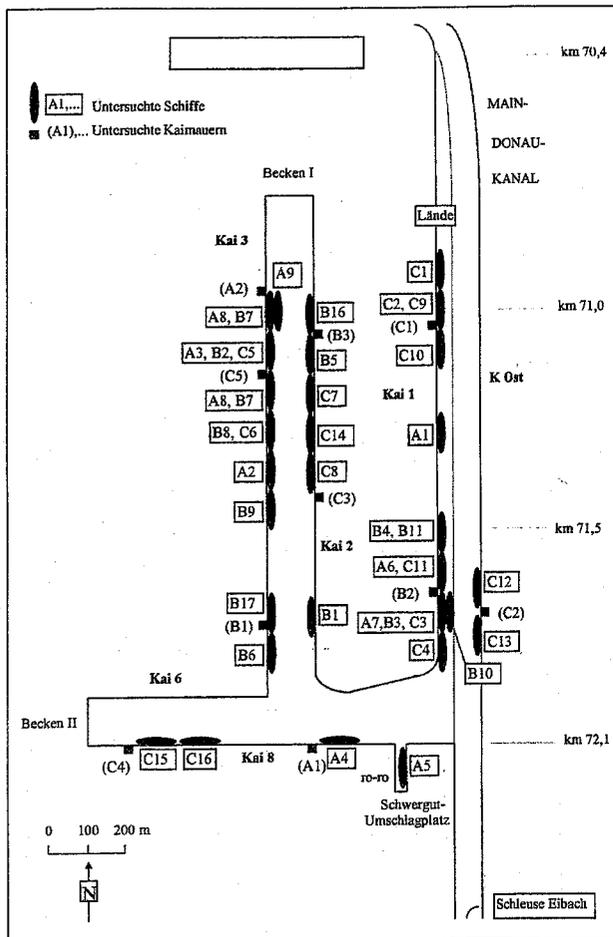


Abb. 1 Staatshafen Nürnberg mit Untersuchungsstellen
State harbour of Nürnberg with sampling stations

2 Untersuchungsgebiet

2.1 Main-Donau-Kanal

Der Main-Donau-Kanal zwischen Bamberg (Main-km 384; 230,8 m ü NN) und Kehlheim (Donau-km 241; 338,2 m ü NN) ist 171 km lang, 55 m breit und 4 m tief (RMD 1990, TITZNER & BANNING 1992, TITZNER 1996). Infolge der durchbrochenen Rhein-Donau-Wasserscheide handelt es sich um einen Scheitelkanal mit 11 Staustufen nördlich und 5 Staustufen südlich der Scheitelhaltung (MDK-km 99,1-115,6; 406,0 m ü NN).

Das Kanalbett ist von Bamberg (MDK-km 0) bis zur Einmündung in die Altmühl (MDK-km 135,3) überwiegend gedichtet und zwar mit Asphaltbeton und in kleineren Abschnitten mit Hydraton (TITZNER & BANNING 1992). In den gedichteten Bereichen fehlt – Gegensatz zur Südseite im unteren Altmühlal – der Kontakt zum Grundwasser. Die Ufer der zur Schifffahrtsstraße ausgebauten unteren Altmühl sind durch Bruchsteinschüttungen gesichert. Nördlich von Dietfurt wurden ergänzend Betonmauern und Asphaltverguß zur Uferbefestigung verwendet.

2.2 Staatshafen Nürnberg

Bei dem 1972 eröffneten Staatshafen Nürnberg (MDK-km 70,41–72,12; 312,5 m ü NN) handelt es sich um einen auf der Westseite des Main-Donau-Kanals gelegenen Stichhafen mit einem Parallelbecken (Abb. 1).

Kaimauern und Beckensohlen bestehen aus Beton, Sediment wird lediglich zu beiden Seiten des Kanals vor Kai 1 und vor Kai Ost (ausschließlich Liegeplätze) abgelagert. Pflanzenbewuchs fehlt an sämtlichen Liegeplätzen. Durch eine leichte Strömung macht sich

an Kai 1, Kai 8 und Kai Ost die Sogwirkung der südlich des Hafens gelegenen Schleuse Eibach (MDK-km 73,0) bemerkbar. An folgenden Stellen wurden Untersuchungen durchgeführt (Abb. 1):

- Kai 1: 14 Schiffsaußenwände, 1 Kühlwasserfilter-Paar, 1 Ballastwassertank, 2 Kaimauern (km 71,0 und 71,8)
- Kai 2: 6 Schiffsaußenwände, 2 Kühlwasserfilter-Paare, 2 Kaimauern (km 71,1 und 71,4)
- Kai 3: 12 Schiffsaußenwände, 1 Kühlwasserfilter-Paar, 3 Kaimauern (km 71,0, 71,2 und 71,8)
- Kai 8: 4 Schiffsaußenwände, 1 Kühlwasserfilter-Paar, 2 Kaimauern (km 72,1)
- Kai Ost: 2 Schiffsaußenwände, 1 Kaimauer (km 71,8)

2.3 Güterlande Dietfurt

Die Güterlande Dietfurt (MDK-km 137,20-137,40; 355,0 m ü NN) bildet zusammen mit der sich südlich anschließenden Wendestelle (300 m Durchmesser) einen Parallelhafen auf der Ostseite des Main-Donau-Kanals (Abb. 2). Im Gegensatz zum Staatshafen Nürnberg befindet sie sich südlich der Scheitelhaltung und ist erst seit der Kanalfertigstellung für die Schifffahrt nutzbar.

Die Kaimauer besteht aus mit Wassermoosen bewachsenem Beton. Bis MDK-km 137,10 schließt sich eine Stahlspundwand mit spärlichem Algenbewuchs an. Das Ufer an der Wendestelle wie auch am nördlichen Hafenende ist durch Bruchsteine gesichert. Die Sohle der Altmühl ist im durch geringe Fließgeschwindigkeit gekennzeichneten Hafenbereich wenig strukturiert. Von vereinzelt zu findenden Steinen (Grob- und Mittelstein) abgesehen ist sie sandig-schluffig.

Im Bereich der Lände wurden folgende Stellen untersucht (Abb. 2): 7 Schiffsaußenwände, 3 Kaimauer (km 137,2).

3 Methodik

In den Zeiträumen 21.–23. April 1996, 7.–11. Juli 1996 und 7.–10. Oktober 1996 fanden qualitative und quantitative faunistische Erhebungen an Schiffen im Staatshafen Nürnberg und im Bereich der Güterlande Dietfurt statt.

Nicht ausgeschlossen werden kann, daß an Schiffen nachgewiesene Makrozoen nicht verschleppt wurden, sondern aus dem jeweiligen Untersuchungsbereich stammen. Daher wurden quantitative Referenzuntersuchungen an Kaimauern durchgeführt.

