

Kleintiere in der Trinkwasserverteilung –

Vorkommen und Anwendung des DVGW-Arbeitsblattes W 271 Teil 1: Makroinvertebraten

Wirbellose Tiere sind in Trinkwasser-Verteilungssystemen allgegenwärtig und führen bei einer übermäßigen Entwicklung mindestens zur ästhetischen Beeinträchtigung der Wasserqualität. Die Bedeutung der Rohrnetzbewohner steht im Fokus aktueller Forschungen. Somit ist die Kenntnis des Vorkommens der verschiedenen Arten der Kleintiere und deren Besiedlungsdichten für die Beurteilung und die daraus abzuleitende Rohrnetzpflege von zentraler Bedeutung. Über 1.000 Hydrantenproben aus dem europäischen Tiefland liefern die Grundlage für eine Bewertung der auftretenden Makroinvertebraten (> 2 mm) und es werden Richt- und Kontrollwerte der Besiedlung mit den Bewertungsklassen „Normalbesiedlung“, „Kontrollbereich“ und „Massenentwicklung“ vorgestellt.

von: Dr. Günter Gunkel (TU Berlin), Dr. Ute Michels (AquaLyTis) & Michael Scheideler (Scheideler Dienstleistungen)

Die Anforderungen an die Trinkwasserqualität sind in den europäischen Ländern sehr hoch und umfassen die mikrobiologische, die physikalische sowie die chemische Unbedenklichkeit. Daneben sind aber auch international Kriterien wie die sogenannte biologische Stabilität [1] benannt; ergänzend haben Michels et al. [2] den Begriff der „biologischen Trinkwasserqualität“ eingeführt. Diese bewertet das Vorkommen von Invertebraten und stellt, ähnlich wie die physikalisch-chemische und die mikrobiologische Trinkwasserqualität, ein Element in der Gesamtbewertung dar. Beide Konzepte überlappen und ergänzen einander und haben zum Ziel, die Prozesse zwischen der Trinkwasseraufbereitung einerseits und den Konsumenten andererseits zu erfassen. Neben den verwendeten Materialien im Versorgungsnetz sind dessen hydrodynamische Eigenschaften und die Temperatur wichtige Faktoren, die die Qualität des Trinkwassers beeinflussen. Die für die Rohrnetzpflege notwendigen technischen Strategien sind entwickelt worden und umfassen die hydrodynamische Modellierung des Rohrnetzes, Rohrnetzspülungen mit verschiedenen Verfahren und Zielsetzungen, das Monitoring der Kleintiere am Hydranten und den Einbau von Partikelfiltern, um nur einige zu nennen. Mit dem überarbeiteten DVGW-Arbeitsblatt W 271 (2018) liegt nun auch ein technisches Regelwerk vor, das das Vorkommen, die Erfas-

sung und die orientierende Bewertung der Kleintiere in den verschiedenen Stufen der Trinkwasseraufbereitung und -verteilung beschreibt und regelt. Fokus dieser Publikation ist ein Beitrag zur Umsetzung des DVGW-Arbeitsblattes W 271 in der Trinkwasserverteilung, insbesondere die Entwicklung belastbarer Kriterien für die Bewertung des Vorkommens der Rohrnetzbewohner.

Datengrundlage

Im Rahmen der Rohrnetzpflege wurden in den vergangenen Jahren regelmäßig und standardisiert Hydranten der Trinkwasser-Verteilungssysteme mit je 1 m³ Wasservolumen beprobt, um das Auftreten und die Verbreitung von Invertebraten zu erfassen. Die Kleintiere wurden schonend über Filtrierapparaturen, z. B. einen Niederdruck-Hochdurchsatz (NDHD)-Edelstahlfilter mit einer Maschenweite von 100 µm, abgetrennt und mikroskopisch analysiert. Die Abundanzen wurden in einer Datenbank mit derzeit insgesamt 1.039 Datensätzen zusammengefasst und mit statistischen Methoden bewertet.

