

Vorkommen und Bedeutung von Kleintieren in Trinkwasser-Verteilungssystemen

MASSNAHMEN ZU DEREN REGULIERUNG¹

Von Günter Gunkel, Ute Michels, Michael Scheideler und Klaus Rippl

ZUSAMMENFASSUNG: Wasserasseln (*Asellus aquaticus*) und weitere Kleintiere (Invertebraten) sind in Trinkwasser-Verteilungssystemen ein seit langem bekanntes Problem, ohne dass es bislang gelungen ist, wirksame und erfolgreiche Maßnahmen zu deren Bekämpfung zu entwickeln. Für Wasserasseln stellt das Rohrnetz einen Ersatzlebensraum dar, in dem sie sich vom Biofilm und von organischen Ablagerungen, dem Mulm, ernähren. Es wurden von den Autoren Besiedlungsdichten von 30 Tieren km⁻¹ (= Häufigkeitsklasse „wenig“) bis zu 1000 Tieren km⁻¹ (= Häufigkeitsklasse „viel“) aufgenommen, Massenentfaltungen mit mehreren tausend Tieren wurden ebenfalls registriert. Daneben tritt eine Akkumulation von Asselkot auf, da dieser im Trinkwasser strukturell sehr stabil ist. Asselkot und auch tote Asseln können unter Stagnationsbedingungen zu einer Sekundärverkeimung und somit zu einer Verschlechterung der Wasserqualität führen. Zudem reichert sich der Kot der Wasserasseln über ca. drei Wochen im Rohrnetz an und kann einen wesentlichen Bestandteil des Mulms bilden. Maßnahmen gegen Wasserasseln und andere Invertebraten umfassen Spülungen, insbesondere ein neu entwickeltes CO₂-Spülverfahren, und eine Optimierung der Wasseraufbereitung zur Verringerung des organischen Kohlenstoffs. Ein multimetrischer Bewertungsindex wird entwickelt, um das Vorkommen von Wasserasseln, anderen Invertebraten und Ablagerungen im Rohrnetz auf das Entwicklungspotenzial von Kleintieren in Trinkwasser-Verteilungssystemen zu bewerten.

EINLEITUNG

Die Qualitätsanforderungen an Trinkwasser durch die Verbraucher sind sehr hoch, und die Gesetzgebung sowohl auf EU als auch auf nationaler Ebene sichert eine entsprechende Qualität des Wassers durch entsprechende Regelwerke. Dennoch gelegentlich stattfindende Diskussionen um Kontaminanten im Trinkwasser werden häufig sehr emotional geführt, oft auch ohne ausreichende Kenntnis über die Herkunft der Kontaminanten („natürliche“ Wasserinhaltsstoffe, erhöhter regionaler Background, Sekundärkontaminationen im Verteilungssystem oder beim Verbraucher) sowie über die technischen Möglichkeiten zur Beseitigung der Kontaminanten (Stand der Technik). Dies trifft zweifellos auch auf Kleintiere als Kontaminanten in Trinkwasser-Versorgungssystemen zu, dies sind kleine wirbellose Organismen (= Invertebraten), deren größter Vertreter die Wasserrassel (*Asellus aquaticus*) kann 12 mm lang werden (**Bild 1**). Das Vorkommen von Wasserasseln in Trinkwasser-Versorgungssystemen ist bereits seit 120 Jahren bekannt und beschrie-

ben worden, aber auch heute noch kommen tierische Trinkwasserbewohner vielerorts und wiederholt vor und führen zu Irritationen und Aufsehen; so hat z. B. 2009 das vermehrte Auftreten von Wasserasseln im Verteilungsnetz einer brandenburgischen Kleinstadt mit 10.000 Einwohnern zu einer mehrwöchigen Einschränkung der Wassernutzung geführt durch das Gebot, das Trinkwasser abzukochen.

Während chemische Kontaminanten im Trinkwasser leicht und reproduzierbar nachgewiesen werden können (und somit auch unmittelbar gehandelt werden kann) ist der gesicherte quantitative Nachweis von Invertebraten im Trinkwasser weitaus schwieriger, da zu unterscheiden ist von (wenigen) frei schwimmenden Organismen und (vielen) Vertretern, die direkt auf der Rohrwandung leben und sich dem Austrag durch Anheften oder Festkrallen entziehen. In der Regel reichen konventionelle Spülungen des Rohrnetzes nicht aus, diese Organismen auszutragen bzw. deren Besiedlungsdichten im Rohrnetz zu ermitteln. Dennoch sind die gesetzlichen Regelungen zum Vorkommen von Kleintieren im Trinkwasser eindeutig und lassen den Wasserversorgern keinen Ermessensspielraum bei der Bewertung.

¹ Ergebnisse von zwei BMWi Forschungsförderungen (Projektträger AiF ProInno & ZIM)

Eine umfassende Darstellung der Kleintiere in Trinkwasser-Versorgungssystemen wird vom DVGW im Technischen Regelwerk W 271 [1] vorgenommen: „im Allgemeinen bedeutet das Auftreten von tierischen Organismen keine konkrete Gesundheitsgefahr“ aber „tierische Organismen sind ... in dem Trinkwasserversorgungsnetz als Fremdorganismen zu betrachten.“ Ergänzend wird festgestellt, dass die Organismen „aus allgemeinhygienischer Sicht unerwünscht“ sind, „ein solches Wasser entspricht nicht der DIN 2000“ und „in jedem Fall ... Klärung ihrer Herkunft.“ Auf zwei qualitätsrelevante Aspekte wird verwiesen, die Kleintiere tragen „zur Zehrung von Desinfektionsmitteln“ und „zur unerwünschten Bakterienvermehrung“ bei. Die DIN 2000 [2] sagt, dass „Trinkwasser ... appetitlich und zum Genuss anregen“ sollte, die TVO [3] verlangt, dass das Wasser „frei von Krankheitserregern, genusstauglich und rein sein“ soll, „diese Forderung gilt als erfüllt, wenn bei der Wassergewinnung, der Wasseraufbereitung und der Verteilung die allgemein anerkannten Regeln der Technik eingehalten werden“. Das Umweltbundesamt [4] weist darauf hin, dass „gehäuftes Auftreten ... als Hinweis auf ein verstärktes Wiederverkeimungspotenzial zu bewerten“ ist. Auch die EU [5] verlangt die „Gewährleistung der Genusstauglichkeit und Reinheit“ ohne dieses allerdings für Kleintiere zu präzisieren. Die WHO [6] erklärt „das Vorkommen von Tieren im Trinkwasser ... sollte kontrolliert werden“, es ist „überwiegend ein Problem, wo Rohwasser geringer Qualität gewonnen wird und über Schnellfiltertechniken aufbereitet wird“, ergänzend wird mitgeteilt „das Vorkommen kann die mikrobiologische Qualität des Wassers beeinträchtigen“ [7].

