

Wasserreinigung durch Insitu-Entkeimung

Neue Große Bergstraße 20; 22767 Hamburg
Tel: 040 / 38 61 44 60 Fax: 040 / 380 66 82
E-mail: info@kls-gewaesserschutz.de
Internet: <http://www.kls-gewaesserschutz.de>



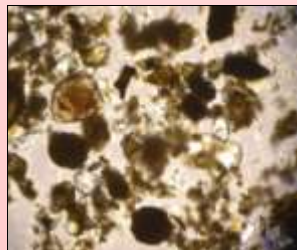
Keimelimination durch Zooplankton,
Sedimentation und
natürliches UV-Licht

Komponenten der Insitu-Entkeimung

- Naturbäder bzw. Schwimm- und Badeteichanlagen sind kleine Stillgewässer, in denen weitgehend die gleichen gewässerökologischen Prozesse ablaufen wie in natürlichen Seen.
- Technische Einrichtungen können diese Prozesse lenken, unterstützen oder auch behindern.
- Wie in einem See findet auch in einem Naturbad eine **Insitu-Entkeimung** schon durch natürliche Prozesse im Gewässer selbst statt. Eine wichtige Rolle spielen dabei:



Zooplankton
natürliches UV-Licht



Sedimentation



Milieubedingungen

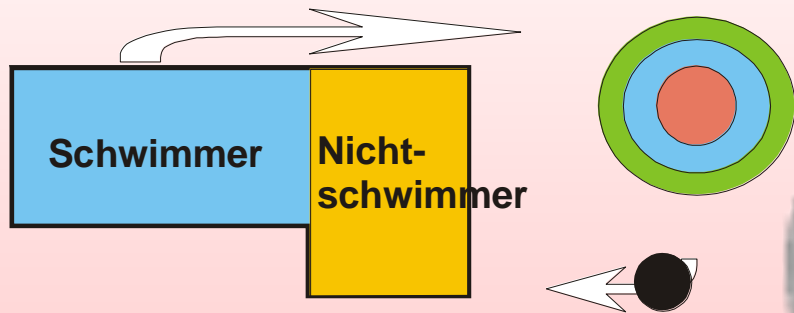
Makrozoobenthos



Komponenten der Insitu-Entkeimung

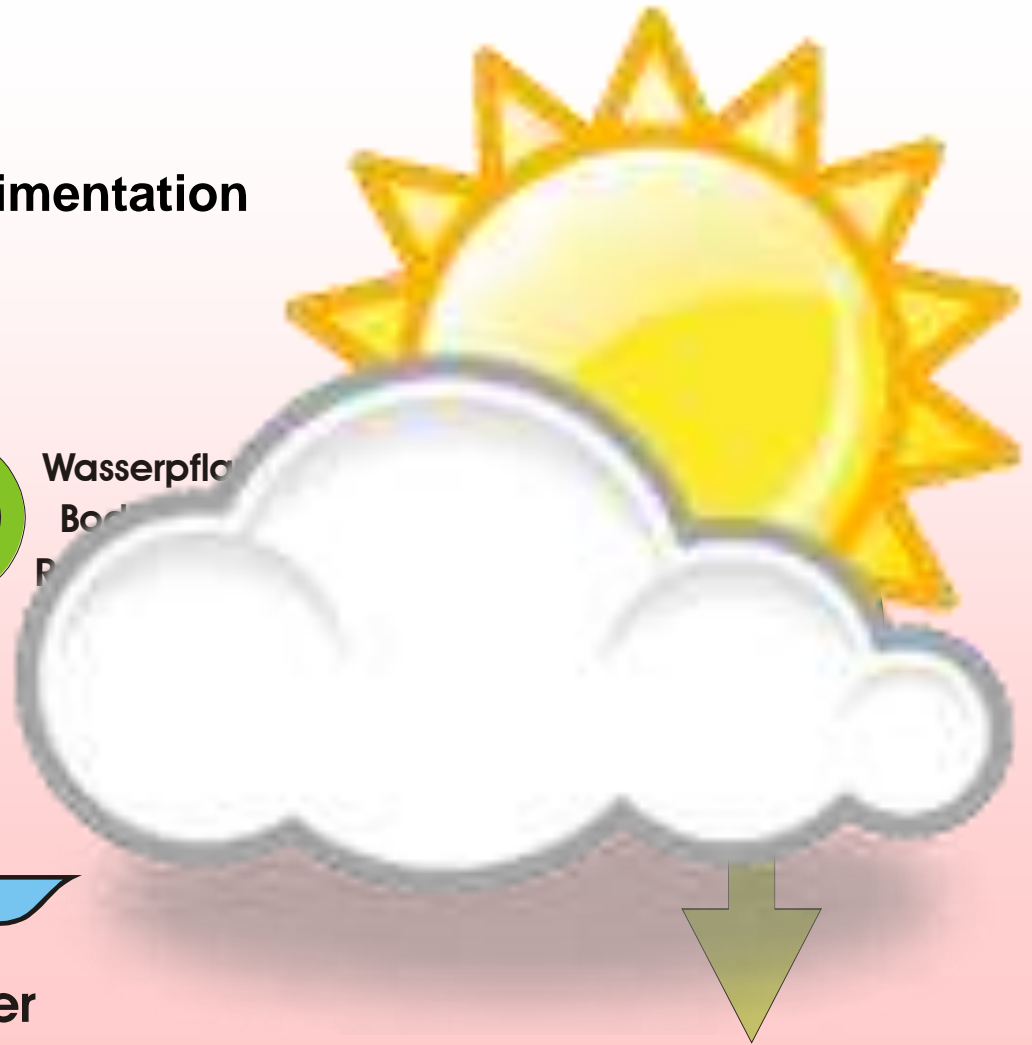
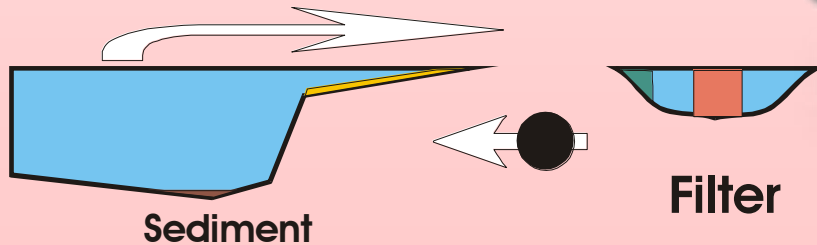
- Konkurrenz um Nährstoffe
- Fraß (Grazing)
- Elimination durch Sedimentation
- Natürliches UV-Licht

Schwimmteich Aufsicht



Wasserpfl
Bod
P

Schwimmteich Querschnitt



Zooplankton – wer oder was ist das?

- Plankton: Gesamtheit der im Freiwasserraum lebenden, mit den Wasserbewegungen passiv treibenden, Organismen: Bakterioplankton, Phytoplankton (Schweb-Algen), Zooplankton
- Zooplankton: tierisches Plankton; Sammelbegriff für viele verschiedene Tiergruppen
- Im Süßwasser dominieren folgende Gruppen das Zooplankton:

Flagellata (Geißeltierchen)

Ciliata (Wimpertierchen)

Rotatoria (Rädertierchen)

Cladocera (Wasserflöhe)

Copepoda (Ruderfußkrebse, Hüpferlinge)

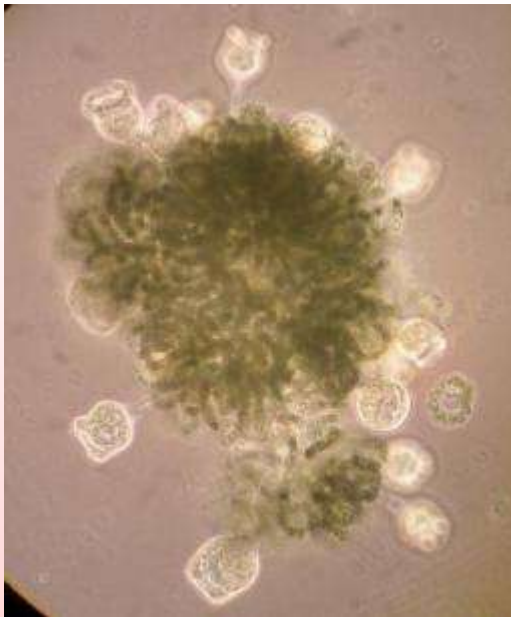
- Zooplankter ernähren sich überwiegend von Bakterien u./o. Phytoplankton
- Einteilung nach Ernährungsweisen: Strudler, Filtrierer, Greifer

Zooplankton: Nahrung und Ernährungsweise

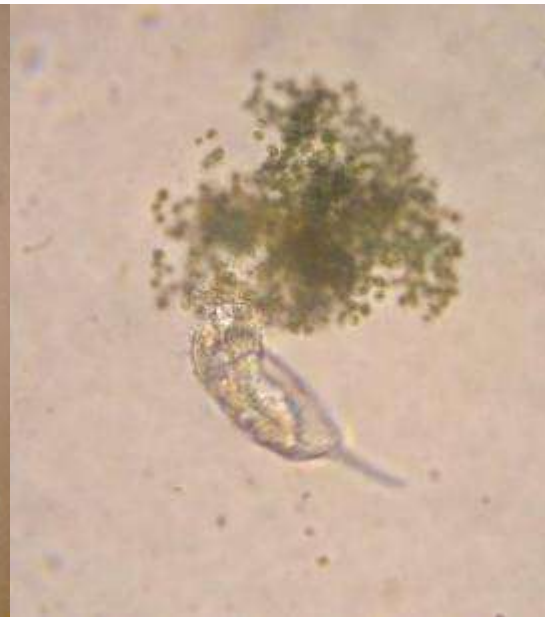
- Zooplankter ernähren sich überwiegend von **Bakterien / Phytoplankton**
- Einteilung nach Ernährungsweisen: Strudler, Filtrierer, Greifer
- **Strudler**: strudeln durch Cilien oder Wimpern die Nahrung in den Mund, z.B. Wimpertierchen, Rädertierchen
- **Filtrierer**: pressen Wasserstrom durch siebartige Strukturen und filtern daraus die Nahrung, z.B. Wasserflöhe
- **Greifer**: ergreifen gezielt ihre Nahrung, z.B. viele Ruderfußkrebse u. einige Geißeltierchen
- Wimpertierchen u. Rädertierchen: bevorzugen **Partikelgrößen** für eingestrudelte Nahrung zwischen 0,5 μm bis 3 μm
- Wasserflöhe können je nach Art u. Größe ein Partikelspektrum von 0,2 μm bis zu 50 μm verwerten