Untersucht wurden überwiegend Trinkwasser-Verteilungssysteme mit Aufbereitung von oberflächennahem Grundwasser und Uferfiltration mit Schwerpunkt im mitteleuropäischen Tief-

land. Die Auswahl der Hydranten erfolgte weitgehend unabhängig. Neben Rohrnetzen mit offensichtlich hoher Besiedlung von Makroinvertebraten wurden auch bisher unauffällige Netze untersucht, darüber hinaus erfolgten Vor- und Nachuntersuchungen bei Spülungen. Somit kann ein Trend zur Beprobung auffälliger Hydranten nicht abgeleitet werden.

Biologische Stabilität und biologische Qualität des Trinkwassers

Das Konzept der biologischen Stabilität des Trinkwassers beschreibt die Prozesse und Stoffumsetzungen, die im Verteilungsnetz auftreten und sich auf die Trinkwasserqualität auswirken. Bereits 2006 hat die Weltgesundheitsorganisation (WHO) auf die Bedeutung der biologischen Stabilität des Trinkwassers im Zusammenhang mit der mikrobiologischen Sicherheit hingewiesen („Water entering the distribution system must be microbially safe and ideally should also be biologically stable“, [1, 3]). Eine umfassende Bewertung der biologischen Stabilität liegt von Prest et al. [4] vor. Es handelt sich hierbei um komplexe, multifaktorielle Prozesse als Wechselwirkung zwischen den Wasserinhaltsstoffen, der Art und Struktur des Rohrnetzes und der Besiedlung. Das Ziel der biologischen Stabilität des Wassers ist eine nur minimale Änderung der Wasserqualität während des Transportprozesses im Netz. Bislang konnten aber keine verbindlichen Kriterien für die biologische Stabilität des Trinkwassers entwickelt werden.

Die Erfassung der biologischen Trinkwasserqualität ist zur regulären Überwachung des Rohrnetzes notwendig und liefert die Bewertungsgrundlage

für Pflegemaßnahmen des Verteilungsnetzes mit dem Ziel, eine ausreichende biologische Stabilität des Wassers vom Punkt der Erzeugung bis hin zum Verbraucher zu gewährleisten. Untersuchungen zur Entwicklung der Biofilme im Rohrnetz [5], zur Mikrobiologie [6], zur Optimierung der Spülverfahren [7, 8, 9] und zur Funktion der Invertebraten im Rohrnetz [10, 11] sind nur einige der aktuellen Forschungsansätze.

Bestimmende Faktoren für die biologische Stabilität des Trinkwassers sind

- die Biofilmentwicklung in Abhängigkeit vom Rohrmaterial, dem Alter und der Behandlungshistorie des Netzbereichs,
- die hydrodynamischen Prozesse der Sedimentation und Verfrachtung,
- das Auftreten von Kleintieren als Trinkwasserbiozönose,
- die Wechselwirkungen von gelöstem und partikulärem organischen Kohlenstoff mit dem Biofilm und
- die Temperatur.

Die Temperatur ist einer der wesentlichen produktionsbestimmenden Faktoren. Biologisch wenig stabiles Wasser führt zur vermehrten Entwicklung von Mikroorganismen.

Der Begriff biologische Trinkwasserqualität beschreibt die Besiedlung des Trinkwasser-Verteilungssystems mit Organismen als komplexe Wechselwirkung der Mikroorganismen des Biofilms (Bakterien und Pilze), den Kleintieren innerhalb der Netzleitungen und den gelösten und partikulären organischen Bestandteilen des Wassers (DOC, POC), die als Nahrungsressource für die Rohrnetzbesiedler von Bedeutung sein können [11]. Das Vor-

kommen der Kleintiere kann ebenso wie die Anreicherung von Faeces (Kotpartikel) und toten Organismen als Anzahl pro m³ erfasst werden; daneben stellt das Biovolumen (in mm³) einen weiteren Bewertungsparameter dar. Insbesondere die Kotpellets der Wasserasseln zeichnen sich durch eine hohe Stabilität aus (> 6 Wochen) und reichern sich langfristig in Teilen des Verteilungsnetzes an [12]. Der Asselkot enthält einen hohen Anteil an organischen Stoffen und kann als gutes Substrat für Bakterien und Pilze angesehen werden. Häufig bestehen die rostroten Mulmablagerungen, die bei Rohrnetzspülungen ausgetragen werden, zu großen Teilen aus diesem Wasserasselkot.