Das Vorkommen von Invertebraten in Trinkwasser-Verteilungssystemen weist deutliche Unterschiede auf und wird primär durch die Rohwasserqualität bestimmt: Trinkwasser aus Grund- und Quellwasser weist im Allgemeinen sehr geringe Konzentration an gelösten und partikulären Kohlenstoffverbindungen (dissolved organic carbon, DOC; particulate organic carbon, POC) auf, während Trinkwasser aus Oberflächengewässern direkt oder nach Uferfiltration meist deutlich höhere Konzentrationen der Kohlenstoffverbindungen besitzt. Organisches Material ist Ernährungsgrundlage für Wasserasseln und andere Invertebraten und somit eine zentrale Voraussetzung für den Aufbau großer Bestände der Rohrnetzbewohner [1].

VORKOMMEN VON WASSERASSELN UND ANDEREN INVERTEBRATEN

Gegenwärtig durchgeführte Untersuchungen zeigen, dass Versorgungssysteme mit Wasserasseln kontaminiert sein können und diese mitunter hohe Bestandszahlen erreichen [8]. Zuverlässige Mengenangaben sind aber nur vereinzelt vorhanden, da bislang verlässliche quantitative Angaben nur aus kontrollierbaren Zwischenbehältern verfügbar sind. Durch die Anwendung eines neuen Rohrnetz-



BILD 1: Wasserassel (*Asellus aquaticus*) als Vertreter der Trinkwasserbewohner

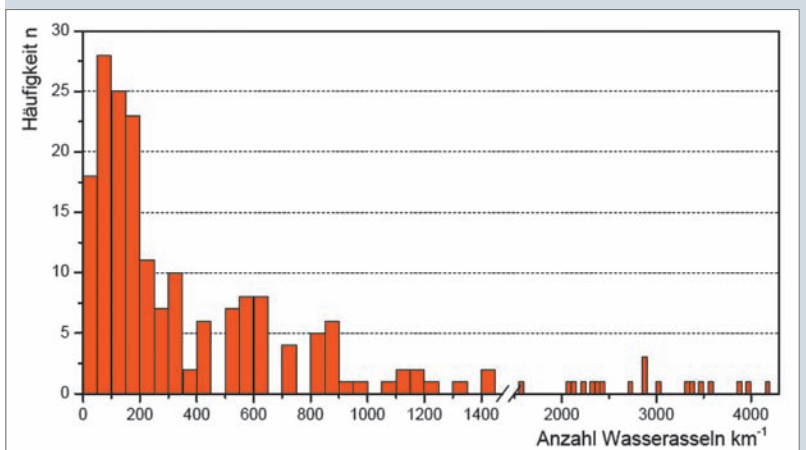


BILD 2: Häufigkeitsverteilung von Wasserasseln in Trinkwasser-Verteilungssystemen in vier mittel- und norddeutschen Städten (Datengrundlage: 197 Rohrnetzspülungen)

Spülverfahrens (CO₂-Spülung, s. u.) wurden erstmals exakte Bestandsdaten bei vier Wasserversorgern ermittelt (Bild 2), die zeigen, dass Versorgungsleitungen von einigen 100 Wasserasseln bis zu mehreren tausend Tieren besiedelt sein können; der Median des Asselvorkommens liegt bei 235 Tieren km⁻¹ (5-Perzentil = 27 Tieren km⁻¹; 95-Perzentil = 2890 Tiere km⁻¹) das Maximum der Besiedlung betrug 14.000 Tiere km⁻¹, bislang jedoch ein Einzelfall.

Die Tendenz der mengenmäßigen Entwicklung der Wasserasseln in den letzten Jahrzehnten ist nicht bekannt – die Bemühungen der Wasserversorgungsbetriebe zur Verbesserung der Wasserqualität, u. a. durch Reduzierung der Wasserentnahme aus Oberflächengewässern, Pflege

Tiergruppe	Wahrscheinlichkeit des Vorkommens (%)	bisher festgestellte Individuendichten (Ind. /m ³)		
		Mittelwert	Minimum	Maximum
Schalenamöben (<i>Testacea</i>)	99	20601	2	737671
Ruderfußkrebse (<i>Copepoda</i>)	84	438	0,2	5440
Fadenwürmer (<i>Nematoda</i>)	80	241	0,2	7850
Rädertierchen (<i>Rotatoria</i>)	76	304	1	6200
Blattfußkrebse (<i>Cladocera</i>)	58	734	2	68400
Ringelwürmer (<i>Oligochaeta</i>)	56	46	0,01	1730
Wassermilben (<i>Hydracarina</i>)	54	84	0,03	2147
Wasserasseln (<i>Asellus aquaticus</i> , <i>A. cavaticus</i>)	53	10	0,003	216
Muschelkrebse (<i>Ostracoda</i>)	24	1654	1	96097
Bärtierchen (<i>Tardigrada</i>)	19	55	2	667
Strudelwürmer (<i>Turbellaria</i>)	9	83	5	725
Bauchhärlinge (<i>Gastrotricha</i>)	5	42	0,1	333
Wimpertierchen (<i>Ciliata</i>)	3	112	2	606