Zooplankton

Beispiele für **Strudler** im Zooplankton



Wimpertierchen:
Vorticella auf einer
Algenkolonie im
Freiwasser siedelnd,
strudeln Bakterien ein



Rädertierchen:
Keratella beim Fressen
coccaler Cyanobakterien



Rädertierchen:
Brachionus beim
Verdauen von Bakterien

Zooplankton

Beispiele für **Filterierer** im Zooplankton



Wasserflöhe:
Bosmina



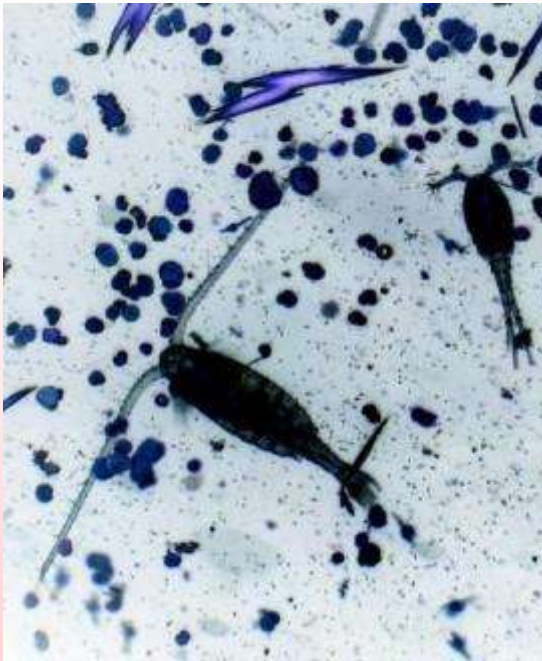
Wasserflöhe:
Ceriodaphnia



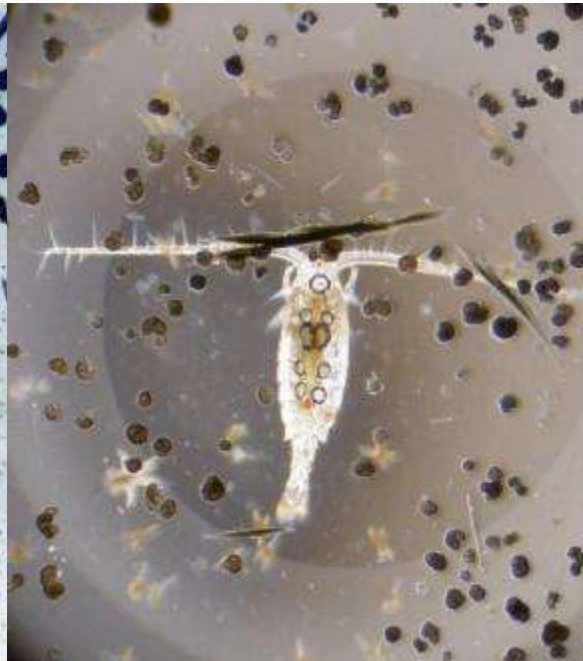
Wasserflöhe:
Daphnia

Zooplankton

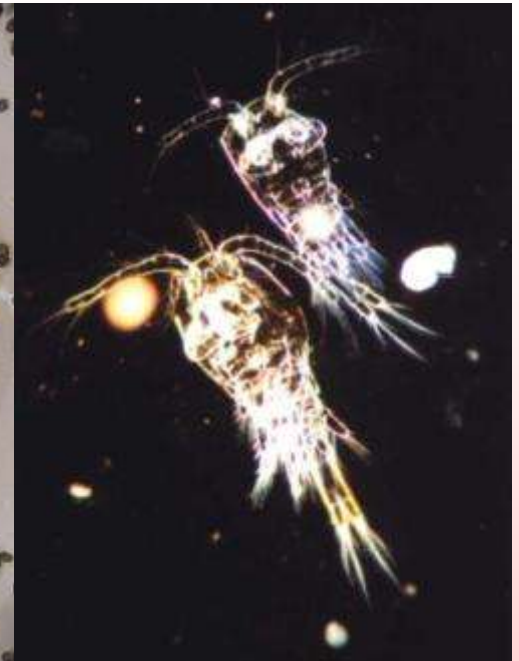
Beispiele für Greifer im Zooplankton



Ruderfußkrebse:
Calanoide und
Cyclopoide Copepoda



Ruderfußkrebse:
Eudiaptomus



Ruderfußkrebse:
Cyclops

Zooplankton: Nahrung und Ernährungsweise

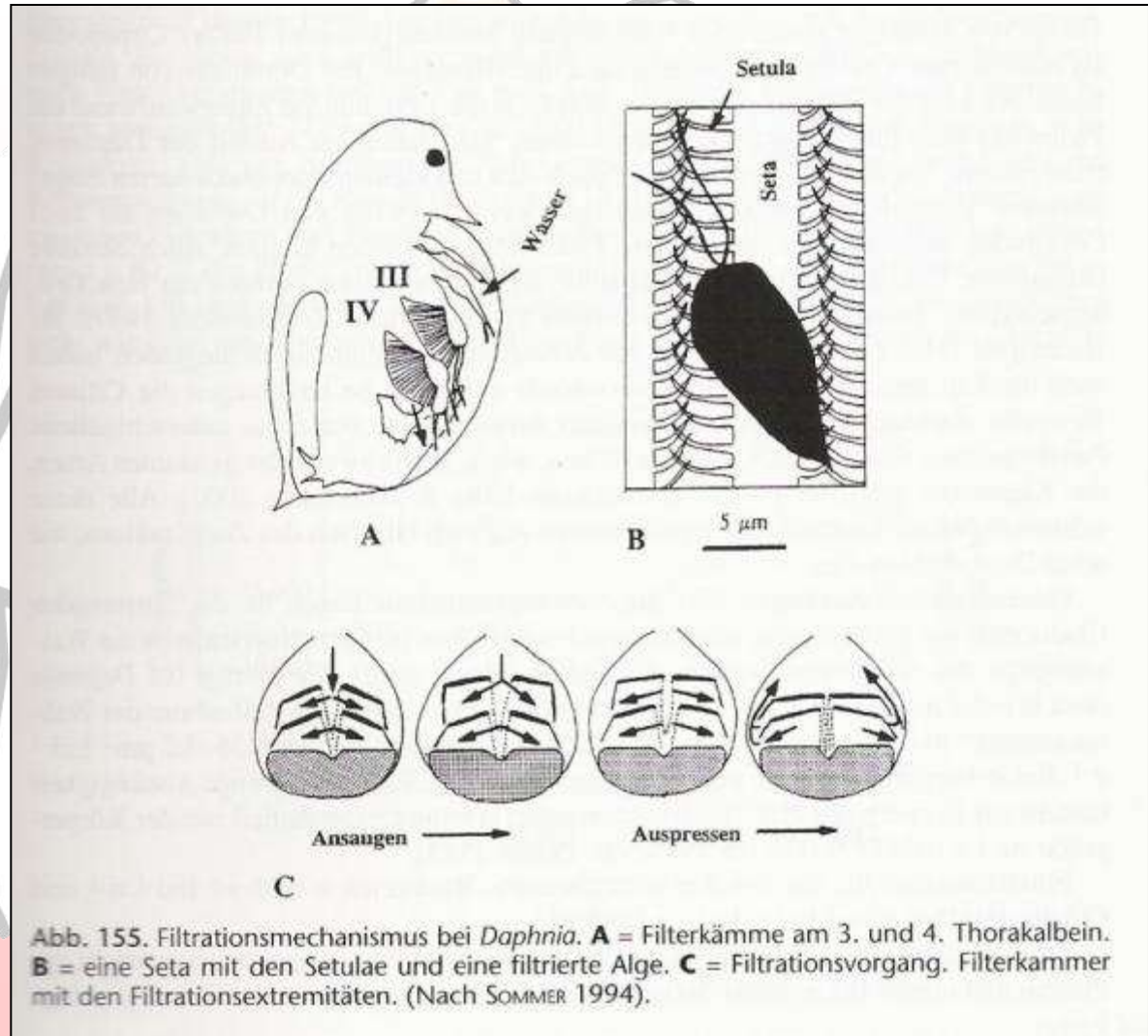
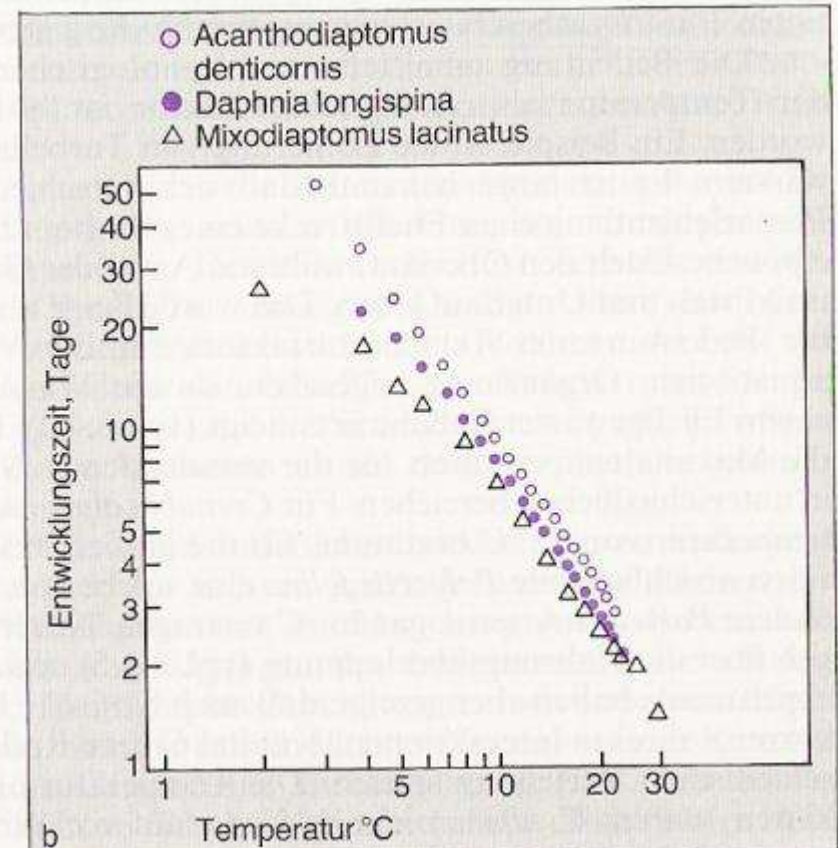
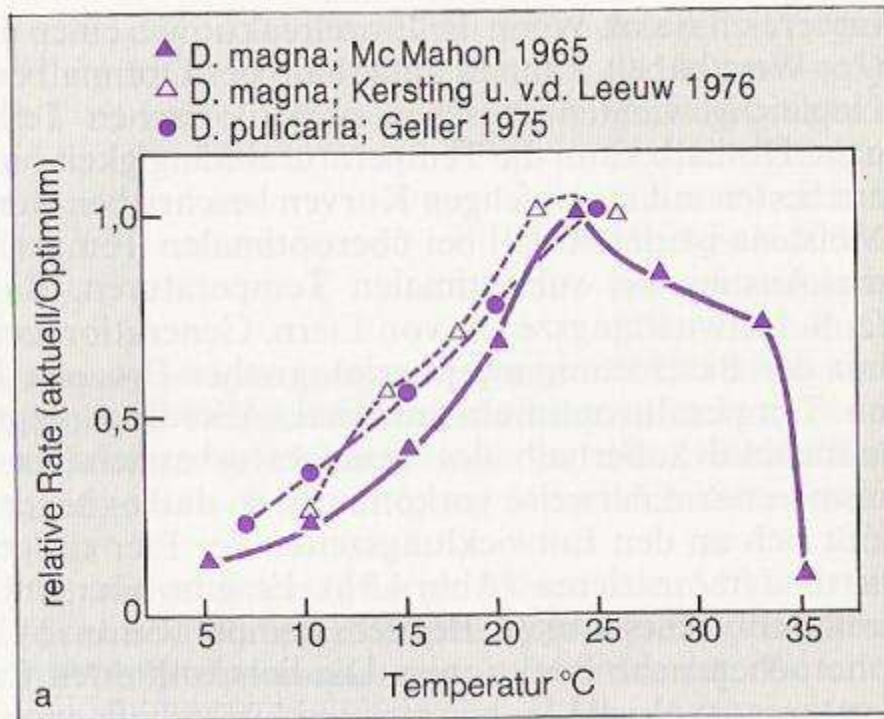