3.1 Untersuchung von Schiffsaußenwänden

Verwendet wurden für die Untersuchung von Schiffsaußenwänden ein Pfahlkratzer mit Bürste der Firma Hydrobios, Kiel, sowie bei durch Bewuchs hervorgerufenem Widerstand ein Pfahlkratzer mit Schabeleiste desselben Herstellers. Der Pfahlkratzer wurde pro Schiff 10 mal auf einer Länge von 150 cm an der Außenbordwand entlang bis zur Wasserlinie nach oben gezogen.

An 13 Schiffen wurde der Schiffsrumpf zusätzlich jeweils während zweier Gerätetauchgänge mit Hilfe des stablosen Pfahlkratzers mit Schabeleiste abgeschabt.

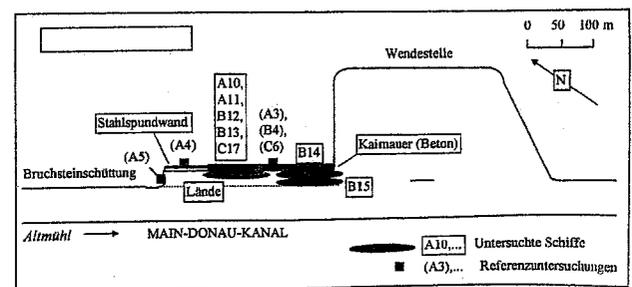


Abb. 2 Güterlande Dietfurt mit Untersuchungsstellen
Goods wharf of Dietfurt with sampling stations



Abb. 3 Kühlwasserfilter-Paar
Pair of cooling water filters

3.2 Untersuchung von Ballastwasser

Führte das untersuchte Schiff Ballastwasser mit sich, so wurde der Pfahlkratzer mit Schabeleiste (s. o.) zunächst an mehreren Stellen der Innenwandung des betreffenden Schiffsraumes entlang und sodann als Dredge an einem Seil über den Boden gezogen.

3.3 Untersuchung von Kühlwasserfiltern

Arbeitende Schiffsmotoren und Lenzpumpen müssen gekühlt werden. Bei der zur Zeit noch häufig verwendeten, indirekten Kühlung wird Rohwasser (Fluß- oder Kanalwasser) über eine Einströmöffnung in der Bordwand in einen Wärmetauscher gepumpt und dort vom warmen Reinwasser eines geschlossenen, die jeweilige Maschine kühlenden, Kreislaufs umspült. Anschließend fließt das nun erwärmte Rohwasser über eine Ausstromöffnung wieder aus dem Schiff heraus. Bevor es den jeweiligen Wärmetauscher erreicht, muß es einen Kühlwasserfilter passieren (pro Schiff folglich zwei Kühlwasserfilter). Dieser besteht aus zwei ineinander gesteckten grobmaschigen Zylindern aus Kunststoff, Messing oder Stahl (Abb. 3). Die Maße waren bei den durchsuchten Schiffen gleich: Außenzylinder mit 25,5 cm Höhe, 13,5 cm Durchmesser und 0,15 cm Maschenweite; Innenzylinder mit 18,5 cm Höhe, 11,5 cm Durchmesser und 0,5 cm Maschenweite. In den Kühlwasserfiltern werden neben Treibsel auch Pflanzenteile und Tiere zurückgehalten.

3.4 Referenzuntersuchungen an Kaimauern

Bei den quantitativen Referenzuntersuchungen an Kaimauern wurde der Pfahlkratzer mit Schabeleiste (s. o.) jeweils zweimal aus einer Wassertiefe von 250 cm an der Betonwand entlang nach oben gezogen. Es ergab sich eine bearbeitete Fläche von 0,75 m².

Alle Proben einer Außenwand-, Ballastwasser-, Kühlwasserfilter- oder Kaimaueruntersuchung wurden zusammen vor Ort in 80%igem Ethanol konserviert und anschließend im Labor determiniert und gezählt.

4 Ergebnisse

In der Zeit vom 21. April bis 10. Oktober 1996 wurden im Staatshafen Nürnberg und im Bereich der Güterlande Dietfurt insgesamt 45 Schiffsaußenwände, fünf Kühlwasserfilter-Paare, ein Ballastwassertank und sechs Kaimauern auf ihre Besiedlung durch Makroinvertebraten untersucht. 60 Arten und höhere Taxa konnten hierbei nachgewiesen werden (Tabelle).

Tabelle

Faunistische Besiedlung von Schiffen und Kaimauern im Staatshafen Nürnberg und im Bereich der Güterlande Dietfurt, drei Untersuchungsperioden: 21.–23. April 1996, 7.–11. Juli 1996 und 7.–10. Oktober 1996

Faunistic colonization of ships and quay walls in the state harbour of Nürnberg and in the area of the goods wharf of Dietfurt, investigations from 21 to 23 April 1996, from 7 to 11 July 1996, and from 7 to 7 October 1996

AW: Schiffsaußenwand; BW: Ballastwasser; KM: Kaimauer (Beton); KWF: Kühlwasserfilter; 1,2,3,8, O (Ost): Kai-Nr. Staatshafen Nürnberg; L: Güterlande Dietfurt; N: Neozoen; -: nicht an der Referenzmauer nachgewiesene Arten.

Mittlere Besiedlungsdichte: a) AW, BW, KWF [Ind./Untersuchung]; b) KM [Ind./m²].