TABELLE 1: In der Trinkwasserverteilung nachgewiesene Tiergruppen (Grundlage: 240 Analysen von über Hydranten gewonnenen Proben aus Trinkwasserverteilungssystemen in Nord- und Mitteldeutschland)

TABELLE 2: Bewertung der Häufigkeit der Wasserasseln in Trinkwasser-Verteilungssystemen mit mittleren Rohrdurchmessern von ca. 200 mm [9]

Asselfunde für 1000 m Rohrlänge	Abundanzklassen (Häufigkeitsstufen)	Abundanzklasse (Anzahl Tiere km ⁻¹)
1–2	Einzelfund	1
3–10	wenig	2
11–30	wenig bis mittel	3
31–100	mittel	4
100–300	mittel bis viel	5
300–1000	viel	6
> 1000	Massenvorkommen	7

des Verteilungsnetzes und Intensivierung der Rohwasseraufbereitung, lassen eine Reduzierung der Wasserasseln erwarten, allerdings sprechen mehrere Effekte dagegen:

- » der Wasserverbrauch sinkt deutlich durch das Verhalten der Konsumenten und viele Versorgungsleitungen sind überdimensioniert, verschärft wird dies
- » durch negative demographische Entwicklungen vor allem in den östlichen Bundesländern, und
- » führt die Klimaänderung mit steigenden Temperaturen des Grund- und Oberflächenwassers sowie durch die Erwärmung des Trinkwassers in erdverlegten Leitungen zu einer Förderung der Wasserasseln und anderer Invertebraten. Für Wasserasseln bedeutet dies entweder die Bildung von nur zwei Generationen mit insgesamt ca. 340 Nachkommen bei geringen Wassertemperaturen oder die Bildung von drei Generationen mit > 4000 Nachkommen bei klimabedingt etwas erhöhten Temperaturen. In einem Versorgungsgebiet in Norddeutschland wurde zwischen 2002 bis 2010 ein Temperaturanstieg von 2,0 °C festgestellt.

Neben der Wasserassel, *Asellus aquaticus*, wurden in den untersuchten Proben zahlreiche weitere Taxa registriert, die insgesamt zehn verschiedenen Tiergruppen zuzuordnen sind. Ähnlich den Wasserasseln können sich verschiedene Spezies in Trinkwasser-Verteilungssystemen vermehren, andere werden dagegen nur passiv transportiert und sterben auf Grund fehlender Nahrungsgrundlagen ab. In Abhängigkeit von der Art und Verfügbarkeit geeigneter

Nahrung ist die Wahrscheinlichkeit, mit der Kleintiere in Trinkwasser-Verteilungssystemen registriert werden, unterschiedlich groß (Tabelle 1).

Das Vorkommen der Kleintiere im Trinkwasser mit ihren verschiedenen Lebensweisen und Lebensräumen sagt viel über die Herkunft des Rohwassers und über die Wirksamkeit der Wasseraufbereitung aus. Schalenamöben gehören zu den sog. Wurzelfüßern, diese einzelligen Tiere bewegen sich auf der Rohrwandung und sind gekennzeichnet durch bewegliche, verschiebbare Fortsätze, mit denen sie Nahrungsobjekte (Bakterien, Partikel) umfließen und inkorporieren können. Ruderfußkrebse sind die artenreichste Gruppe der Krebse; die in den Trinkwasser-Verteilungssystemen nachgewiesenen Arten (z. B. *Paracyclops fimbriatus*) ernähren sich hier sowohl von organischen Partikeln als auch von anderen Tieren (wie z. B. Rädertierchen) die sie ergreifen. Fadenwürmer gehören zur typischen Mulmfauna von Trinkwasser-Verteilungssystemen oder leben im Biofilm; mit den verschiedenartigsten Mundwerkzeugen ausgestattet können sie andere Tiere, Aas, Bakterien oder Biofilme verwerten. Rädertiere sind die kleinsten der hier nachgewiesenen Tiere (meist < 0,2 mm), mit dem sog. Räderorgan filtern sie kleinste Partikel direkt aus dem Wasser und können diese durch sog. Kauern auch zerkleinern.

Das Vorkommen der Wasserasseln in Trinkwasser-Verteilungssystemen ist inhomogen, d. h. es gibt Rohrnetzabschnitte mit einer hohen Präferenz für Asseln und andere benachbarte Bereiche, in denen deutlich weniger Tiere auf-

treten (**Bild 3**). Es muss vermutet werden, dass unterschiedliche hydraulische Bedingungen einhergehend mit der Anreicherung von organischem Material ursächlich sind.

Als mögliche Eintragswege von Wasserasseln und anderen Kleintieren ins Trinkwassernetz sind drei Mechanismen zu nennen, Rückspülung von Schnellsandfiltern, Rohrnetzarbeiten und Rohrleckagen. Es erscheint unwahrscheinlich, dass Asseln einen Sandfilter aktiv durchwandern, aber bei der Rückspülung von Schnellsandfiltern wandern sie aktiv gegen die Strömung und können so ins Rohrnetz gelangen. Als weiterer zu diskutierender Besiedlungspfad sind Rohrnetzarbeiten zu nennen, insbesondere in Nähe von Gewässern, wenn die Baugruben nicht trocken gehalten werden. Ein dritter Eintragspfad können Rohrleckagen von tief im Grundwasser verlegten Leitungen sein, jeder Druckabfall im Rohrnetz führt dann zum Eintrag von Grundwasser mit den darin vorkommenden Organismen.