Abb. 155. Filtrationsmechanismus bei *Daphnia*. **A** = Filterkämme am 3. und 4. Thorakalbein. **B** = eine Seta mit den Setulae und eine filtrierte Alge. **C** = Filtrationsvorgang. Filterkammer mit den Filtrationsextremitäten. (Nach SOMMER 1994).

aus: Schönborn,
Lehrbuch der Limnologie

Zooplankton: Nahrung und Ernährungsweise



aus: Lampert und Sommer,
Limnoökologie

Abb. 4.3a u. b Physiologische Auswirkungen der Temperatur:
a Maximale (futtergesättigte) Ingestionsrate mehrerer *Daphnia*-Arten in Abhängigkeit von der Temperatur (nach Lampert 1987a)
b Eientwicklungszeiten mehrerer Zooplanktonarten in Abhängigkeit von der Temperatur (nach Bottrell 1975)

Zooplankton: Grazing

- **Grazing: Räuber-Beute-Beziehung** im Wasser, bei denen Algen oder Bakterien die Beute darstellen
- **Messung der Grazingraten** werden entweder durch Fütterung mit radioaktiv markierten Futterorganismen oder durch längerfristige Abnahme der Partikelzahl in der Suspension durchgeführt (bei Lebendfutter ist Korrektur des gleichzeitig stattfindenden Wachstums nötig), durch Grazing-Experimente mit Zooplankton können Filtrations- und Ingestionsraten bestimmt werden
- die **Filtrationsrate** (engl. clearance rate) gibt das Wasservolumen an, das pro Zeiteinheit partikelfrei gemacht wird
- die **Ingestionsrate** des Individuums gibt an, wie viele Futterpartikel oder Futtermasse ein Individuum pro Zeiteinheit frisst
- Beispiel **Klarwasserstadium in Seen**: Grazingraten erreichen Werte zwischen 1,0 u. 2,5/d und liegen damit höher als die maximalen Wachstumsraten vieler Algenarten

Zooplankton: Filtrationsleistungen

Beispiele für Filtrationsleistungen von Zooplankton

Zooplankton -gruppe	Filtrationsraten [ml / Ind. / Tag]		
	Minimum	Maximum	Mittelwert
Ciliata	0,012	0,163	0,09
Rotatoria	0,007	16,99	8,5
Copepoda	0,048	129,60	64,8
Cladocera	0,096	66,48	33,3

Experimentell ermittelte Filtrationsraten von Zooplanktern (Zusammenstellung von Literaturdaten aus 34 verschiedenen Forschungsprojekten u. Veröffentlichungen)

Zooplankton: Ingestionsleistungen

Beispiele für Ingestionsleistungen von Zooplankton

Zooplankton- art	Ingestionsraten [Zellen / Ind. / Tag]	Futterorganismus
<i>Daphnia magna</i>	$5,6 \cdot 10^6$	<i>Escherichia coli</i>
<i>Daphnia parvula</i>	$9,6 \cdot 10^5$	natürliche Bakterienpopulationen (Größe: 0,1 μm – 1 μm)
	clearance rate [ml / Ind. / h]	
<i>Daphnia carinata</i>	1,75	<i>Campylobacter jejuni</i> , <i>E.coli</i>

Experimentell ermittelte Filtrationsraten von Zooplanktern (Zusammenstellung von Literaturdaten aus 34 verschiedenen Forschungsprojekten u. Veröffentlichungen)

Zooplankton: Ingestionsleistungen

Zooplankton in Schwimm- und Badeteichen (Freibäder mit biol. Wasseraufbereitung)

- Das Zooplankton wird bei der gewässerökologischen Überwachung von Naturbädern gemäß FLL monatlich untersucht



Planktonnetz (der Maschenweite 55 μm) mit Aufsatzkegel
Für quantitative Beprobungen

- Den folgenden Auswertungen liegen die Zooplanktondaten aus 16 Naturbädern aus den Jahren 2007, 2008 und 2009 zu Grunde:

Zooplankton: Artenzusammensetzung

Rotatoria (Rädertiere)		Copepoda (Ruderfußkrebse)	Cladocera (Wasserflöhe)		Ciliata (Wimpertiere)
Rotatoria indet.	Lecane sp.	Acanthocyclops sp.	Acroperus harpae	Daphnia pulex	Ciliata indet.
Ascomorpha sp.	Lepadella sp.	Calanoide Copepodide	Alona affinis	Daphnia sp.	Andere
Asplanchna sp.	Monammata sp.	Cyclopoide Copepodide	Alona c.f. affinis	Eurycerus lamellatus	Chaoboridae indet. (Larven)
Brachionus angularis	Mytilina c.f. mucronata	Cyclops sp.	Alona c.f. quadrangularis	Graptoleberis testudinaria	Chironomidae indet. (Larven)
Brachionus c.f. urceolaris	Mytilina mucronata	Diacyclops sp.	Alona c.f. rectangula	Pleuroxus aduncus	Culicidae indet. (Larven)
Brachionus calyciflorus	Mytilina sp.	Eucyclops sp.	Alona guttata	Pleuroxus c.f. trigonellus	Hydrina indet.
Brachionus sp.	Notholca acuminata	Eudiaptomus c.f. vulgaris	Alona rectangula	Pleuroxus sp.	Oligochaeta indet.
Cephalodella sp.	Notholca c.f. acuminata	Eudiaptomus vulgaris	Alona sp.	Pleuroxus truncatus	Ostracoda indet.
Collotheca sp.	Notholca c.f. squamula	Harpacticoida indet.	Alonella nana	Polyphemus pediculus	Andere
Colurella sp.	Platyas quadricornis	Macrocyclops sp.	Bosmina c.f. longirostris	Scapholeberis mucronata	
Euchlanis c.f. dilatata	Platyas quadricornis	Megacyclops sp.	Bosmina longirostris	Simocephalus c.f. vetulus	
Euchlanis c.f. triquetra	Polyarthra sp.	Mesocyclops leuckarti	Ceriodaphnia c.f. dubia	Simocephalus vetulus	
Euchlanis sp.	Pompholyx sulcata	Nauplien	Ceriodaphnia c.f. quadrangula		
Euchlanis triquetra	Scaridium longicaudum	Thermocyclops sp.	Ceriodaphnia sp.		
Filinia longiseta	Synchaeta sp.	Tropocyclops prasinus	Chydorus sp.		
Kellicottia longispina	Testudinella c.f. patina		Chydorus sphaericus		
Keratella cochlearis	Testudinella patina		Daphnia c.f. pulex		
Keratella cochlearis f. tecta	Testudinella sp.		Daphnia c.f. rosea		
Keratella quadrata	Trichocerca sp.		Daphnia magna		
Lecane c.f. luna	Trichotria pocillum				
Lecane c.f. lunaris	Trichotria sp.				
Lecane c.f. quadridentata					
Summe Arten Rotatoria: ca. 43		Summe Arten Copepoda: ca. 12	Summe Arten Cladocera: ca. 31		