Einige der im Rohrnetz auftretenden Organismen können darüber hinaus eine Bedeutung für die Verbreitung potenzieller humanpathogener Bakterien haben und müssen als entsprechende Indikatorarten erfasst und bewertet werden. Während dies für Mikroinvertebraten gut dokumentiert ist (u. a. Verfrachtung von *Legionella* durch Amöben), ist die mögliche Bedeutung der Makroinvertebraten noch weitgehend ungeklärt.

Größenklassifizierung der Rohrnetzbewohner

Die Trinkwasser-Rohrnetzbewohner umfassen verschiedene Organismengruppen, dabei sind folgende Größenklassen zu unterscheiden:

- Die Mikroben (Bakterien), u. a. humanpathogene Arten wie *Pseudomonas putida*, *Aeromonas hydrophila*, *A. caviae* und *E. coli*; es handelt sich um kleine Zellen (< 1 µm), die häufig mit dem Biofilm vergesellschaftet sind. ▶



Hydraulik und Asset-Engineering für Rohrnetze

Auslegen / Berechnen / Analysieren / Optimieren / Zusammenhänge
Fahrweisen / Regelungen / Dynamik / Druckstoß / Energieeffizienz
Asset-Strategien / Zustand / Risiko / Spülplanung / Zielnetzplanung

3S Consult GmbH — 30 Jahre Engineering und Software — www.3sconsult.de



- Die Gruppe der Einzeller (Protozoa) ist mit Amöben (Nackt- und Schalenamöben) und Wimperntieren (Ciliaten) vertreten. Amöben und Ciliaten können bis 0,1 mm groß werden, größere Formen sind nicht trinkwasserrelevant. Die Amöben bewegen sich entweder kriechend fort oder können als freilebende Protozoen mit dem Wasserstrom verfrachtet werden. Bei den Wimperntieren treten sowohl angeheftete (sessile) als auch freischwebende (vagile) Arten auf.
- Kleine Mehrzeller (Metazoa), bis 100 µm groß, bilden zusammen mit den Protozoa die Mikrofauna, neben den Amöben und Ciliaten umfasst diese auch die Gruppe der Rädertiere (Rotifera).
- Größere Mehrzeller von > 100 µm bis < 2 mm werden als Meiofauna bezeichnet, sie setzen sich vor allem aus den Gruppen der Hüpferlinge (Copepoden), Blattfußkrebse (Phyllopoden) und Milben (Ostracoda) zusammen.
- Große Mehrzeller, die Makroinvertebraten, sind Kleintiere von > 2 mm bis 10–15 mm Größe; es handelt sich hierbei u. a. um die Rohrnetzbewohner Wasserassel (z. B. *Asellus aquaticus*), Flohkrebse (z. B. *Niphargus aquilex*) und Wenigborster (z. B. *Stylaria lacustris*).