| Untersuchungsstelle Taxon | | AW | BW | KWF | KM |
|-------------------------------------|---|-------------|----|-------|-------------|
| LAMELLIBRANCHIATA (MUSCHELN) | | | | | |
| Dreissena polymorpha | N | 1,2,3,8 | - | 1,2 | 1,2,3,8,O,L |
| Pisidium sp. | | - | - | 1 | - |
| Sphaerium corneum (L.) | | - | - | 1,8 | - |
| OLIGOCHAETA (WENIGBORSTER) | | | | | |
| Oligochaeta n. det. | | 1,2,3,L | - | 8 | 1,2,3,8,O,L |
| Stylaria lacustris (L.) | | 1,2,3 | - | - | 1,2,3,8,O,L |
| HIRUDINEA (EGEL) | | | | | |
| Erpobdella octoculata (L.) | | - | - | 2 | - |
| Erpobdella sp. | | - | - | - | L |
| ACARINA (MILBEN) | | | | | |
| Hydracarina n. det. | | 1,2,3 | - | - | 3,8 |
| CRUSTACEA (KREBSE) | | | | | |
| Asellus aquaticus (L.) | | - | - | 2 | - |
| Atyaephyra desmarestii (MILLET.) | | 1,L | - | 1 | 8,L |
| Chaetogammarus ischnus STEBBING | N | 1 | - | - | 1,2,O,L |
| Corophium curvispinum SARS | N | 1,2,3,8,O,L | - | 1,8 | 1,2,3,8,O,L |
| Dikerogammarus haemobaphes (EICHW.) | N | 1,2 | - | 1,2 | 1,2,8,O |
| Dikerogammarus villosus SOVINSKI | | 1 | - | 1,2,8 | 1,O,L |
| Gammaridae n. det. | | - | - | 2 | - |
| Gammarus pulex (L.) | | 3 | - | 2 | - |
| Gammarus roeseli (GERVAIS) | | 2,L | - | 2 | L |
| Gammarus sp. | | 1 | - | - | 3 |
| EPHEMEROPTERA (EINTAGSFLIEGEN) | | | | | |
| Baetis fuscatus (L.) | | L | - | - | L |
| Baetis sp. | | L | - | - | - |
| Baetidae n. det. | | - | - | - | L |
| Caenis horaria (L.) | | 1 | - | - | 1,2,3,8,O |
| Caenis luctuosa BURMEISTER | | 1,8,O | - | 1 | 1,2,3,8,O,L |
| Caenis rivulorum EATON | | - | - | 2 | - |
| Caenis robusta (EATON) | | - | - | - | 2,O |
| Cloeon dipterum (L.) | | L | - | - | - |
| Heptagenia flava ROSTOCK | | L | - | 2 | - |
| Potamanthus luteus L. | | L | - | 2 | - |
| Procladius bifidum BENGTSSON | | 1 | - | - | 1 |
| HETEROPTERA (WANZEN) | | | | | |
| Aphelocheirus aestivalis FABRICIUS | | - | - | 8 | - |
| Corixidae n. det. | | 2,L | - | - | 1 |
| Micronecta minutissima L. | | L | - | - | L |
| COLEOPTERA (KÄFER) | | | | | |
| Limnius sp. | | L | - | - | - |
| Orectochilus villosus P. MÜLLER | | L | - | - | L |
| Riolus sp. | | - | - | - | L |
| TRICHOPTERA (KÖCHERFLIEGEN) | | | | | |
| Cynurus sp. | | O | - | - | L |
| Cynurus trimaculatus CURTIS | | - | - | - | L |
| Ecnomus tenellus (RAMBUR) | | 1,3 | - | - | 1,2,3,8,O,L |
| Hydroptilidae n. det. | | - | - | - | 1,2,8 |
| Hydroptila sp. | | - | - | - | 1,L |
| Psychomyia pusilla (FABRICIUS) | | 1 | - | - | - |
| Tinodes waeneri L. | | 1,2,L | - | - | 1,L |
| DIPTERA (ZWEIFLÜGLER) | | | | | |
| Ceratopogonidae n. det. | | - | - | - | L |
| Chironomidae n. det. | | 1,2,3,8,O,L | - | 1,2,8 | 1,2,3,8,O,L |
| Empididae n. det. | | 3 | - | - | 3,L |
| Limoniidae n. det. | | - | - | - | L |
| Psychodidae n. det. | | - | - | - | L |
| Tipulidae n. det. | | - | - | - | L |
| HYDROZOA (NESSELTIERE) | | | | | |
| Cordylophora caspia PALLAS | N | - | - | - | 1,O |
| Hydra sp. | | 1,2,3,8 | - | 1,2,8 | 1,2,3,8,O |
| SPONGILLIDAE (SCHWÄMME) | | | | | |
| Spongilla sp. | | - | - | - | 1,2,8,O |
| BRYOZOA (MOOSTIERCHEN) | | | | | |
| Cristatella mucedo CUVIER | | - | - | 2,3 | O,L |
| Fredericella sultana (BLUMENBACH) | | 3 | - | - | 1,L |
| Hyalinella punctata (HANCOCK) | | - | - | - | 1,8,L |
| Plumatella casmiana OKA | | 1,3,L | - | - | 2,3,O,L |
| Plumatella emarginata ALLMAN | | 3 | - | 2 | 2,O,L |
| Plumatella fruticosa ALLMAN | | 2 | - | - | 2,3,O,L |
| Plumatella repens (L.) | | - | - | - | 8,L |
| Plumatella sp. | | 1,3 | - | - | 1,O,L |
| Anzahl der Untersuchungen | | 45 | 1 | 5 | 13 |
| Anzahl der Taxa | | 36 | 0 | 21 | 45 |
| Mittlere Besiedlungsdichte | | 49 | 0 | 26 | 832 |
| Min.-Max. Besiedlungsdichte | | 0-544 | 0 | 0-67 | 251-2032 |

Die an Schiffsaußenwänden gefundenen Makroinvertebraten gehörten 36 verschiedenen Taxa an (Tabelle). Darunter befanden sich auch sechs Neozoen: *Dreissena polymorpha*, *Atyaephyra desmarestii*, *Chaetogammarus ischnus*, *Corophium curvispinum*, *Dikerogammarus haemobaphes* und *Dikerogammarus villosus*. Im Mittel wurde jedes Schiff von 49 Individuen/Schiffsuntersuchung besiedelt.

Nur eines von 45 untersuchten Schiffen fuhr, von der Donau kommend, leer mit 15 m³ Ballastwasser. In den dem speziellen Ballastwassertank entnommenen Pfahlkratzer- bzw. Dredgenproben befanden sich jedoch weder Sediment noch Makrozoen, lediglich einige Copepoden.

In den Kühlwasserfiltern wurden hingegen 21 Taxa nachgewiesen, darunter fünf Neozoen: *Dreissena polymorpha*, *Atyaephyra desmarestii*, *Corophium curvispinum*, *Dikerogammarus haemobaphes* und *Dikerogammarus villosus*. Es wurden bis zu 67 Individuen pro Filter-Paar zurückgehalten. Der Minimalwert von 0 Individuen ist darauf zurückzuführen, daß sich bei einem Schiff nur tote Tiere in den Innenzylindern befanden.

Sowohl die höchste Besiedlungsdichte von durchschnittlich 832 Ind./m² als auch mit 45 die meisten Taxa wurden an den Kaimauern vorgefunden. Sieben Neozoen besiedelten die Betonwände: *Dreissena polymorpha*, *Atyaephyra desmarestii*, *Chaetogammarus ischnus*, *Corophium curvispinum*, *Dikerogammarus haemobaphes*, *Dikerogammarus villosus* und *Cordylophora caspia*.

Folgende 13 Arten bzw. Taxa des Makrozoobenthos wurden an Schiffsaußenwänden gefunden, nicht aber bei Referenzuntersuchungen an den jeweiligen Kaimauern (Tabelle): *Hydracarina* vor Kai 1 und 2 (Nürnberg); *Atyaephyra desmarestii*, *Psychomyia pusilla* und *Statoblasten* von *Plumatella casmiana* vor Kai 1 (Nürnberg); *Gammarus roeseli*, *Corixidae* n.det. und *Tinodes waeneri* vor Kai 2 (Nürnberg); *Cloeon dipterum*, *Potamanthus luteus* und *Limnius* sp. vor Lände (Dietfurt/A.); *Cyrnus* sp. vor Kai Ost (Nürnberg); *Statoblasten* von *Fredericella sultana* und *Plumatella emarginata* vor Kai 3 (Nürnberg).