Zooplankton: Zusammensetzung

Anzahl Zooplankton-Arten pro Bad (bzw. in den 16 Bädern)

Anzahl Arten	Minimum pro Probenahme	Maximum pro Probennahme	Mittel ganze Saison	Median ganze Saison	Summe ganze Saison
Rotatoria (Rädertiere)	0	12	5	4	18
Copepoda (Hüpfertlinge)	0	6	2	2	7
Cladocera (Wasserflöhe)	0	8	3	3	13
Gesamt	2	19	9	9	35

Zooplankton-Individuendichten pro Bad (bzw. in den 16 Bädern)

Individuen/m ³	Minimum pro Probenahme	Maximum pro Probennahme	Mittel ganze Saison	Median ganze Saison
Rotatoria (Rädertiere)	0	377.389	13.476	1.091
Copepoda (Hüpfertlinge)	0	146.369	5.420	850
Cladocera (Wasserflöhe)	0	87.898	6.242	441
Gesamt	42	454.729	33.546	6.164

Zooplankton: Artenzahlen

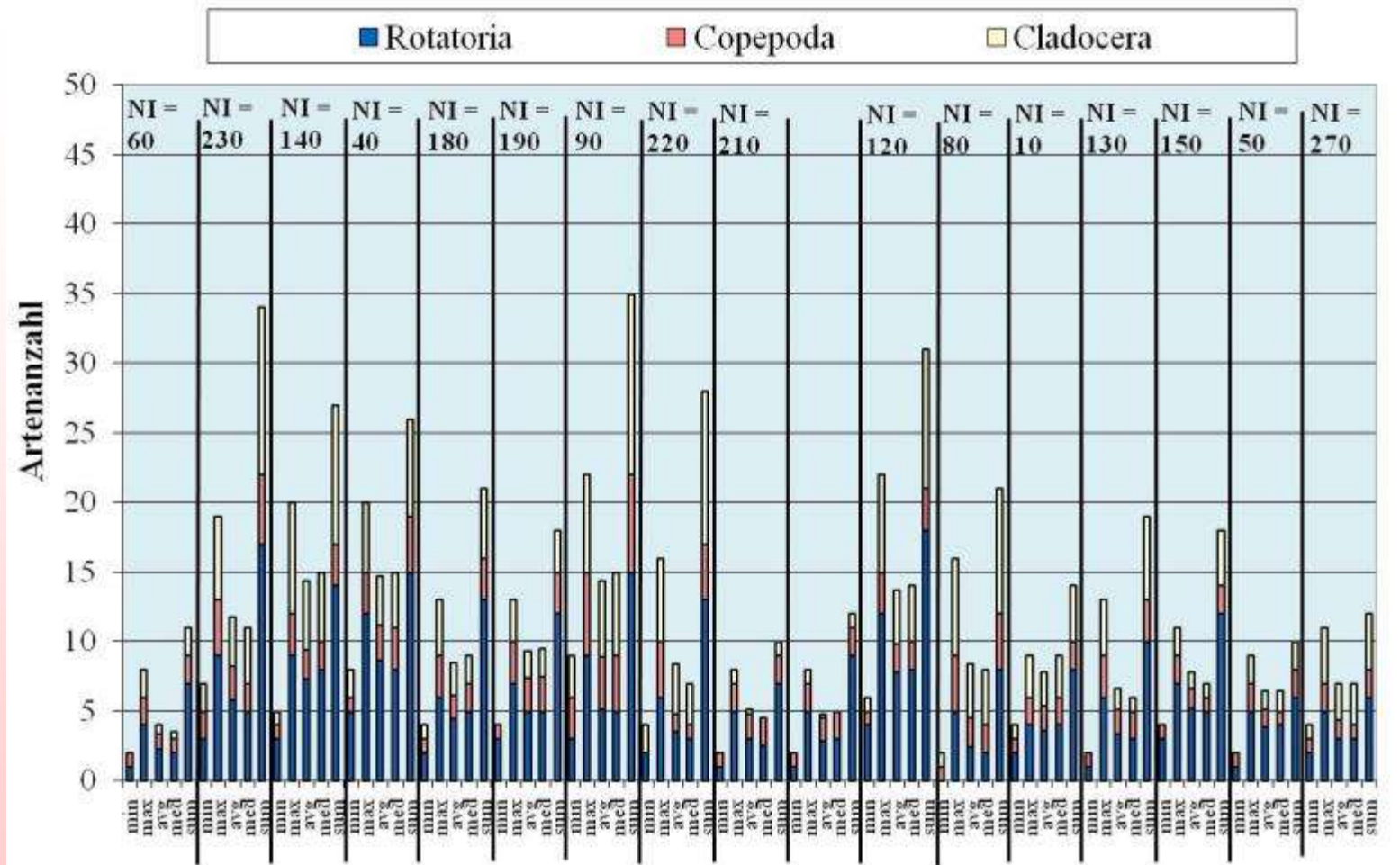


Abbildung: Anzahl vorgefundener Zooplankter-Arten. Erläuterungen: NI = Naturbadindex. WAT = Wasseraustausch pro Tag. s AK = Vorhandensein (+) oder Fehlen (-) von submerser Aquakultur. min = Minimum, max = Maximum, avg = Average (Mittelwert), sum = Summe aller vorhandener Arten.

Zooplankton: Individuenzahlen

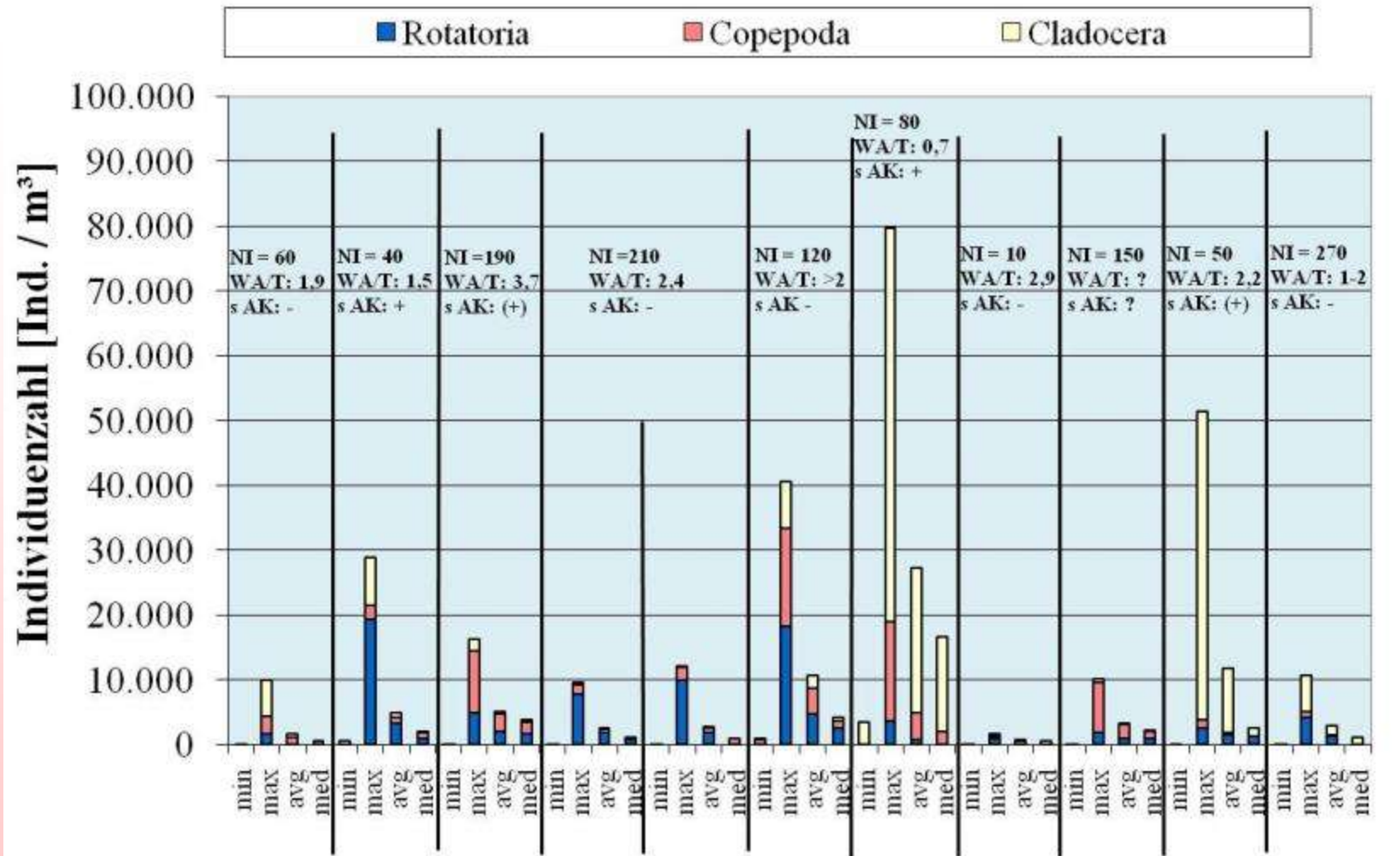


Abbildung: Individuendichten der häufigsten Zooplanktongruppen, Individuendichten <100.000 Ind/m³. Erläuterungen: NI = Naturbadindex. WA/T = Wasseraustausch pro Tag. s AK = Vorhandensein (+) oder Fehlen (-) von submerser Aquakultur. min = Minimum, max = Maximum, avg = Average (Mittelwert)