HYGIENISCHE UND ÄSTHETISCHE BEWERTUNG

Die Anzahl der Wasserasseln ist von erheblicher Bedeutung, wenn man davon ausgeht, dass Trinkwasser-Verteilungssysteme nicht dauerhaft frei von Wasserasseln sein können. Das vereinzelte Vorkommen von Wasserasseln kann auf seltene Einträge in geringer Anzahl zurückgeführt werden, und häufig wird hierbei kein reproduktionsfähiger Bestand entstehen. Bei wiederholten Einträgen bilden sich aber schnell reproduktionsfähige Bestände. Eine Klassifizierung der Anzahl der Wasserasseln in Häufigkeitsklassen ist in **Tabelle 2** dargestellt [9]; in der Häufigkeitsklasse „wenig“ (< 10 Tiere km^{-1}) kann vermutet werden, dass keine Reproduktion stattfindet, da der individuelle Abstand von einem weiblichen und männlichen Tier 200 m beträgt. Die Häufigkeitsklasse „mittel“ führt vermutlich bereits zu einer Reproduktion, die Häufigkeitsklasse „viel“ umfasst 300 bis 1000 Tiere km^{-1} , während bei > 1000 Tieren km^{-1} eine Massenentwicklung vorliegt.

Wasserasseln stellen keine direkte Gesundheitsgefährdung dar, es treten aber tote Tiere durch natürlichen Tod und Kannibalismus auf, und diese sind Bestandteil von lokalen Ansammlungen, dem Mulm (s. u.). Der Mulm führt zu einem erhöhten Risiko der Sekundärverkeimung und zu einer raschen Abnahme des Chlors bei der Nachchlorung. Kleintiere können auch als Vektoren für pathogene Keime dienen, da nach Ingestion von Bakterien diese im Darm vor Desinfektionsmitteln geschützt sind, die Bakterien aber mit dem Kot der Tiere wieder freigesetzt werden können [10].

Untersuchungen des Mulms haben ergeben, dass sich dieser aus Eisen- und Manganausfällungen, Kolonien von fädigen Eisenbakterien, Bruchstücken von Rohrmaterialien, Resten von Dichtfasern, Sand, Gallerten, vermutlich

gebildet durch den Biofilm, und Asselkot in Form von rostbraunen Pellets zusammensetzt. Bei Besiedlung der Trinkwasser-Verteilungssysteme kann der Mulm zu einem überwiegenden Anteil aus Asselkot bestehen wie in mehreren Spülungen festgestellt wurde (**Bild 4**). Asselkot ist im Wasser sehr stabil und zerfällt erst nach ca. drei Wochen, so dass es zu einer entsprechenden Akkumulation kommt; der Kot selber besteht zu ca. 40 % aus Kohlenstoff, kann also eine bedeutende Fraktion des POC im Wasser darstellen. Das Sekundärverkeimungspotenzial durch Asselkot im Rohrnetz muss daher als hoch eingestuft werden und ist Gegenstand der weiteren Forschungsarbeiten.

Lebende Wasserasseln, tote Asseln und Asselkot sammeln sich auch im Bereich der Endstränge und an Hausfiltern und können zu Sekundärverkeimungen führen. Bei experimentellen Untersuchungen an Hausfiltern (**Bild 5**) traten unter Durchflussbedingungen keine Verkeimungen auf (< 10 KBE L^{-1}), während bei Stagnation des Wassers mit den abgelagerten Feststoffen, u. a. Asselkot, bereits nach einem Tag nahezu 400 KBE mL^{-1} festzustellen waren. Bei Stagnation von Wasser mit toten Asseln im Hausfilter trat innerhalb von drei Tagen eine erhebliche Sekundärverkeimung mit ca.

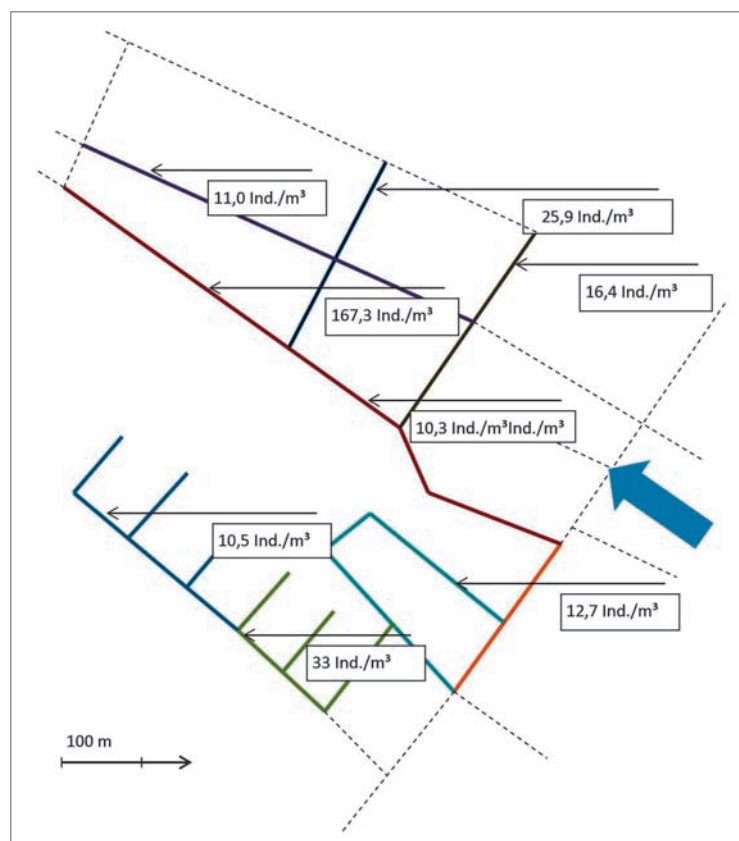


BILD 3: Lokale Verteilung von Wasserasseln in einem Trinkwasser-Verteilungssystem, blauer Pfeil: Zufluss von Wasserwerk

3500 BKE mL⁻¹ auf, d. h. eine 13,5-fache Überschreitung des Grenzwertes der TVO [3].

Das Problem der Sekundärverkeimung in Trinkwasserversorgungssystemen ist gegenwärtig im Focus einer intensiven Diskussion, da mehrfach über das Trinkwasser übertragene Infektionen von Intensivpatienten in Krankenhäusern bekannt geworden sind; als Erreger konnte *Pseudomonas aeruginosa* identifiziert werden [11, 12].