Größtenteils nur in Kühlwasserfiltern und nie an den betreffenden Referenzmauern konnten folgende 13 Makrozoentaxa nachgewiesen werden: *Pisidium* sp., *Sphaerium comeum* und *Atyaephyra desmarestii* vor Kai 1 (Nürnberg); *Erypodella octoculata* und *Asellus aquaticus* vor Kai 2 (Nürnberg); *Dikerogammarus villosus* vor Kai 2 und 8 (Nürnberg); *Gammarus pulex*, *Gammarus roeseli*, *Caenis rivulorum*, *Heptagenia flava* und *Potamanthus luteus* vor Kai 2 (Nürnberg); *Aphelocheirus aestivalis* vor Kai 8 (Nürnberg); *Statoblasten* von *Cristatella mucedo* vor Kai 2 und 3 (Nürnberg).

An den Außenbordwänden der untersuchten Schiffe dominierten die Chironomidae mit 86%. In verhältnismäßig hoher Dichte von bis zu 516 Ind./Untersuchung wurden sie allerdings nur gefunden, wenn die Schiffswand kurz unter der Wasserlinie von Cladophorales (Fadenalgen) bewachsen war, in denen sich wiederum Schwebstoffe verfangen hatten. Mit 7% folgten die subdominanten Crustacea. Hier ist insbesondere der euryhaline, aus dem pontokaspischen Raum stammende Schlickkrebse *Corophium curvispinum* zu nennen, ein aktiver Filtrierer, der mit Hilfe eines Webdrüsensekrets in der Lage ist, aus Schwebstoffen Röhren zu bauen (RUSSEV 1992) und dies selbst an den glatten Stahlwänden von Schiffen. Rezedente taxonomische Gruppen waren die Ephemeroptera (2%), überwiegend mit der Epipotamalart *Caenis luctuosa* vertreten, die Trichoptera (1%), die Oligochaeta (1%) und die Acarina (1%). Darüber hinaus waren vereinzelt auch Individuen der Dreikantmuschel *Dreissena polymorpha*, des Süßwasserpolypen *Hydra* sp. sowie Statoblasten verschiedener Moostierchenarten (Bryozoa) auf Schiffsaußenwänden festgeheftet bzw. in deren Bewuchs zu finden.

In den untersuchten Kühlwasserfiltern wurden zu 61% Crustacea zurückgehalten. Regelmäßig in den Zylindern enthalten war *Dikerogammarus villosus*, ein euryöker und wie viele andere Neozoen aus der Pontokaspis stammender Amphipode. Die zweithäufigste

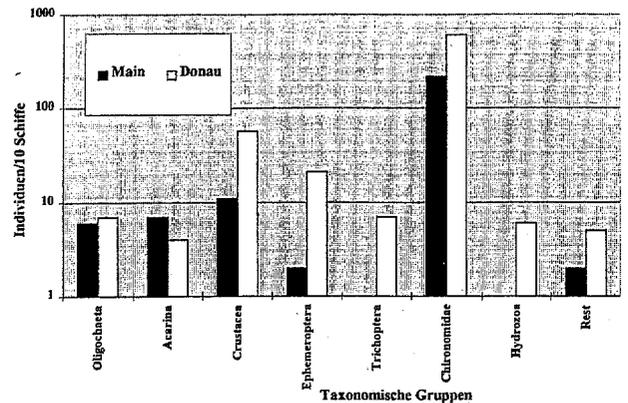


Abb. 4 Mittlere Abundanzen der wichtigsten taxonomischen Gruppen (Makrozoobenthos) im Staatshafen Nürnberg und im Bereich der Güterlande Dietfurt, Untersuchungen an Außenwänden aus Richtung Main bzw. Donau kommender Schiffe in den Zeiträumen 21.-23.04.1996, 07.-11.07.1996 und 07.-10.10.1996

Mean abundances of the most important taxonomic groups (macrozoobenthos) in the state harbour of Nürnberg and in the region of the goods wharf of Dietfurt, investigations on hulls of ships coming from the river Main respectively the river Danube from 21 to 23 April 1996, from 7 to 11 July 1996, and from 7 to 7 October 1996

taxonomische Gruppe stellten mit 17% die Chironomidae dar. 7% betrug der Anteil der lebenden Lamellibranchiata. Zahlreiche Muschelschalen auch anderer als in der Tabelle aufgeführter Arten wie *Bithynia tentaculata* oder *Corbicula fluminea* waren neben Treibsel und Pflanzenresten die Hauptursache für eine Behinderung der Kühlwasserzufuhr. Ephemeroptera, Hydrozoa und Oligochaeta waren zu jeweils 5% bzw. 4% in den Kühlwasserfiltern vertreten, Hirudinea, Heteroptera und Bryozoa-Statoblasten zu insgesamt 1%.

Dreikantmuscheln prägten die Besiedlungshabitate und mit 45% Anteil auch die Lebensgemeinschaft an den untersuchten Kaimauern. Auf, in (leere Schalen) und zwischen ihnen fanden die übrigen Makrozoen, z. B. die Chironomidae (23%), eine geeignetere Habitatstruktur vor als an der ursprünglich glatten Betonwand (TITTIZER & BANNING 1992). Bei der mit 18% drittgrößten taxonomischen Gruppe, den Crustacea, handelte es sich hauptsächlich um Schlickkrebse. *Corophium curvispinum*, r-Strategie und Nahrungskonkurrent von *Dreissena polymorpha* (VAN DEN BRINK et al. 1993), baute auf den Muschelschalen seine Schlammröhren. Ähnlich wie bei den Schiffsuntersuchungen kamen Trichoptera (4%), Hydrozoa (3%) und Ephemeroptera (2%) als subdominante bzw. rezedente Gruppen auch in der Kaimauer-Biozönose vor. Teilweise waren Muschelschalen oder Betonflächen vom Süßwasserschwamm *Spongilla* sp. überzogen. Seltener waren Moostierchenkolonien zu finden, um so häufiger jedoch einzelne Statoblasten von insgesamt sieben determinierten Arten.

22 Schiffe hatten vor ihrer Untersuchung den Main, 23 die Donau befahren. In Abb. 4 ist die Zusammensetzung der sie besiedelnden Makrofauna vergleichend dargestellt.