Makroinvertebraten als Rohrnetzbewohner

Der dominierende Vertreter der Makroinvertebraten in Trinkwasser-Verteilungssystemen ist die Wasserassel (*Asellus aquaticus*), ein charakteristischer Bewohner von Oberflächengewässern. Wasserasseln werden im Freiland bis zu 2 cm groß, ernähren sich omnivor (Allesfresser) und weisen eine sehr hohe Fortpflanzungsrate auf, u. a. durch Brutpflege und Ausbildung einer 3. Generation als Folge der Wassererwärmung. Der Vermehrungszyklus beginnt bereits, je nach Wassertemperatur, in den Monaten Februar/März. Untersuchungen in verschiedenen Trinkwasser-Verteilungssystemen in den Niederlanden und Deutschland belegen eine nahezu ubiquitäre Verbreitung von *Asellus aquaticus*: In den Niederlanden waren demnach 97 Prozent von 36 Verteilungssystemen besiedelt, in Deutschland wurde eine Besiedelung in 79 Prozent von den insgesamt 1.039 untersuchten Messstellen festgestellt ([10], eigene Daten); vergleichbare Daten liegen aus Dänemark vor [13]. Das Auftreten von Wasserasseln führt zu einem erhöhten Risiko der Verkeimung durch deren Kot und durch gestorbene Tiere, insbesondere unter Stagnationsbedingungen [14].

Die Höhlenassel (*Proasellus cavaticus*), ein typischer Vertreter der Grundwasserorganismen in Höhlen und Karstgebieten, bevorzugt kühle Wassertemperaturen und besitzt dementsprechend einen geringen Stoffwechsel mit langsamer Vermehrung. Die Größe der Höhlenassel beträgt 5–8 mm, sie ernährt sich von organischen Ablagerungen. Der Höhlenflohkrebs (*Niphargus aquilex*) wiederum kommt natürlich im Grundwasser (Sandlückensystem) und in Höhlen vor, er lebt räuberisch, aber auch Detritus und Bakterienfilme bilden seine Nahrungsgrundlage. Seine Größe beträgt bis zu 30 mm.

Zuckmücken (Chironomiden) besitzen wasserlebende Larven- und Puppenstadien, sie kommen nur selten in Trinkwassersystemen vor (u. a. *Paratanytarsus grimmii*). Die Larven sind bis 20 mm lang, 1–2 mm im Durchmesser, wurmförmig und besiedeln den Biofilm. Die Ernährung ist omnivor. Das Auftreten von Zuckmückenlarven im Trinkwasser-Verteilungsnetz ist in der Regel auf den Eintrag adulter Tiere über unvollständige Abdichtungen von Trinkwasserbehältern zurückzuführen, diese Tiere können dann die Eier an den feuchten Wänden ablegen. Einige wenige Arten vermehren sich jedoch parthenogenetisch und können so Trinkwasserverteilungen besiedeln (*Limnophyes asquamatus*, eigene Daten). Das Vorkommen von Chironomiden (Eigelege und Larven) führt zu einem erhöhten Risiko der Kontamination mit *Aeromonas* (die Eigelege dienen als Wirt und schützen vor Desinfektion), während die Larven der *Chironomiden Aeromonas* als Darmbewohner innerhalb des Trinkwasser-Verteilungssystems transportieren [15].

Springschwänze (Collembolen), Insekten aus der Gruppe der Sechsfüßler, sind meist kleine Tiere von 1–5 mm Länge. Sie fressen organische Ablagerungen, der Lebensraum sind feuchte Böden und Wasseroberflächen. Springschwänze treten nur vereinzelt in Trinkwasser-Verteilungssystemen auf, ein direkter Eintrag über das Rohwasser ist nicht auszuschließen.

Die Gruppe der Borstenwürmer (Oligochaeta) ist vergleichsweise artenreich und mit schwer zu unterscheidenden Arten regelmäßig in Trinkwasser-Verteilungssystemen vertreten. Es handelt sich um Detritusfresser. Die mittlere Körpergröße liegt bei 1,4 mm, einige bekannte Arten werden aber bis 85 mm groß. In den Trinkwasser-Verteilungssystemen werden sehr

Tabelle 1: Vorkommen von Makroinvertebraten in Trinkwasser-Verteilungssystemen im mitteleuropäischen Tiefland und Größenangaben der ausgetragenen Tiere, Datengrundlage = 1.039 Hydrantenbeprobungen mit 100 µm Filtration