HYDRAULISCHE ROHRNETZANALYSE ZUR MODELLIERUNG DES PARTIKULÄREN ORGANISCHEN KOHLENSTOFFS

Aufgrund des abnehmenden Trinkwasserverbrauchs kommt es in zahlreichen Verteilungsleitungen vermehrt zu schwach ausgeprägten laminaren Strömungsbedingungen, die große Ablagerungsmengen ermöglichen (Bild 6). Diese Ablagerungen entstehen aus Korrosion, Ausfällungen, Ausflockungen und Partikeln, die am Wasserwerk ins Netz

eingetragen werden. Zusätzlich treten Biofilme an Rohr- und Partikeloberflächen auf. Für die Charakterisierung der Feststofffrachten des organischen Materials ist es notwendig am Wasserwerksausgang den DOC und POC zu bestimmen, denn der POC kann sich je nach hydraulischen Bedingungen in den einzelnen Leitungen eines Rohrnetzes anreichern. Da der Transport und die Ablagerung von Partikeln wesentlich durch die in den einzelnen Rohrleitungen vorherrschenden hydraulischen Bedingungen beeinflusst werden, ist eine Diskussion eines betrachteten Verteilungsnetzes hinsichtlich Stagnationszonen und schwach durchflossener Leitung erforderlich. Die dafür erforderliche hydraulische Modellierung ist Stand der Technik und wird durch Softwarelösungen zahlreicher Anbieter unterstützt, z. B. STANET, SIR 3S, InfoWorks WS und EPANET. Die hydraulische Modellierung ist Grundlage der anschließenden Wassergütemodellierung in Trinkwasser-Verteilungssystemen. Unter Berücksichtigung der Eigenschaften der am Wasserwerk eingetragenen organischen Partikel

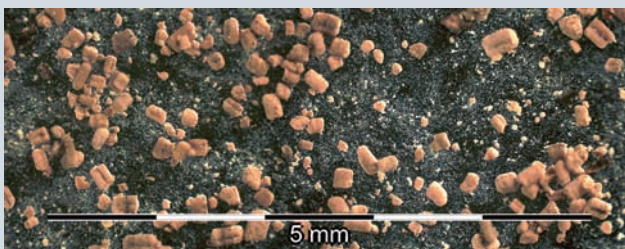


BILD 4: Rohrnetz-Spülrückstände aus 6 m³ Wasser, abgetrennt über ein 100 µm Filter (oben); Mikroskopische Darstellung der Spülrückstände – diese bestehen nahezu ausschließlich aus rostbraunem Asselkot-Pellets (unten)

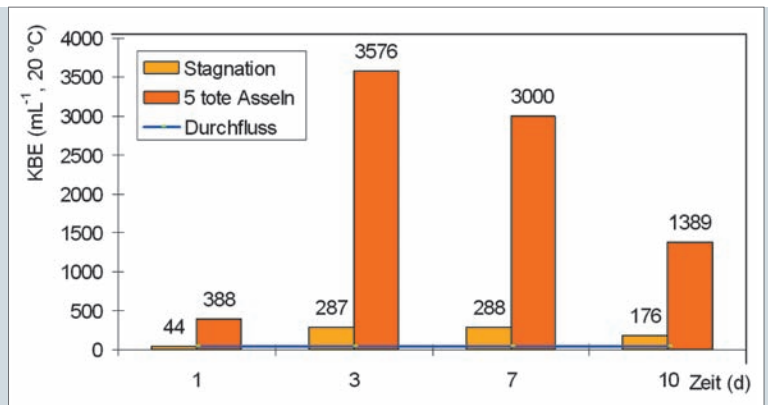


BILD 5: Verkeimung von handelsüblichen Hausfiltern bei schwacher Wasserentnahme, unter Stagnationsbedingungen (keine Wasserentnahme) sowie unter Stagnationsbedingungen mit fünf toten Wasserasseln auf dem Filter

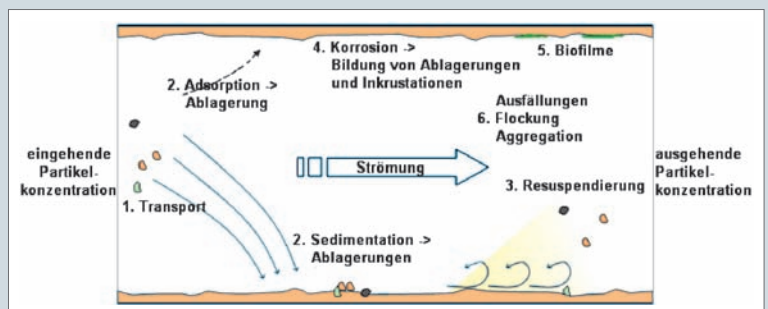


BILD 6: Partikelbezogene Transport- und Ablagerungsprozesse in Trinkwasserleitungen

kann deren Transport mit der Rohrströmung und die Ablagerung in einzelnen Leitungen berechnet werden. Die Überprüfung der Berechnungen erfolgt durch Spülungen in den betrachteten Netzen. Diese Daten werden belastbare Modelle für die Ausbreitung von Invertebraten und deren Kot in Trinkwasser-Verteilungssystemen liefern.

PROBENAHEME VON KLEINTIEREN

Zur Erfassung von tierischen Organismen in Wasserverteilungsanlagen existieren bislang noch keine standardisierten Verfahren. Die quantitative Analyse von Wasserasseln sowie weiteren Invertebraten in der Trinkwasserverteilung kann prinzipiell über zwei Verfahren erfolgen, die sich gegenseitig ergänzen und die in Kombination angewendet werden können.

Partikelfilter werden ähnlich den „normalen“ Rohrleitungen von Wasserasseln und anderen Kleinstorganismen besiedelt. Die im Filter lebenden Tiere können über ein (kräftiges) Rückspülen der Filter ausgetragen und somit einer Untersuchung zugänglich gemacht werden.