Die Außenbordwände der aus Richtung Donau kommenden Schiffe waren mit 71 Ind./Schiffsuntersuchung (gemittelt) fast dreimal so stark besiedelt wie die der Mainfahrer mit durchschnittlich 25 Ind./Untersuchung (Abb. 4). Insgesamt 33 Taxa, darunter sechs Neozoen (*Dreissena polymorpha*, *Atyaephyra desmarestii*, *Chaetogammarus ischnus*, *Corophium curvispinum*, *Dikerogammarus haemobaphes*, *Dikerogammarus villosus*), wurden an Donau- und lediglich 16 Taxa, darunter vier Neozoen (*Dreissena polymorpha*, *Atyaephyra desmarestii*, *Corophium curvispinum*, *Dikerogammarus haemobaphes*), an Mainschiffen nachgewiesen. Hinsichtlich der relativen Häufigkeit taxonomischer Gruppen war die Zusammensetzung der Makrofauna ähnlich.

Abb. 5 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen der Besiedlungsdichte an Schiffsaußenwänden und dem Vorhandensein bzw. Fehlen eines intakten Schutzanstriches. Letzteres kommt auch bei einigen Gütermotorschiffen vor, wurde aber zu 83% bei Schublechtern festgestellt, was sich in Abb. 5 widerspiegelt.

Zwar wird für den Außenanstrich von Binnenschiffen im Gegensatz zur Seeschifffahrt nicht das Biozid Tributylzinn (TBT) (SCHULTE-OEHLMANN et al. 1996) verwendet, trotzdem behindert ein üblicherweise teerhaltiger Farbanstrich offensichtlich nicht nur die Korrosion, sondern durch Glättung der Oberfläche auch die Ansiedlung von Makrozoen (Abb. 5). Während Schiffsaußenwände ohne bzw. mit altem, rissigem Schutzanstrich von durchschnittlich 106 Ind./Schiffsuntersuchung besiedelt wurden, waren es bei Schiffsaußenwänden mit intaktem, glattem Anstrich (zu 90% Gütermotorschiffe) lediglich 11 Ind./Untersuchung. Ähnlich sah die Relation bei Schublechtern und Gütermotorschiffen aus: 97 zu 25 Ind./Schiffsuntersuchung.

5 Diskussion

Im marinen Bereich wurde der Nachweis für eine Verschleppung von Organismen durch Schiffe bereits mehrfach erbracht (CARLTON 1985, HALLEGRAEF & BOLCH 1992, DAMMER & GOLLASCH 1995). DAMMER & GOLLASCH (1995) fanden beispielsweise im Ballastwasser und an Außenbordwänden von 275 eingedockten Seeschiffen 135 Makrozoenarten.

Analog zu den Untersuchungen transozeanischen Faunentransports stand bei den faunistischen Erhebungen im Main-Donau-Kanal die Frage im Vordergrund, ob sich unter den evtl. an Schiffen nachweisbaren Arten auch Neozoen befinden. Zur Massenentwicklung neigende, konkurrenzstarke Neusiedler können sich, wenn sie geeignete Habitate vorfinden, in der Biozönose etablieren und die autochthone Gewässerfauna zurückdrängen (TITTIZER 1996). Dieses ist aber häufig nur dann der Fall, wenn letztere durch andere äußere Einflüsse bereits geschwächt sind (MEURS & ZAUKE 1996).

Auf dem Main-Donau-Kanal fahren Schiffe lediglich in Ausnahmefällen mit Ballastwasser. Somit spielt der Transport von Makrozoen im Ballastwasser für den Faunenaustausch vermutlich nur eine untergeordnete Rolle.

Die Beobachtung, daß 13 Makroinvertebratentaxa, darunter der Neusiedler *Atyaephyra desmarestii*, zwar an Schiffsaußenwänden, nicht aber an der jeweiligen Referenzmauer im Staatshafen Nürnberg bzw. im Bereich der Güterlande Dietfurt gefunden wurden,

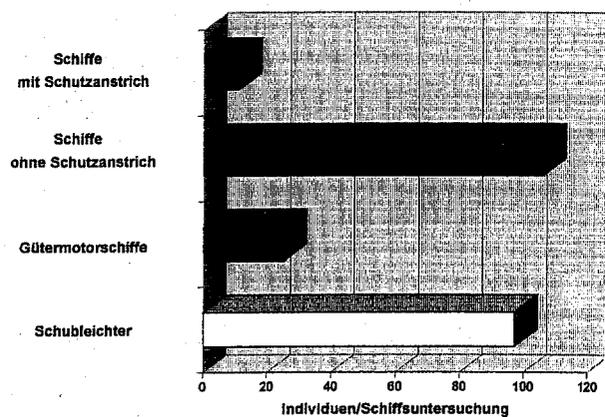


Abb. 5 Mittlere Besiedlungsdichte (Makrozoobenthos) an Außenwänden von Schiffen mit und ohne Schutzanstrich bzw. Gütermotorschiffen und Schublechtern, drei Untersuchungsperioden: 21.-23.04.1996, 07.-11.07.1996 und 07.-10.10.1996

Mean colonization density (macrozoobenthos) on hulls of ships with or without protective coating, and push tugs and barges, investigations from 21 to 23 April 1996, from 7 to 11 July 1996, and from 7 to 7 October 1996

spricht dafür, daß zumindest die zu diesen Taxa gehörenden Individuen durch die betreffenden Schiffe verschleppt wurden. Ein direkter Nachweis für eine Verschleppung ist dieses allerdings nicht. Theoretisch müßten sich vom Main in den Donaauraum vordringende Neozoen an Schiffen befinden, die den Kanal über den Main erreicht haben. Von den sechs an Schiffen nachgewiesenen Neozoenarten ist lediglich *Atyaephyra desmarestii* aus Richtung Main in den Kanal eingewandert (TITTIZER 1996). Obwohl die Süßwassergarnele bislang in der Donau nicht bekannt ist, wurde sie sowohl nördlich als auch südlich der Scheitelhaltung nicht nur an Main- sondern auch an Donauschiffen gefunden. Seit dem Erstnachweis im Main-Donau-Kanal 1994 (TITTIZER et al. 1995) hat sich diese Krebsart jedoch nach Süden bis in die untere Altmühl ausgebreitet (vgl. Tabelle). Das erklärt auf der einen Seite die Funde an Donauschiffen, macht aber auf der anderen Seite deutlich, daß an dieser Stelle über Verlauf und Dauer einer Verschleppung keine Aussagen getroffen werden können. Auch der aus der Donau stammende *Dikerogammarus haemobaphes* besiedelte wie die aus beiden Richtungen vordringenden *Dreissena polymorpha* und *Corophium curvispinum* sowohl Donau- als auch Mainschiffe. Lediglich *Chaetogammarus ischnus* und *Dikerogammarus villosus*, beides sich über die Donau verbreitende pontokaspische Faunenelemente, wurden ausschließlich an Schiffsaußenwänden von Donaufahrern vorgefunden.