Zooplankton: Individuenzahlen

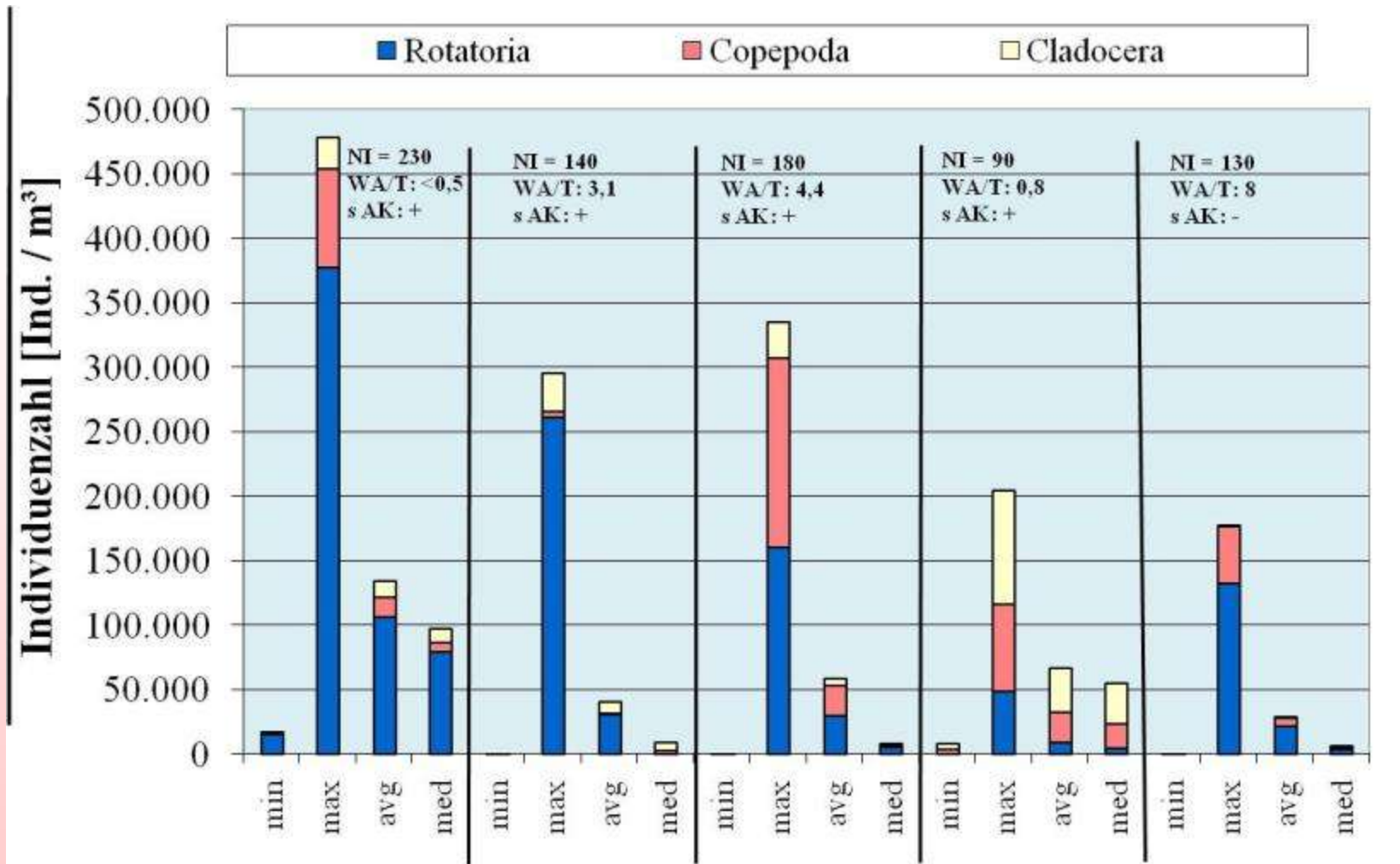


Abbildung: Individuendichten der häufigsten Zooplanktongruppen, Individuendichten >100.000 Ind./m³. Erläuterungen: NI = Naturbadindex. WA/T = Wasseraustausch pro Tag. s AK = Vorhandensein (+) oder Fehlen (-) von submerser Aquakultur. min = Minimum, max = Maximum, avg = Average (Mittelwert)

Zooplankton: Einfluss auf die Keimelimination

- **Bestimmung der Filtrationsraten:** Aufgrund der geringen Produktion von Phytoplankton liegen die Filtrations-/Ingestionsraten im Bereich des Maximums Für die FLL werden jedoch die mittleren Raten angenommen:

Rotatorien: 0,088

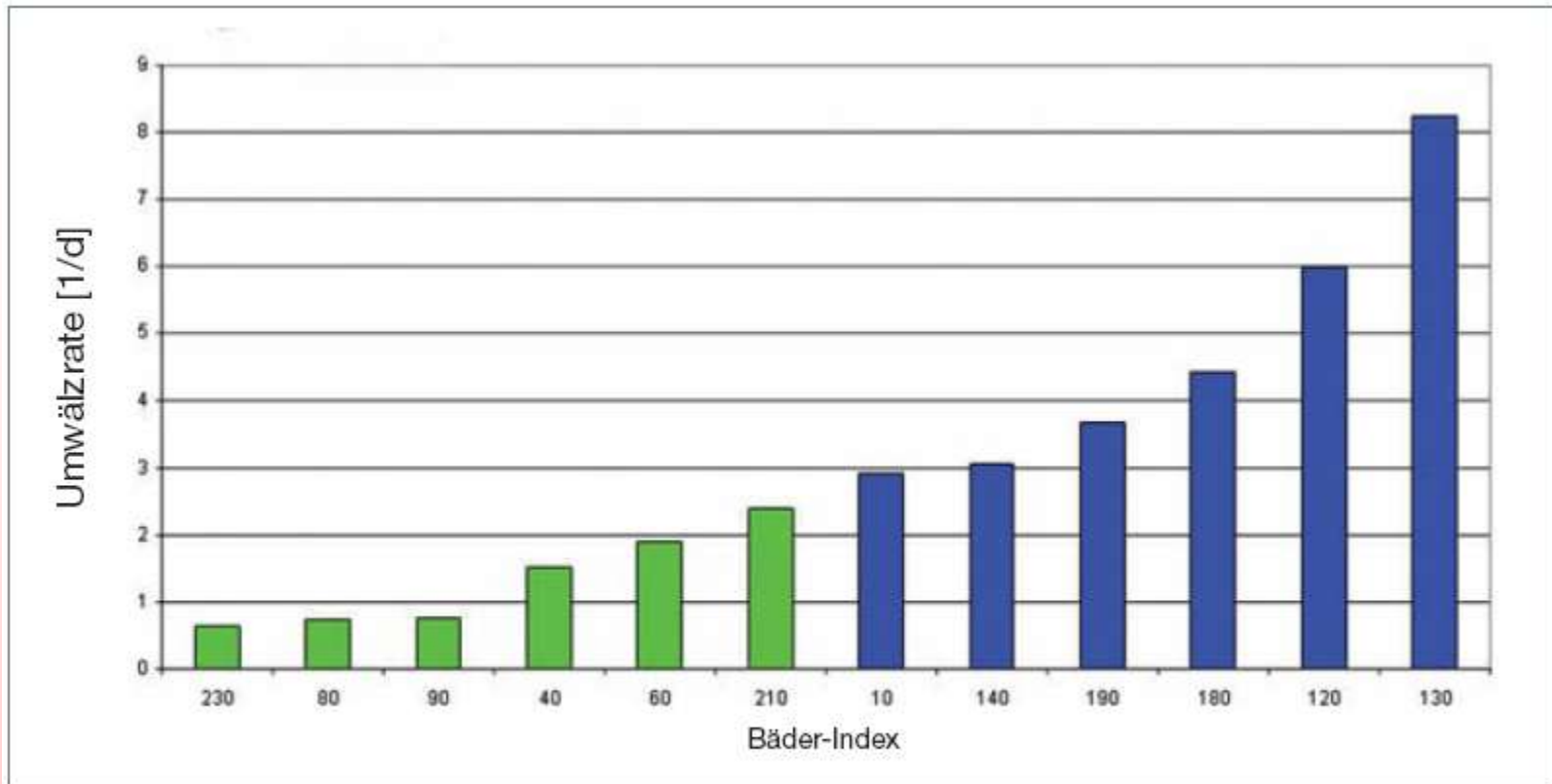
Copepoden: 64,8

Cladoceren: 33,3

alle Angaben in ml/Ind./Tag

- Zooplankter verdauen nahezu alle ingestierten (gefressenen) Bakterien und Algen
- Es wird unterschieden zwischen Bädern mit hoher ($>2,5$) und geringer ($<2,5$) Wasseraustauschzeit
- bei geringen Individuenzahlen besteht keine Abhängigkeit zwischen der Wasseraustauschzeit und der Filtrationsleistung des Zooplanktons
- In Bädern mit einer eher geringen Wasseraustauschzeit kommen im Mittel mehr Zooplankter vor, die als Gemeinschaft eine höhere Filtrationsleistung erbringt