Im Falle von Hydranten werden die im Rohrleitungssystem lebenden Tiere über die Erzeugung einer Fließgeschwindigkeit mit entsprechender hydraulischer Wirkung im zu untersuchenden Netzabschnitt von den Wänden abgelöst, im Freiwasser transportiert, in geeigneten Netzen zurückgehalten und somit einer Untersuchung zugänglich gemacht. Zur Probeentnahme werden hohe Fließgeschwindigkeiten benötigt, um die Organismen quantitativ aus dem Rohrleitungssystem auszutragen. Infolge des hohen Wasserdruckes können die Tiere beim Auftreffen auf handelsübliche Planktonnetze jedoch zerschlagen werden. Im Falle hoher Filtrierleistungen muss daher mit Filtrierapparaturen gearbeitet werden, bei denen die Filtration mit sehr geringem Druck durchgeführt wird oder die Druckentlastung erst nach dem Filtrationsprozess erfolgt und somit eine schonende Abfiltrierung der Organismen möglich ist.

MASSNAHMEN BEI WASSERASSELBEFALL

Wasserasseln besitzen eine sehr hohe ökologische Toleranz und sind extrem widerstandsfähig, sie überstehen hohe Temperaturen (bis 42 °C), mehrstündige anaerobe Bedingungen (nach 20 h überleben 50 %), dauerhaft Salzgehalte bis 60 ‰ und niedrige pH-Werte (>2 h pH 2). Hohe Fließgeschwindigkeiten von bis zu 0,7 m s⁻¹ werden ertragen, dann erfolgt das Aufsuchen geschützter Nischen bzw. das sich Bewegen in die laminare Grenzschicht.

Somit sind die Möglichkeiten der Bekämpfung von Wasserasseln in Wasserverteilungsnetzen gering, und konventionelle Wasserspülverfahren haben nur eine begrenzte Effektivität. Wasserasseln klammern sich an den Untergrund und kleine Tiere können durch die laminare Grenzschicht an der Rohrwandung vor Abscherung geschützt werden. Intensivere Spültechniken wie Luft-Wasser-, Was-

ser-Saug- und Impulsspülung können eine höhere Wirksamkeit erzielen, eine Ablösung von Biofilmen und Inkrustierungen kann jedoch zu Sekundärverkeimungen führen.

Die physikalischen Verfahren zur Bekämpfung von Wasserasseln (UV, Ultraschall und Temperatur) sind ebenso wenig erfolgreich wie chemische Bekämpfungsverfahren, Chlor wird wirksam bei Konzentrationen von 2 mg L⁻¹ freiem Chlor, dies übersteigt die in Trinkwassernetzen zulässige Menge von 0,1 bis 0,3 mg L⁻¹. Für Ozon beginnt die Wirksamkeit bei ca. 1 mg L⁻¹, im Trinkwasser sind jedoch nur < 0,05 mg L⁻¹ freies Ozon zulässig. Der Einsatz von Bioziden (Pyrethrum, Pyrethroide) ist im Trinkwasser in Deutschland nicht zugelassen.

Ein neu entwickeltes und wirksames Verfahren zum Austrag von Wasserasseln stellt das CO₂-Spülverfahren dar. CO₂ übersättigtes Wasser wird verwendet, um die Tiere zu narkotisieren und somit ein Festhalten an den Rohrwandungen zu verhindern, die Wirkung tritt innerhalb weniger Minuten ein. Eine Pilotanlage der Fa. Scheideler Verfahrenstechnik, besteht aus zwei Komponenten:

- » einem Durchflussreaktor zur Erzeugung des CO₂-haltigen Trinkwassers, die Einspeisung erfolgt über einen Hydranten in den zu spülenden Rohrabchnitt, die dafür erforderliche Wasserentnahme erfolgt über einen Hydranten, und
- » einem Niederdruck-Hochdurchsatz-Filter zur Abtrennung der Wasserasseln am Ende der Spülstrecke (u. a. zum Nachweis der Effektivität der Spülmaßnahme, **Bild 7** und **Bild 8**). Mit Hilfe dieser Anlage sind bereits über 100 km Trinkwasser-Versorgungsleitungen gespült worden; die Effizienz der Spülmaßnahmen liegt bei 90 bis 95 %.

Die Sanierung befallener Rohrnetzsysteme muss neben den akuten Maßnahmen (i. w. CO₂-Spülung) auch mittelfristige Maßnahmen umfassen, insbesondere ist ohne die flankierende Reduzierung der Ernährungsgrundlage und die Optimierung des Rohrnetzes eine schnelle Wiederbesiedlung der Wasserasseln zu erwarten [9]. Insgesamt muss das Wiederbesiedlungspotenzial der Wasserasseln als hoch eingestuft werden, da die Tiere keine Fressfeinde haben und sich exponentiell vermehren können. Allerdings ist die Nahrung in der Trinkwasserverteilung suboptimal und somit die Eizahl geringer als im Freiland. Im Mittel wurden 26 (s = 18) Embryonen je Weibchen gefunden, so dass bei zwei Generationen pro Jahr 340 Nachkommen auftreten, bei drei Generationen sind es bereits über 4000 Tiere, allerdings können bei derartigen Dichten Verluste durch Kannibalismus auftreten.

Wenige Wasserasseln (< 30 Tiere km⁻¹) sind im Rohrnetz nicht über die Menge des organischen Materials nahrungslimitiert, während dies bei dichten Populationen (ca. 1000 Tiere km⁻¹) der Fall ist. Somit muss die Entwicklung des Biofilms über den DOC-Gehalt des Trinkwassers begrenzt werden, und es müssen relativ geringe Gehalte an organischen Kohlenstoff angestrebt werden [9].