Folgende Faktoren scheinen eine Besiedlung der Außenhaut von Schiffen und damit einen vermuteten Faunentransport positiv oder negativ zu beeinflussen:

– Herkunft der Schiffe

Aus Richtung Donau kommende Schiffe wiesen doppelt so viele Makrozoentaxa und fast die dreifache Anzahl (gemittelt) an Individuen/Schiffsuntersuchung auf wie Mainfahrer. Dieses hing offensichtlich mit dem auf positive Weise habitatverändernden Algenbewuchs zusammen, der nur bei Donauschiffen anzutreffen war. Da alle Schubleichter von der Donau kamen, ist dieses auch in Verbindung mit dem bei 74% der Donauschiffe fehlenden bzw. alten Schutzanstrich zu sehen.

– Schutzanstrich

Schiffsaußenwände mit intaktem, glattem Teeranstrich als Korrosionsschutz waren um den Faktor 9,6 geringer besiedelt als Außenwände ohne bzw. mit altem, rissigem Farbanstrich. Sowohl Fadenalgen als auch – häufig in deren Gefolge – Makrozoen konnten sich offenbar auf rauher Oberfläche leichter ansiedeln als auf glatter.

– Jahreszeit

Ebenfalls in Zusammenhang mit der Algenentwicklung, der damit einhergehenden Erhöhung der Oberflächenrauigkeit sowie der Steigerung des Nahrungsangebotes ist die Beobachtung zu sehen, daß mit durchschnittlich 49 Ind./Schiffsuntersuchung im Sommer siebenmal mehr Makroinvertebraten die Schiffsaußenwände besiedelten als im Frühjahr.

Keine bzw. keine eindeutig erkennbare Rolle spielten in bezug auf die faunistische Besiedlung von Schiffsaußenwänden die Liegezeit der Schiffe im Untersuchungsbereich, durch Schiffsmotoren erzeugte Turbulenzen oder Schiffsabmessungen. Ein Zusammenhang mit dem Tiefgang besteht lediglich insofern, als bei Leerfahrten Aufwuchsalgen und Makroinvertebraten oberhalb der Wasserlinie trockenfallen und teilweise absterben. Im übrigen war das Makrozoen- wie das Fadenalgenvorkommen ohnehin größtenteils auf die lichtexponierte Zone direkt unterhalb der Wasserlinie beschränkt.

In den fünf untersuchten Kühlwasserfilter-Paaren wurden Vertreter von sieben Makrozoobenthosarten gefunden, die in sämtlichen anderen Proben fehlten: *Pisidium sp.*, *Sphaerium corneum*, *Erbopdella octoculata*, *Asellus aquaticus*, *Caenis rivulorum*, *Heptagenia flava* und *Aphelocheirus aestivalis*. Sechs weitere Arten wurden zwar in Kühlwasserfiltern, nicht aber bei den Referenzuntersuchungen an der jeweiligen Kaimauer nachgewiesen. Auch hier

kann nicht mit hundertprozentiger Sicherheit ausgeschlossen werden, daß die in den Filtern vorgefundenen Makroinvertebraten nicht erst im Untersuchungsbereich in das Kühlleitungssystem gesogen wurden. Die oben genannten Funde scheinen jedoch die Vermutung einer Verschleppung von Makroorganismen in Kühlwasserfiltern von Binnenschiffen zu bestätigen. Die Anzahl der in den Filtern befindlichen lebenden Makroinvertebraten hängt höchstwahrscheinlich von folgenden Faktoren ab:

- Aufenthaltsdauer der Tiere in den Filtern, in diesem Zusammenhang Häufigkeit des Kühlwasserfilterwechsels;
- Herkunft des Schiffes;
- Durchfluß von Phyto- und Zooplankton sowie sonstigen organischen Partikeln als Nahrungsgrundlage;
- Betriebsdauer der Schiffsmotoren und Lenzpumpen nach dem letzten Filterwechsel; Pump- und Leitungssystem (Mechanik und chemische Eigenschaften).

6 Ausblick

Für eine endgültige Aussage zur Bedeutung von Schiffen als Vektoren für den Faunenaustausch über den Main-Donau-Kanal – auch in quantitativer Hinsicht gegenüber anderen Vektoren, soweit dieses möglich ist – besteht zunächst weiterer Forschungsbedarf. Um die Herkunft der an Schiffsaußenwänden nachgewiesenen Makrozoen aus dem Hafenbereich ausschließen zu können, müßten genetische Vergleiche mit Rhein-/Main- und Donau-Populationen durchgeführt werden.

Zur Klärung der Herkunft sowie der Überlebensdauer von in Kühlwasserfiltern nachgewiesenen Makroinvertebraten bietet sich eine Markierung der Tiere und die anschließende Zurücksetzung in die Filter an.

Zusammenfassung

In jüngster Zeit wird in den Flußsystemen Rhein/Main und Altmühl/Donau das Auftreten neuer, bis dahin nur in dem jeweils anderen hydrographischen Einzugsgebiet nachgewiesener Arten des Makrozoobenthos beobachtet. Es findet ein sogenannter Faunenaustausch statt, für den u. a. auch der 1992 eröffnete Main-Donau-Kanal zwischen Bamberg und Kehlheim als Ausbreitungsweg in Frage kommt. Als eine Möglichkeit anthropochorer Ausbreitung von Makroinvertebraten wird die Verschleppung durch Binnenschiffe angesehen.

Anhand qualitativer und quantitativer faunistischer Erhebungen an 45 den Main-Donau-Kanal befahrenden Schiffen wurde untersucht, welche Makrozoenarten sich an Außenbordwänden, im Ballastwasser und in Kühlwasserfiltern befinden und möglicherweise verschleppt werden. Die Untersuchungen erfolgten in den Zeiträumen 21.–23. April 1996, 7.–11. Juli 1996 und 7.–10. Oktober 1996 im Staatshafen Nürnberg und im Bereich der Güterlande Dietfurt. Verwendet wurde hierzu wie auch bei Referenzuntersuchungen an Kaimauern ein Pfahlkratzer mit Bürste bzw. mit Schabeleiste.