Tiergruppe (Makroinvertebraten)	Stetigkeit des Vorkommens (%)	mittleres Vorkommen (Median, Ind. m ⁻³)	Größenbereich (mm)
Wasserassel (<i>Asellus aquaticus</i>)	79,3	15,6	1–11
Höhlenassel (<i>Proasellus cavaticus</i>)	vereinzelt		< 6
Höhlenflohkrebs (<i>Niphargus aquilex</i>)	1,4	1,9	< 7
Gnitzen (Simuliide), adulte Tiere	vereinzelt		1–4
Chironomiden-Larven	vereinzelt		< 6
Chironomiden, adulte Tiere (<i>Limnophyes asquamatus</i>)	vereinzelt		2
Oligochaeten (Oligochaeta)	74,9	6,0	1–40
Springschwänze (Collembolen)	vereinzelt		1–5
Posthörnchenschnecken (<i>Gyraulus crista</i>)	vereinzelt *)		< 3
Spitze Blasenschnecken (<i>Physella acuta</i>)	vereinzelt *)		< 12

*) Es wurden nur Gehäuseschalen ausgetragen, Nachweis lebender Tiere erfolgte mit der CO₂-Spülung.

Quelle: Günter Gunkel

häufig kleinere Arten aus den Familien der Naididae (z.B. *Nais spp.*, *Stylaria sp.*, *Chaetogaster sp.*), Enchytraeidae (*Enchytraeus sp.*, *Marionina sp.*) und Aelosomatidae (*Aelosoma sp.*) nachgewiesen [10]. Verbraucherbeschwerden resultieren meist aus der Anwesenheit größerer Tiere, z. B. aus den Familien der Tubificidae (z. B. *Tubifex tubifex*, bis 85 mm Länge) und Lumbriculidae (z. B. *Stylodrilus heringianus*, bis 40 mm Länge). Ihre Anwesenheit deutet auf das Vorhandensein größerer Mengen organischer Ablagerungen hin.

Vertreter der Schnecken sind nur in einigen Trinkwassernetzen zu finden, können dann aber auch hohe Populationsdichten erreichen. Gefunden wurden das Posthörnchen (*Gyraulus crista*), ein Vertreter der Tellerschnecken, und die Spitze Blasenschnecke (*Physella acuta*). Obwohl das Posthörnchen zu den Lungenschnecken gehört, ist sie in der Lage, dauerhaft unter Wasser zu leben. Dies wird durch die kleine Größe (bis 3 mm), eine Hautatmung und Hämoglobin im Blut ermöglicht. Die Tiere sind typische Weidegänger, d. h., sie weiden den Biofilm ab. Die Spitze Blasenschnecke wiederum hat ein konisches Gehäuse und wird bis 12 mm groß. Obwohl auch diese Schnecke zu den Lungenschnecken gehört, ist sie in der Lage, dauerhaft unter Wasser zu leben, wenn dieses genug Sauerstoff enthält; die Sauerstoffaufnahme wird in diesem Fall durch Hautatmung und zusätzliche Kiemenanhänge unterstützt. Die WHO berichtet auch vom Auftreten der Zebrauschnecke (*Dreissena polymorpha*) [3], Nachweise im Untersuchungsgebiet sind nicht bekannt.

Bei den vorkommenden Makroinvertebraten handelt es sich überwiegend um charakteristische Vertreter der Oberflächengewässer, nur die Höhlenasseln (*Proasellus cavaticus*) und der Höhlenflohkrebs (*Niphargus aquilex*) sind typische Vertreter der Grundwasserfauna. Bei den Springschwänzen und den Chironomiden ist vermutlich ein regelmäßiger Neueintrag von zentraler Bedeutung, für eine selbstständige Entwicklung der Tiere in Trinkwasser-Verteilungssystemen gibt es keine Anhaltspunkte (Ausnahme: Zuckmücke *Paratanytarsus grimmii*).