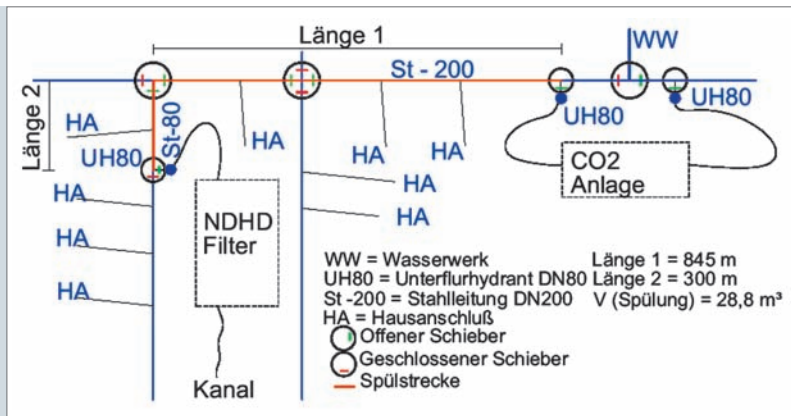


BILD 7: Anwendung des CO₂-Spülverfahrens zum Austrag von Wasserasseln aus Trinkwasser-Versorgungsleitungen



BILD 8: CO₂-Reaktor für die Herstellung des Spülwassers (oben), Niederdruck-Hochsatz Filter am Auslass-Hydrant zum Nachweis von Wasserasseln (unten)

MULTIMETRISCHER BEWERTUNGSINDEX

Bislang existieren keine geeigneten Methoden, die belastbare und reproduzierbare Aussagen zur Qualität und Quantität einer Besiedelung von Trinkwasser-Verteilungssystemen mit Invertebraten erlauben, dies gilt auch für die qualitative und quantitative Bestimmung organischer Ablagerungen, u. a. von Asselkot. Entsprechend fehlt bislang auch ein geeignetes Vergleichs- bzw. Bewertungssystem zur Einordnung derartiger Informationen, dies ist aber notwendig, um sowohl eine quantitative Einordnung zu ermöglichen (was ist viel – was ist wenig) als auch Aussagen treffen zu können, mit welcher Dringlichkeit und wo weitere Maßnahmen (im Netz oder Wasserwerk) erforderlich sind.

Derzeit ist nur auf Grund der vorhandenen Datenbasis eine vergleichende Einordnung der jeweiligen Ergebnisse möglich, einem Wasserversorger kann bescheinigt werden, dass die Befunde in dem aktuell untersuchten Trinkwassersystem höher oder niedriger ausfallen im Vergleich zu anderen untersuchten Systemen. Diese Einschätzung kann jedoch kaum Grundlage eines spezifisch zu erstellenden Handlungskonzeptes sein. Für die Erarbeitung passgerechter Lösungskonzepte ist ein Bewertungssystem auf der Basis objektiver, unabhängiger Bewertungskriterien erforderlich.

Es ist vorgesehen, das im Rahmen des Forschungsprojektes zu entwickelnde Verfahren zur Bewertung von Invertebraten und partikulären Ablagerungen in Systemen der Trinkwasserverteilung in Form eines Multimetrischen Index (MMI) zu strukturieren. Grundlage dieses MMI werden verschiedene Bewertungskriterien sein, mit deren Hilfe der Zustand des zu beurteilenden Rohrleitungssystems beschrieben werden kann. Das Wasserverteilungssystem wird somit gleichzeitig unter verschiedenen Aspekten (z. B. Individuendichten, Ablagerungen usw.) betrachtet, was die Qualität der Aussage deutlich erhöht gegenüber der Verwendung nur eines Kriteriums. Aus dem MMI kann unmittelbar die Dringlichkeit ggf. erforderlicher Maßnahmen abgeleitet werden (Bild 9).

ROHNETZMANAGEMENT BEI WASSERASSELBEFALL

Die Optimierung des Betriebes von Trinkwasser-Verteilungssystemen umfasst in erster Linie Rohrnetzspülungen, im Fall des Vorkommens von Wasserasseln mit dem CO₂-Spülverfahren, um Mulm und Wasserasseln auszutragen. Idealerweise sollte erreicht werden, dass die wenigen verbleibenden Wasserasseln unterhalb der Schwelle eines reproduktionsfähigen Bestandes liegen. Eine Neueinwanderung kann durch 100 µm Siebe im Rohrnetz (z. B. nach Schnellsandfilter, vor einer Fremdwassereinspeisung) verhindert werden. Für erfolgreiche Spülungen ist es notwendig, dass das Rohrnetz durch eine ausreichende Anzahl an Absperrrmaturen in einzelne Bereiche

abgeschiebert werden kann. Überdimensionierte Rohrleitungen, kurze Rohrerweiterungen und nicht durchflossene Endstränge müssen konstruktiv vermieden werden bzw. rückgebaut werden, da sie die Ablagerungsbildung und Entwicklung von Wasserasseln fördern. Eine hydraulische Modellierung des Rohrnetzes kann hierbei wichtige Entscheidungsgrundlagen und Prioritäten liefern. Rohrnetzarbeiten dürfen nur in trockenen Baugruben ausgeführt werden, gegebenenfalls muss nach Abschluss der Arbeiten eine Rohrnetzspülung erfolgen. Das Rohrmaterial hat nach dem gegenwärtigen Stand der Untersuchungen keinen signifikanten Einfluss auf den Asselbefall, Leitungen mit kleineren Querschnitten (< 75 mm) werden dagegen nur vereinzelt von Wasserasseln besiedelt.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen zweier Forschungsvorhaben des BMWi werden neue Verfahren zum Monitoring und zum Austrag von Wasserasseln sowie anderer Kleintiere aus Trinkwasserversorgungssystemen entwickelt. Verschiedene Arten von Kleintieren, deren größter Vertreter die Wasserassel ist, sind häufige Kontaminanten in Trinkwasserversorgungssystemen, und müssen aufgrund der vorhandenen Gesetze und Regelwerke reduziert werden; Kleintiere im Trinkwasser sind Fremdorganismen und führen zur Beeinträchtigung der Qualität des Trinkwassers.