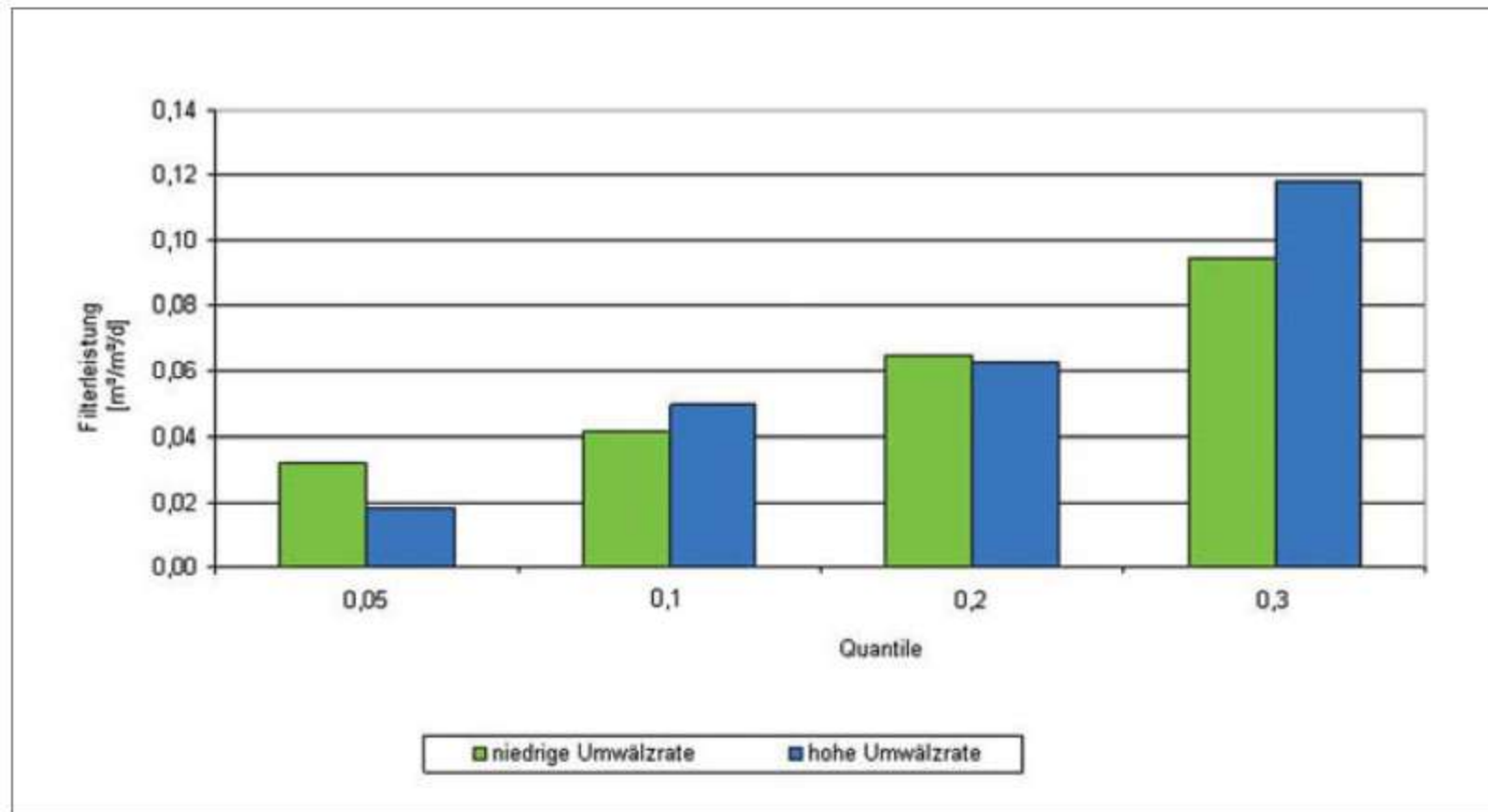
Zooplankton: Einfluss auf die Keimelimination



■ Abbildung 2: Nennumwälzraten der Bäder, sortiert nach Umwälzrate in 1/d

aus: Bruns & Wunderlich 2010

Zooplankton: Einfluss auf die Keimelimination



■ *Abbildung 10: Filtrationsleistung bei hoher und niedriger Umwälzrate*

aus: Bruns & Wunderlich 2010

Zooplankton: Einfluss auf die Keimelimination

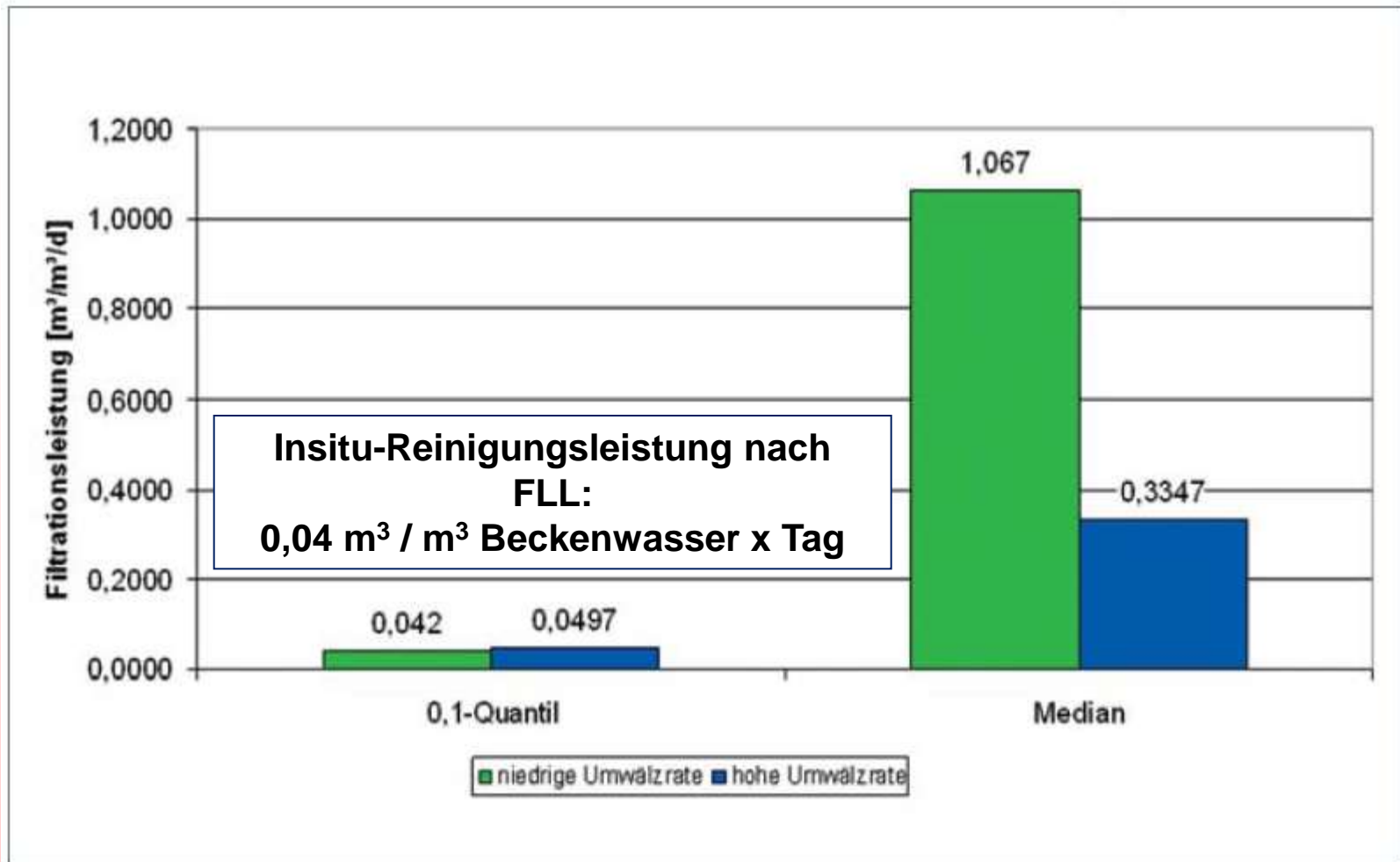
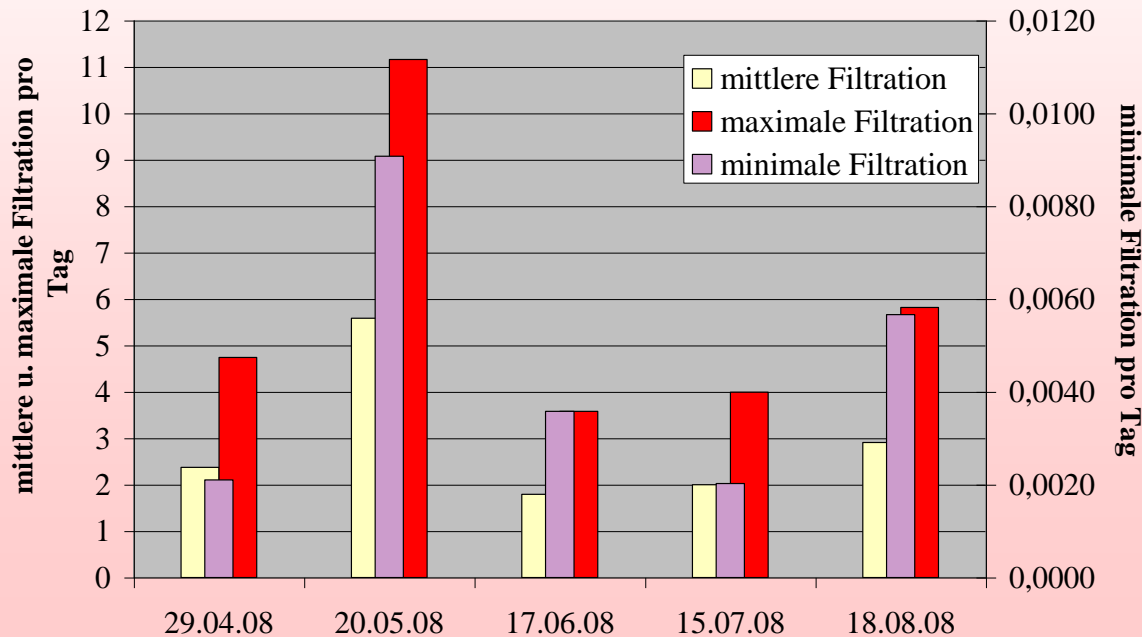


Abbildung 11: Maximal und minimal zulässige Filtrationsleistungen in Abhängigkeit von der Umwälzrate
aus: Bruns & Wunderlich 2010