44 Makroinvertebratentaxa, darunter zwei Neozoen für das Rhein/Main-Gebiet, drei Neozoen für den Main-Donau-Kanal und ein Neusiedler für das Altmühl/Donau-Gebiet, wurden an Außenbordwänden und in Kühlwasserfiltern, nicht aber im Ballastwasser, der untersuchten Schiffe gefunden. Auf dem Main-Donau-Kanal fahren Schiffe nur in Ausnahmefällen mit Ballastwasser. Somit spielt dieses als Transportmedium vermutlich nur eine untergeordnete Rolle. Jeweils 13 Benthostaxa konnten an Schiffsaußenwänden und in Kühlwasserfiltern, nicht jedoch bei Referenzuntersuchungen an der jeweiligen Kaimauer nachgewiesen werden. Es hat höchstwahrscheinlich eine Verschleppung dieser Makrozoen durch die untersuchten Schiffe stattgefunden. Auch ein Großteil der übrigen an Schiffen gefundenen Tiere ist vermutlich durch diese verschleppt worden. Schiffe sind demnach als Vektoren am Faunenaustausch Rhein/Main/Main-Donau-Kanal/Donau beteiligt. Eine vergleichsweise hohe Besiedlungsdichte an Schiffsaußen-

wänden scheint an das Vorhandensein von Aufwuchsalgen in Verbindung mit einer Erhöhung der Oberflächenrauigkeit gekoppelt zu sein. Die Ansiedlung von Makroinvertebraten positiv beeinflussende Faktoren sind die Herkunft des Schiffes von der Donau, ein fehlender bzw. alter, rissiger Schutzanstrich sowie eine das Algenwachstum begünstigende Jahreszeit.

Summary

Alien macrozoobenthos species (neozoa) originating from either the hydrographical catchment area of Rhine/Main or Altmühl/Danube have recently been found more and more often in other river system. The assumed dispersal path for this so-called faunal exchange is the Main-Danube Canal inaugurated in 1992 between Bamberg and Kehlheim. In this connection, transport by ships is regarded as one possibility of anthropochory.

The outer hulls, ballast water, and cooling water filters of 45 ships travelling on the Main-Danube Canal were examined qualitatively and quantitatively with regard to colonizing macroinvertebrate species and anthropochory. The investigations were carried out from 21 to 23 April 1996, from 7 to 11 July 1996 and from 7 to 10 October 1996 in the state harbour of Nürnberg and in the region of the goods wharf of Dietfurt. For this as well as for reference investigations on quay walls, a pile-scraper with brush or wire scraping-edge respectively was used.

Altogether 44 macroinvertebrate taxa including two alien species (neozoa) for the Rhine/Main area, three neozoa for the Main-Danube Canal, and one alien species for the Altmühl/Danube area were found on the hulls and in cooling water filters of the investigated ships, but not in ballast water. Ships plying on the Main-Danube Canal carry ballast water only in exceptional cases. So its role as medium of transport is presumably a secondary one. In each case 13 taxa could be found on hulls and in cooling water filters, but not during reference investigations on the quay wall in question. These macroinvertebrates have most probably been transported by the examined ships. This presumably applies to the majority of the other invertebrates found on ships, too. Thus ships act as vectors in the faunal exchange Rhine/Main/Main-Danube Canal/Danube. A comparatively high colonization density on ship hulls seems to correlate with the presence of periphyton connected with an increase of surface-roughness. Factors promoting the colonization of a ship by macroinvertebrates are the origin of the ships from River Danube, lacking or old and cracked protective coating, and a season favourable for algal growth.

Anschrift der Verfasser:

Dipl. Biol. M. Reinhold, Springstraße 5 b, 37077 Göttingen
und Dr. T. Tittizer, Bundesanstalt für Gewässerkunde,
Kaiserin-Augusta-Anlagen 15–17, 56068 Koblenz

Literaturverzeichnis

- BRINK VAN DEN, F. W. B., G. VAN DER FELDE & A. BIJ DE VAATE (1993): Ecological aspects, explosive range extension and impact of a mass invader, *Corophium curvispinum* SARS, 1895 (Crustacea: Amphipoda), in the Lower Rhine (The Netherlands). *Oecologia* 93, S. 224–232
- CARLTON, J. T. (1985): Transoceanic and interoceanic dispersal of coastal marine organisms: The biology of ballast water. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 23, S. 313–371
- DAMMER, M. & S. GOLLASCH (1995): Zur Gefährdung unserer Küstengewässer durch über Ballastwasser und Schiffsbewuchs eingeschleppte Organismen: erste Untersuchungsergebnisse. – *Deutsche Hydrographische Zeitschrift* 2 (Suppl.) S. 141–148
- HALLEGRAEF, G. M. & C. J. BOLCH (1992): Transport of diatom and dinoflagellate resting spores in ships' ballast water: implications for plankton biogeography and aquaculture. – *J. Plankton Res.* 14, H. 8, S. 1067–1084
- HARTOG DEN, C., F. VAN DEN BRINK & G. VAN DER FELDE (1992): Why was the invasion of the river Rhine by *Corophium curvispinum* and *Corbicula species* so successful? – *Journal of Natural History* 26, S. 1121–1129
- JAZDZEWSKI, K. (1980): Range extensions of some gammaridean species in European inland waters caused by human activity. – *Crustaceana* 6 (Suppl.), S. 84–107
- MEURS, H.-G. & G.-P. ZAUKE (1996): Neozoen und andere Makrozoobenthos-Veränderungen. In: LOZAN, J. & H. KAUSCH (Hrsg.): Warnsignale aus Flüssen und Ästuaren, S. 208–213. – Parey, Berlin

RMD (1990): Main-Donau-Wasserstraße. Bericht. – Rhein-Main-Donau AG, München
 Russev, B. (1992): Die Bedeutung des Zoobenthos für die ökologische Vollwertigkeit der Donau. In: KINZELBACH, R. (Hrsg.): Biologie der Donau, S. 295–306. – G. Fischer, Stuttgart (Limnologie aktuell. 2)
 SCHULTE-OEHLMANN, U., E. STOBEN, P. FIORONI & J. OEHLMANN (1996): Beeinträchtigung der Reproduktionsfähigkeit limnischer Vorderkiemerschnecken durch das Biozid Tributylzinn (TBT). In: LOZAN, J. & H. KAUSCH (Hrsg.): Warnsignale aus Flüssen und Ästuaren, S. 249–255. – Parey, Berlin
 TITZNER, T. & M. BANNING (1992): Über den Wert von Schifffahrtskanälen, erläutert am Beispiel des Main-Donau-Kanals. In: FRIEDRICH, G. & J. LACOMBE (Hrsg.): Ökologische Bewertung von Fließgewässern, S. 379–392. G. Fischer, Stuttgart (Limnologie aktuell. 3)
 TITZNER, T., M. BANNING, H. LEUCHS, M. SCHLEUTER & F. SCHÖLL (1993): Faunenaustausch Rhein/Main-Altmain/Donau. – DGL-Jahrestagung, Coburg, S. 383–387