Wasserasseln kommen insbesondere im Trinkwasser vor, dass hohe Konzentrationen an organischem Kohlenstoff aufweist. Es werden Dichten von bis zu 1000 Tieren km^{-1} (= Häufigkeitsklasse „viel“) und mehr (= massenhaftes Vorkommen) beobachtet. Der Eintrag von Wasserasseln kann über Schnellsandfilter bei der Rückspülung, bei Rohrnetzarbeiten und bei Rohrleckagen von im Grundwasser verlegten Rohren erfolgen. Der sinkende Wasserverbrauch begünstigt die Bildung von Ablagerungen im Rohrnetz, dem Mulm, und stellt eine Nahrungsgrundlage für die Wasserasseln dar. Steigende Temperaturen des Trinkwassers fördern die Entwicklung von Wasserasseln durch die Ausbildung einer dritten Generation, dies bedeutet eine exponentielle Zunahme der Nachkommen.

Wasserasseln stellen keine direkte Gesundheitsgefährdung dar, sie führen aber zur ästhetischen und hygienischen Beeinträchtigung des Trinkwassers. Bei mehrtägigen Standzeiten des Wassers z. B. in Hausfiltern findet eine Sekundärverkeimung statt, die die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung überschreiten kann. Tote Wasserasseln auf Hausfiltern führen bei drei Tagen Stagnationszeit zu einer erheblichen Überschreitung der TVO Grenzwerte.

Bei Asselbefall von Trinkwasserleitungen können die rostbraunen partikulären Ablagerungen zum überwiegenden Teil aus Asselkot bestehen. Asselkot besteht zu ca. 40 % aus organischen Bestandteilen und damit muss ein erhebliches Sekundärverkeimungspotenzial erwartet



BILD 9: Schematische Darstellung des Bewertungsverfahrens von Invertebraten in Trinkwasser-Verteilungssystemen mittels eines Multimetrischen Index

werden. Durch eine hydraulische Modellierung sollen die Akkumulationszonen im Rohrnetz und die Verfrachtung von Ablagerungen, u. a. dem Asselkot und von Asseln, ermittelt werden.

Bislang existierte kein erfolgreiches Verfahren, um Wasserasseln weitgehend aus dem Rohrnetz auszutragen, da sie sich bei erhöhten Wasserströmungen fest an die Rohrwandung krallen. Konventionelle Verfahren der Bekämpfung von Wasserasseln sind nur begrenzt erfolgreich. Mit dem neu entwickelten CO₂-Spülverfahren werden die Asseln betäubt und können dann ausgespült werden.

Die Bewertung von Invertebraten und partikulären Ablagerungen in Systemen der Trinkwasserverteilung kann zukünftig in Form eines Multimetrischen Index erfolgen, Grundlage sind verschiedene Bewertungskriterien, mit deren Hilfe der Zustand des zu beurteilenden Rohrleitungssystems beschrieben werden kann.

Die Reduzierung der Wasserasseln im Rohrnetz muss neben der direkten Bekämpfung auch eine Redu-

zierung der Nahrungsressourcen vornehmen, d. h. die Verringerung des Eintrages von organischem Kohlenstoff durch Optimierung der Wassergewinnung und -aufbereitung.

AUTOREN



PRIVATDOZENT DR. GÜNTER GUNKEL
 Technische Universität Berlin, FG
 Wasserreinigung, Berlin
 Tel. +49 30/31425847
 E-Mail: guenter.gunkel@tu-berlin.de



DIPL.-BIOL. UTE MICHELS
 Aqualytis, Königs Wusterhausen
 Tel. +49 3375/246366
 E-Mail: utemichels@aqualytis.com



DIPL.-ING. (FH) MICHAEL SCHEIDELER
 Scheideler Verfahrenstechnik GmbH,
 Haltern am See
 Tel. +49 2364/10545-0
 E-Mail: ms@scheideler.com



DIPL.-ING. KLAUS RIPL
 Technische Universität Dresden,
 Institut für Siedlungs- und Industrie-
 wasserwirtschaft
 Tel. +49 351/46342565
 E-Mail: Klaus.Ripl@tu-dresden.de

LITERATUR

- [1] DVGW W 271 „Tierische Organismen in Wasserversorgungsanlagen“ (1997)
- [2] DIN 2000 „Zentrale Trinkwasserversorgung - Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser, Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung der Versorgungsanlagen.“ DVGW
- [3] TVO „Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.“ BGBl I 2001, 959, Änderung durch Art. 263 V v. 25.11.2003 I 2304
- [4] UBA „Stellungnahme der Trinkwasserkommission zum Vorkommen von Oligochaeten und anderen Kleintieren in Wasserversorgungsanlagen“ Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 3, 302. (2004)
- [5] EG-Richtlinie des Rates vom 3. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (98/83/EG). Amtsblatt der EG L 330/32 (1998)
- [6] WHO “Guideline for Drinking water Quality” (2004)
- [7] WHO “Safe piped water. Chap. 6. Colins E. Small animals in drinking-water distribution systems.” IWA Publ., 101-120. (2004)
- [8] Michels, U.: Die Wasserassel (Asellus aquaticus) in Wasserversorgungsanlagen. www.s200380463.online.de/cms.media/downloads/Studie_Wasserassel_neu.pdf. (2008)
- [9] Gunkel, G.; Scheideler, M.: Wasserasseln in Trinkwasser-Verteilungssystemen – nur ein ästhetisches Problem? Eintrag, Vorkommen und Bewertung der Wasserasseln. gwf –Wasser | Abwasser (subm.) (2010)
- [10] Levy, R. V.: Invertebraten and associated bacteria in Drinking water distribution lines. In: Drinking Water Microbiology: Progress and Recent Developments. Springer, 224-248 (1990)
- [11] Trautmann, M.; Halder, S.; Lepper, P. M.; Exner, M.: Reservoirs von Pseudomonas aeruginosa auf der Intensivstation. Gundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 52 (2009) Nr., 3, S. 339-344
- [12] Blanc, D. S.; Francioli, P.; Zanetti, G.: Molecular Epidemiology of Pseudomonas aeruginosa in the intensive care units – a review. Open Microbiol. (2007) J. 1, p. 8-11