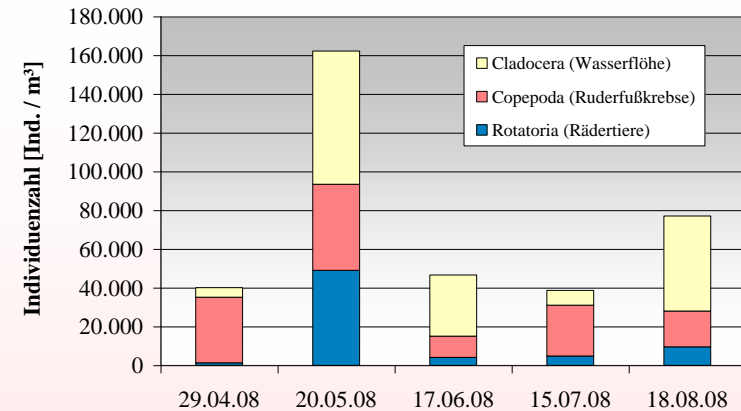
Zooplankton: Reinigungsleistung

- hohe Zooplanktonindividuumdichten
- geringer Wasseraustausch
- hoher Anteil submerser Auqakultur

Häufigkeit der Filtration des Wasserkörpers durch Zooplankton im Naturbad NI 90



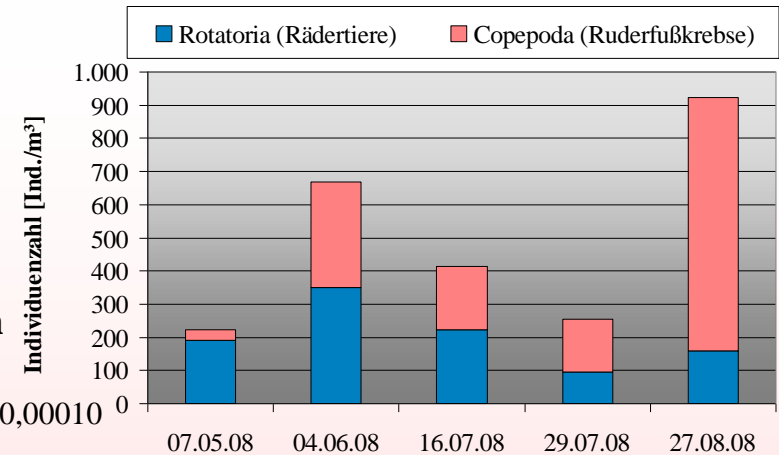
Zooplankton im Naturbad NI 90



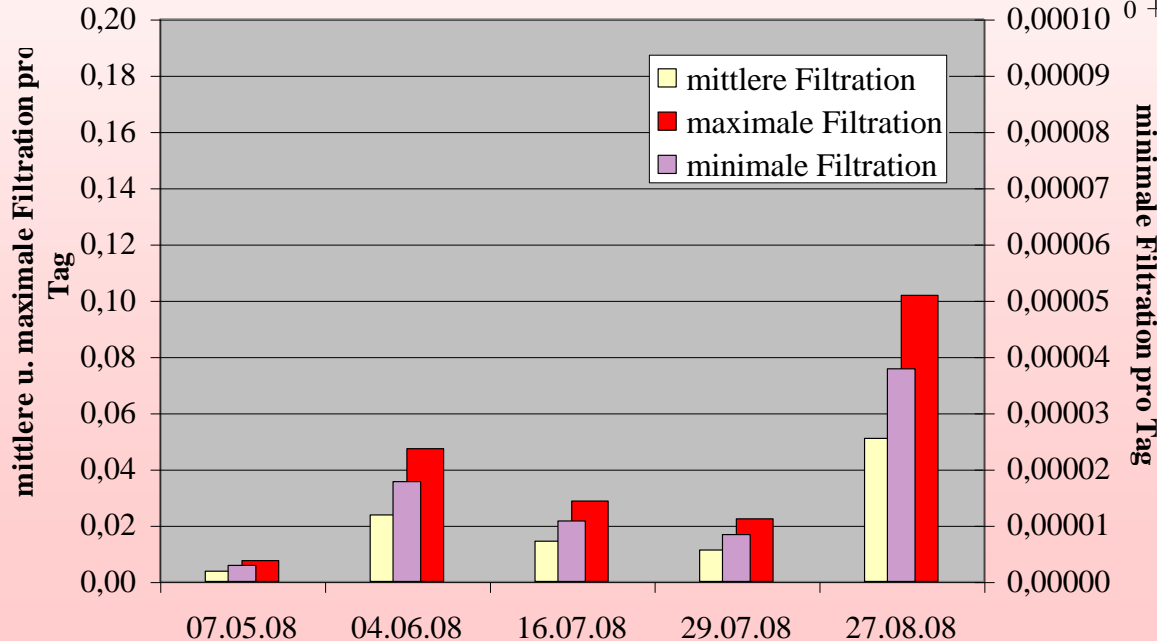
Zooplankton: Reinigungsleistung

- sehr geringe Zooplanktonindividuumdichten
- höherer Wasseraustausch
- keine ausgeprägte submerser Auqakultur

Zooplankton im Naturbad NI 60



Häufigkeit der Filtration des Wasserkörpers durch Zooplankton im Naturbad NI 60



Natürliches UV-Licht

Vorteile:

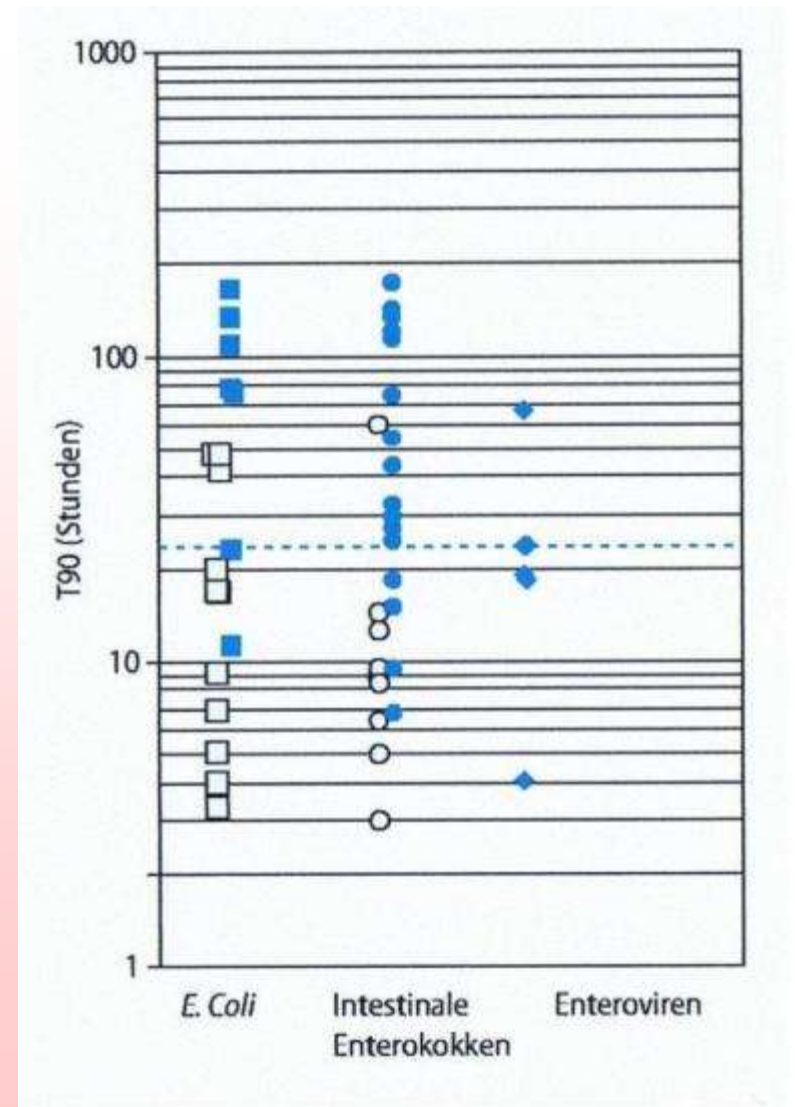
Gutes Wetter – viel Sonne – hoher Badebetrieb

Nachteile:

nur tagsüber
nicht bei schlechtem Wetter
nicht klar kalkulierbar

Zeit, die benötigt wird, um die Konzentration verschiedener Viren und Bakterien um 90% herabzusetzen.

aus: Grunert et al., 2009: Entfernung von Mikroorganismen durch Bodenfilter für Kleinbadeteiche. in: Bundesgesundheitsbl. 2009: (52): 228-237



Eydeler & Spieker

Veröffentlichung im Archiv des
Badewesens 03/2010:

„Keimelimination durch
Zooplankton –
Wasserreinigung in Schwimm-
und Badeteichen“



Bruns & Wunderlich

Veröffentlichung im Archiv des
Badewesens 05/2010:

„Herleitung einer neuen
Berechnungsmethode zur
Ermittlung der
Nennbesucherzahl“



Download als pdf unter:

[www.kls-
gewaesserschutz.de](http://www.kls-gewaesserschutz.de)
www.abs-naturbad.de