TITZNER, T., M. BANNING & S. POTEI (1995): Die Makroinvertebratenbesiedlung des Main-Donau-Kanals. BfG-Bericht. – Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
 TITZNER, T. (1996 a): Faunenaustausch zwischen Main und Donau über den Main-Donau-Kanal mit besonderer Berücksichtigung der Neozoen. In: Faunen- und Florenveränderungen durch Gewässerausbau – Neozoen und Neophyten. UBA-Texte 74/96, S. 67–75
 TITZNER, T. (1996 b): Vorkommen und Ausbreitung aquatischer Neozoen (Makrozoobenthos) in den Bundeswasserstraßen. In: GEBHARDT, KINZELBACH & SCHMIDT-FISCHER (Hrsg.): Gebietsfremde Tierarten – Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope. Situationsanalyse, S. 49–86. – Ecomed, Landsberg
 TITZNER, T. (1996 c): Vorkommen und Ausbreitung aquatischer Neozoen in den europäischen Wasserstraßen, erläutert am Beispiel des Main-Donau-Kanals. – Tagungsband von der XVIII. Konferenz der Donauländer. TU Graz, Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft 19, H. 2, S. 17–23

Anwendungen der Theorie partiell geordneter Mengen in Bewertungsfragen

Applications of the theory of partially ordered sets to evaluation purposes

von Rainer Brüggemann, Andreas Kaune, Dieter Komossa, Kurt Kreimes, Stefan Pudenz und Kristina Voigt

DK 510.5:574

Für Bewertungen, etwa des Belastungszustands von Landschaftsausschnitten, lassen sich häufig keine kausal begründbare Zielfunktionen angeben. Insbesondere gilt dies dann, wenn es um eine ökologisch orientierte Bewertung geht. Eine Möglichkeit, künstliche Definitionen von Zielfunktionen zu vermeiden und dennoch zu einem übersichtlichen Bild des Belastungszustands zu gelangen, bieten einfachste Elemente der Theorie partiell geordneter Mengen. Die Visualisierung partiell geordneter Mengen führt zu sog. Hasse-Diagrammen, die eine Fülle von Informationen bereitstellen. Für sechzig Regionen Baden-Württembergs wird zur Charakterisierung der Belastung durch Blei, Cadmium, Zink und Schwefel ein modifiziertes Hasse-Diagramm gezeigt. Anhand dieses Diagramms können sechs Regionen identifiziert werden, deren Belastungszustand charakteristisch ist und der von keiner anderen Region übertroffen wird.

In einem weiteren Beispiel erlaubt die Hassediagramm-Technik Hinweise auf verschiedene Ausbreitungsmechanismen je nach betrachteter Matrix: Für Regionen längs des Rheintals folgt der Belastungszustand, erhoben anhand von Konzentrationsmessungen in der Krautschicht, weitgehend der geographischen Reihenfolge rheinabwärts, während für die Baumschicht, mit ausgeprägterem Pfad über die Luft, eine derartige Reihenfolge nicht zu beobachten ist.

For the evaluation of the pollution status of regions often no deterministic quality function can be found, especially when ecological considerations are of main concern. With the help of basic elements of the theory of partially ordered sets sometimes a clear graphic (Hasse diagrams) can be obtained, from which a lot of information can be deduced. Among sixty regions of the German Federal State of Baden-Württemberg there are six which have a characteristic pollution pattern dominated by lead, cadmium, zinc, and sulphur.

Another example shows an application to different mechanisms of pollution dispersal: Regions along the valley of River Rhine in Baden-Württemberg show totally different structures in the Hasse diagrams, on the one hand, when the matrix is given by herbs (resulting in a sequence following roughly the geography downstream) or on the other hand, when the canopy is considered as matrix with the pollution dominantly transported through the air.

1 Einleitung

Sollen Objekte, beispielsweise Chemikalien, Flußabschnitte, Datenbanken oder Regionen bewertet werden, so ist zunächst das Bewertungsziel festzulegen. So sind z. B. Chemikalien nach ihrem Umweltgefährdungspotential, Flußabschnitte und Regionen nach ihrem Belastungsstatus, Datenbanken nach Qualitätszielen für Anwender zu beurteilen (vergl. z. B. KLEIN et al. 1995, BRÜGGEMANN et al. 1994a, BRÜGGEMANN et al. 1994b, MÜNZER et al. 1994, VOIGT & BRÜGGEMANN 1995). Sehr oft sind dabei mehrere Aspekte gleichzeitig zu berücksichtigen, d. h. man hat eine Multikriterienanalyse durchzuführen. Beispielsweise ist die Umweltgefährdung von Chemikalien nicht nur nach ihrer Toxizität gegenüber verschiedenen Spezies zu beurteilen, sondern es ist auch die Bioverfügbarkeit zu berücksichtigen. Der Belastungsstatus von Regionen wird sich nicht an der Konzentration genau eines Schwermetalls messen lassen, sondern man hat mehrere Chemikalien und außerdem die Anreicherung in verschiedenen Matrices zu beachten.

Zu einer Bewertung gehören somit viele Informationen, die sich nicht notwendig ineinander umrechnen lassen. Insbesondere ist dies der Fall, wenn ökosystemare Aspekte zu berücksichtigen sind, für die Informationen bezogen auf

- verschiedene Begriffsebenen,
- die ökologische Vielfalt und
- unterschiedliche Stabilitätsbegriffe (GRIMM et al. 1992) usw. zu verarbeiten sind.

In einem Workshop der Modellierungsgruppe der Helmholtzgemeinschaft (März 1996) wurde vom Erstautor über neuere Arbeiten zur Multikriterienanalyse berichtet.

2 Theorie partiell geordneter Mengen

Wie in den einführenden Bemerkungen erläutert, ist zur Bewertung von Objekten im allgemeinen nicht ein Skalar, etwa gewonnen aus einer Qualitäts- oder Gütefunktion, sondern ein System von mehreren Skalaren zu berücksichtigen. Dieses System, das sich als Reihe in einer Datenmatrix (Objekte: Zeilen, Eigenschaften: Spalten) auffassen läßt, enthält die unterschiedlichen Informationen, die für das Bewertungsziel als bedeutsam erachtet werden. Da von den Eigenschaften eines Vektorraumes nicht Gebrauch gemacht wird, wird der naheliegende Begriff Vektor vermieden und stattdessen die Bezeichnung Tupel (als Oberbegriff für ein Paar, ein Tripel, ein Quadrupel von Zahlen, usw.) verwendet. Die Menge der Informationselemente, also der Kriterien nach denen die vergleichende Bewertung durchgeführt werden soll, wird Informationsbasis (IB) genannt (BRÜGGEMANN et al. 1995). Soll ein Vergleich derart charakterisierter Objekte erfolgen, so ist die Vergleichsoperation, also die Einordnung nach gut oder schlecht hinsichtlich des Bewertungsziels, geeignet zu definieren. Naheliegend ist folgende Definition: Es seien A und B zwei Objekte und $p(A)$, $p(B)$ die diesen Objekten zugeordneten Tupel, die die näher charakterisierenden Informationen bzw. die numerischen Werte der verschiedenen Informations-