Die Zusammensetzung und Abundanz der Makroinvertebraten-Biozönose unterliegen einer sehr großen Varianz; Wasserasseln und Oligochaeten sind hierbei die Organismengruppen mit der höchsten Stetigkeit und Abundanz. Andere Tiergruppen treten nur gelegentlich bzw. vereinzelt in Trinkwasser-Verteilungssystemen auf (Tab. 1). Das Vorkommen der Wasserasseln und der Oligochaeten erfolgt unabhängig voneinander, d. h., eine starke Besiedlung mit Wasserasseln impliziert nicht auch eine starke Besiedlung mit Oligochaeten und vice versa.

Bewertung des Vorkommens der Makroinvertebraten

Das DVGW-Arbeitsblatt W 271 liefert erstmalig orientierende Angaben zum quantitativen Vorkommen der Invertebraten. Der Normalbereich der Besiedlung von Trinkwasser-Verteilungssystemen mit Makroinvertebraten wird mit einem Individuum pro Kubikmeter (1 Ind. m⁻³) angegeben, bei übermäßiger Besiedlung treten 10 bis

zum niederen zweistelligen Bereich Ind. m⁻³ auf. Risiko- oder Grenzwerte sind nicht benannt. Zwischen Makroinvertebraten, den Wasserasseln und den Oligochaeten als häufigste Organismengruppen wird nicht differenziert.

Diese Orientierungswerte des DVGW-Arbeitsblattes W 271 können zusammen mit den umfangreichen Einträgen der seit fünf Jahren entwickelten Datenbank genutzt werden, um Richt- und Maßnahmenwerte für das Vorkommen der Makroinvertebraten und der Wasserasseln herzuleiten. Folgende Kriterien sind für die Bewertung der Abundanzzahlen als statistische Randbedingungen vorzugeben und bilden die Grundlage für die Klassifizierung:

- Ein signifikanter Anteil der Untersuchungen sollte als Normalbesiedlung definiert werden, da mitunter Makroinvertebraten aus der Trinkwasser-Aufbereitung in die Verteilungssysteme eingetragen werden können.
- Bei der Probenahme von 1 m³ dürfen geringfügig kleinere Volumina nicht durch Rundung zu einem Klassensprung führen, d. h., die Abundanzzahlen werden als ganze Zahlen definiert.
- Deutliche Überschreitungen der regulären Besiedlung sollten als Extreme nicht berücksichtigt werden, diese Überschreitungen dürfen nur wenige Prozent umfassen.
- Die Bewertungsklassen „Normalbesiedlung“, „übermäßige Besiedlung“ und „massenhafte Besiedlung“ sollten eine exponentielle Zunahme ausdrücken, d. h., die Abundanzen werden durch eine logarithmische Skalierung linearisiert und in gleiche Segmente eingeteilt.

Die Anwendung dieser Kriterien auf die vorhandenen 1.039 Datensätze der Makroinvertebraten-Datenbank gelingt sehr gut und in guter Übereinstimmung mit dem DVGW-Arbeitsblatt

W 271. Bei nahezu allen untersuchten Hydrantenproben sind Makroinvertebraten aufgetreten, der Median der Abundanz beträgt dabei 16 Ind. m⁻³, die 10-, 25-, 75- und 90-Perzentile liegen bei 2, 5, 46 bzw. 135 Ind. m⁻³ (Tab. 2).

Analog können die Daten zum Vorkommen der beiden häufigsten Vertreter der Makroinvertebraten, nämlich Wasserasseln und Borstenwürmer, bewertet werden. Die Wasserasseln weisen eine Stetigkeit von 79 Prozent auf, mit einem Median der Besiedlungsdichte von 7,7 Ind. m⁻³. Die Werte für die Oligochaeten sind vergleichbar, die Stetigkeit beträgt 75 Prozent und der Median der Häufigkeit beträgt 6,0 Ind. m⁻³. Der Höhlenflohkrebs als echter Grundwasserorganismus ist die dritthäufigste Art der Makroinvertebraten, mit einer Stetigkeit von nur 1,4 Prozent und einer mittleren Häufigkeit von 1,9 Ind. m⁻³. Die weiteren vorkommenden Makroinvertebraten treten nur vereinzelt auf und können somit durch die statistischen Methoden nicht ausreichend genau beschrieben werden. Es ergeben sich folgende Bewertungsklassen:

- Die Verteilungskurve der Makroinvertebraten in Trinkwasser-Verteilungssystemen zeigt deutlich eine normalsigmoide Verteilung mit einem Bereich ansteigender Anzahlen des Vorkommens im Bereich von < 1 bis bis 3 Ind. m⁻³. Dieser Bereich kann als Normalbesiedlung definiert werden, 3 Ind. m⁻³ wären somit ein Richtwert für das Vorkommen der Makroinvertebraten (Abb. 1). 20,5 Prozent der untersuchten Hydrantenproben sind diesem Normalbereich zuzuordnen.
- Die nächste Häufigkeitsklasse ergibt sich aus der Halbierung des Logarithmus des Maximalwertes von 500 Tieren m⁻³ (ohne Berücksichtigung von einigen Ausreißern in Höhe von 2,3 Prozent der Daten, Maximalwert: 4.764 Ind. m⁻³), und es können Bewertungs-

Tabelle 2: Abundanzen der Makroinvertebraten insgesamt sowie der häufigsten Organismen in Trinkwasser-Verteilungssystemen, Probenahme erfolgte entsprechend dem DVGW-Arbeitsblatt W 271 durch 1 m³ am Hydranten, Datenumfang = 1.039 Proben, Median und Perzentile sind nur für positive Proben berechnet; Angaben in Ind. m⁻³

Art	Stetigkeit	Median	10 Perzentil	25 Perzentil	75 Perzentil	90 Perzentil
Makroinvertebraten insgesamt	96,5 %	15,6	2,0	5,2	46,0	134,7
Wasserassel (<i>Asellus aquaticus</i>)	79,3 %	7,7	1,0	2,8	24,0	61,0
Borstenwürmer (<i>Oligochaeten</i>)	74,9 %	6,0	1,0	2,0	19,2	92,3
Höhlenflohkrebs (<i>Niphargus aquilex</i>)	1,4 %	1,9	0,7	1,2	3,5	10,2

Quelle: Günter Günkel

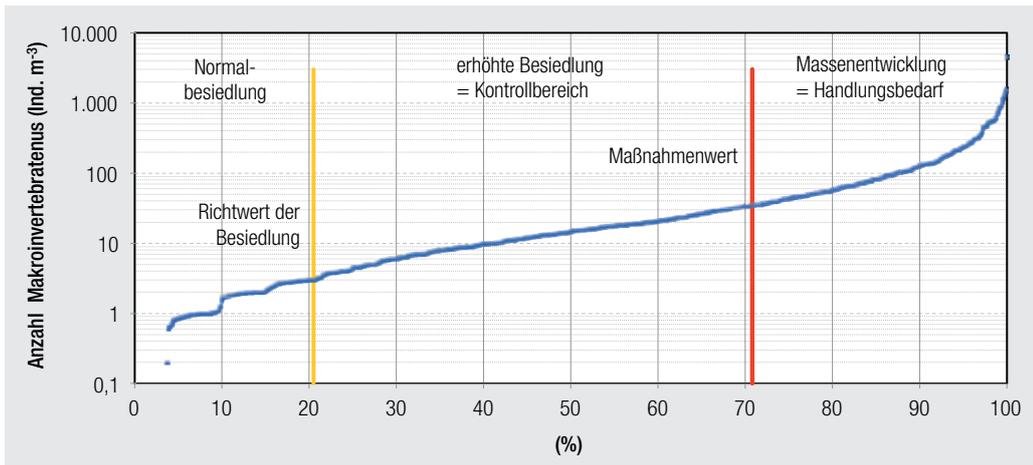


Abb. 1: Häufigkeitsverteilung der Makroinvertebraten in Trinkwasser-Verteilungssystemen als Ranking der Anzahl der Tiere; dargestellt ist die Anzahl der Tiere in Ind. m^{-3} (sortiert mit steigender Anzahl der Tiere) in Abhängigkeit von dem Rang der Häufigkeit der Proben, 100 Prozent entspricht 1.039 Proben.