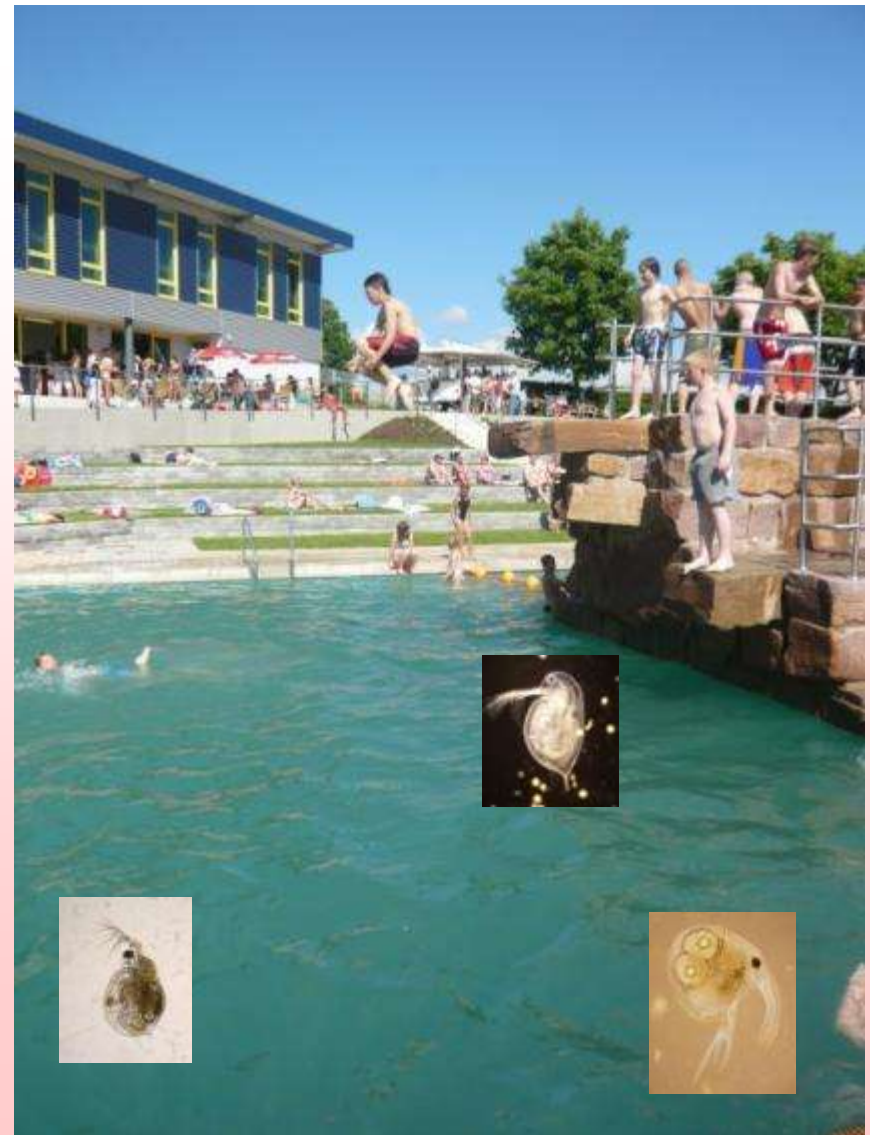
**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**



Arbeitsgemeinschaft Badeseen und Schwimmteiche



**Datenauswertung im Rahmen des
Forschungsprojektes DANA (Datenbank
Naturbäder), gefördert von der Deutschen
Bundesstiftung Umwelt!**



Literatur

- Archibold, J.H.G. & Berger J. (1985): A qualitative assessment of some metazoan predators of *Halteria grandinella*, a common freshwater ciliate. – *Hydrobiologia* 126: 97-102.
- Arndt, H. (1993): Rotifers as predators on components of the microbial web (bacteria, heterotrophic flagellates, ciliates) – a review. – *Hydrobiologia* 255/256: 231-246.
- Buikema, A.L., Miller, J.D. & Yongue, W.H. Jr. (1978): Effects of algae and protozoans on the dynamics of *Polyarthra vulgaris*. - *Verhandlungen der internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* 20: 2395-2399.
- Bogdan, K.G. & Gilbert, J.J. (1982): Seasonal patterns of feeding by natural populations of *Keratella*, *Polyarthra*, and *Bosmina*, clearance rates, selectivities, and contributions to community grazing. *Limnol. Oceanogr.*, 27, 918-934.
- Carrick, H.J., Fahnenstiel, G.L., Stoermer, E.F. & Wetzel R.G. (1991): The importance of zooplankton-protozoan trophic couplings in Lake Michigan. - *Limnology & Oceanography* 36: 1335-1345.
- Ejsmont-Karabin, J. (1974): Studies on the feeding of the planktonic polyphage *Asplanchna priodonta* Gosse (Rotatoria). – *Ekologia Polska* 22: 311-317.
- Flößner, D. (2000): *Die Haplopoda und Cladocera Mitteleuropas*. – Backhuys Publishers, Leiden: 428pp.
- Gilbert, J.J. & Jack, J.D. (1993): Rotifers as predators on small ciliates. - *Hydrobiologia* 255/256: 247-253.
- Hadas, O., B. Z. Cavari, Y. Dott & U. Bachrach: Preferential feeding behaviour of *Daphnia magna*. In: *Hydrobiologie* 89, 49-52 (1982).

Literatur

- Jack, J.D. & Gilbert, J.J. (1993): Susceptibilities of different sized ciliates to direct suppression by small and large cladocerans. - *Freshwater Biology*: 29: 19-29.
- Jürgens, K., Arndt, H. & H. Zimmermann (1997): Impact of metazoan and protzoan grazers on bacterial biomass distribution in microcosm experiments. In: *Aquatic Microbial Ecology*. Vol. 12: 131-138, 1997.
- Katechakis, A. & H. Stibor, 2004: Feeding selectivities of the marine cladocerans *Penilia avirostris*, *Podon intermedius* and *Evadne nordmanni*. In: *Marine Biology* (2004) 145: 529-539.
- Korniyenko, G.S. (1976): Contribution of infusoria to the nutrition of *Acanthocyclops vernalis* and *Cyclops vicinus*. - *Hydrobiological Journal* 12: 62-65.
- Lampert, W. & U. Sommer (1993): *Limnoökologie*. Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York 1993.
- Lieder, U. (1996): Crustaceae, Cladocera, Bosminidae. In (Ed. J. Schwoerbel & P. Zwick) *Süßwasserfauna von Mitteleuropa* 8, 2-3, 80pp.
- Maly, E.J. (1969) A laboratory study of the interaction between the predatory rotifer *Asplanchna* and *Paramecium*. - *Ecology* 50: 59-80.
- Mc Mahon, J.W. and F.H. Rigler (1963): Feeding rate of *Daphnia Magna* Straus in different foods labeled with radioactive phosphorus. Department of Zoology, University of Toronto, Toronto, Ontario.
- Ooms-Wilms, A.L. (1997): Are bacteria an important food source for rotifers in eutrophic lakes?. *Journal of Plankton Research* Vol. 19 no.8 pp. 1125-1141, 1997.

Literatur

Ooms-Wilms, A.L., Postema, G. and Gulati, R.D. (1993): Clearance rates of bacteria by the rotifer *Filinia longisetata* (Ehrb.) measured using three tracers. *Hydrobiologia*, 255/256, 255-260.

Ooms-Wilms, A.L., Postema, G. and Gulati, R.D. (1995): Evaluation of bacterivory of Rotifera based on measurements of in situ ingestion of fluorescent particles, including some comparisons with Cladocera. *J. Plankton Res.*, 17, 1057-1077.

Pedros-Alió, C. and Brock, T.D. (1983): The importance of attachment to particles for planktonic bacteria. *Arch. Hydrobiol.*, 98, 354-379.

Perni, G., L.D. Scavia, M.L. Pace & H.J. Carrick (1990): Micrograzer impact and substrate limitation of bacterioplankton in Lake Michigan. - *Can. J. Fisch. Aquat. Sci.* 47: 1836-1841.

Porter, K.G., Feig, S. Y. and E. F. Vetter: Morphology, flow regimes, and filtering rates of *Daphnia*, *Ceriodaphnia*, and *Bosmina* fed natural bacteria. In *Oecologia* (Berlin) (1938) 58:156-163.

Pourriot, R. (1977): Food and feeding habits of Rotifera. - *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 8: 246-260.

Rothhaupt, K.O. (1990): Differences in particle size-dependent feeding efficiencies of closely related rotifer species. *Limnol. Oceanogr.*, 35, 16-23.

Sanders, R.W. & Porter, K.G. (1990): Bacterivorous flagellates as food resources of the freshwater crustacean zooplankton *Daphnia ambigua*. - *Limnology & Oceanography* 35: 188-191.

Sanders, R.W. & Wickham S.A. (1993): Planktonic protozoa and metazoa: predation, food quality and population control. - *Marine microbial Food Webs* 7: 197-223.

Literatur

- Schallenberg, M., Bermer, P.J., Henkel, S., Launhardt, A. & C.W. Burns, 2005: Survival of *Campylobacter jejuni* in Water: Effect of Grazing by the Freshwater Crustacean *Daphnia carinata* (Cladocera). In: Applied and Environmental Microbiology, Sept. 2005, p. 5085-5088.
- Schönborn, W. (2003): Lehrbuch der Limnologie. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart 2003.
- Sorokin, Y.U & Paveljeva, E.B. (1972): On the characteristics of the pelagic ecosystem of Dalnee Lake (Kamchatka). - Hydrobiologia 40: 519-552.
- Vanni, M.J. & Lampert, W. (1992): Food quality effects on life history traits and fitness in the generalist herbivore *Daphnia*. - Oecologia 92: 48-57.
- Wickham, S. A. (1995b): Trophic relation between cyclopoid copepods and ciliated protist: Complex interaction link the microbial and classic food webs. - Limnol. & Oceanogr. 40: 1173-1181.
- Williamson, C.E. (1989): The predatory behavior of *Mesocyclops edax*: predator preferences, prey defenses, and starvation-induced changes. - Limnology & Oceanography 25: 903-909.
- Williamson, C.R. & N. Butler (1984): Predation on rotifers by the suspension-feeding calanoid copepod *Diatomus pallidus*. - Limnol. & Oceanogr. 31: 393-402.
- Zimmermann, H. (1994): Untersuchungen zur Bedeutung der Ciliaten im mikrobiellen Nahrungsnetz des Belauer Sees. – Dissertation Hamburg: 164pp. Seite 26, 27, 79, 82.