Quelle: Günter Gunkel

klassen von 3–35 sowie 35–500 Ind. m^{-3} gebildet werden. Als erhöhte Besiedlung (= Kontrollbereich) ist die Häufigkeit von 3–35 Ind. m^{-3} zu benennen. Aufgrund des erhöhten Vorkommens der Makroinvertebraten muss dieser Bereich jedoch regelmäßig und flächendeckend kontrolliert werden. Gleichzeitig muss die Probenbearbeitung durch ein fachlich kompetentes Labor erfolgen, d. h., hier liegt ein Bereich mit erhöhtem Vorkommen und notwendigen Kontrollen (= Kontrollbereich) vor. Zudem sollten Maßnahmen zur Reduzierung des Vorkommens der Makroinvertebraten geprüft und ggf. umgesetzt werden. 50,3 Prozent der untersuchten Hydrantenproben sind dieser Belastungsklasse zuzuordnen.

- Als massenhafte Besiedlung ist die Häufigkeit von 35–500 Ind. m^{-3} zu benennen, aufgrund des massenhaften Vorkommens der Makroinvertebraten besteht hier ein dringender Handlungsbedarf, d. h., die Entwicklung der Makroinvertebraten muss regelmäßig untersucht werden. Es müssen Maßnahmen zur Verringerung der Besiedlung ergriffen werden; mikrobiologisch-hygienische Beeinträchtigungen der Wasserqualität können nicht ausgeschlossen werden und erfordern entsprechende Einbindung der Gesundheitsämter. 29,2 Prozent der untersuchten Hydrantenproben sind dieser Belastungsklasse zuzuordnen.

Die teilweise extremen Zahlen des Vorkommens der Makroinvertebraten ($> 500 \text{ Tiere m}^{-3}$) mit dem Maximum von 4.764 Ind. m^{-3} bestätigen die Richtigkeit des vorgestellten Verfahrens: Der Mittelwert der Anzahl der Makroinvertebraten beträgt 67 Tiere m^{-3} und liegt um den Faktor vier über dem Median des Vorkommens; der Mittelwert spiegelt nicht das tatsächliche Vorkommen der Makroinvertebraten wider.

Die für die Makroinvertebraten insgesamt entwickelte Klasseneinteilung in Normalbesiedlung, Kontrollbereich und Massenentwicklung ist auch analog auf das Vorkommen der Wasserasseln und der Borstenwürmer angewendet worden, beide Organismengruppen weisen eine sehr hohe Steitigkeit (> 75 Prozent) auf und sind auch zahlenmäßig häufig vertreten. Für die Wasserasseln ergeben sich Bewertungsklassengrenzen, die naturgemäß geringer sind als die der Makroinvertebraten insgesamt: Normalbesiedlung = $< 2 \text{ Ind. m}^{-3}$, Kontrollbereich = 2–20 Ind. m^{-3} und Massenentwicklung mit 20–200 Ind. m^{-3} (Tab. 3). Im Vorkommen der Wasserasseln treten zusätzlich einige Extreme (mit im Maximum 869 Ind. m^{-3}) auf.

Für die Borstenwürmer ergeben sich ähnliche Bewertungsklassengrenzen wie für die Wasserasseln, d. h., die Anzahl der Makroinvertebraten wird in der Regel durch das Auftreten beider Arten bestimmt. Dabei beträgt die Normalbesiedlung der Borstenwürmer $< 1 \text{ Ind. m}^{-3}$, Kontrollbereich = 1–30 Ind. m^{-3} und Massenentwicklung mit 30–400 Ind. m^{-3} (Tab. 3). Im Vorkommen der Borstenwürmer treten zusätzlich einige Extreme mit im Maximum 4.723 Ind. m^{-3} auf.

Ausblick und weiteres Vorgehen

Die Verknüpfung des DVGW-Arbeitsblatts W 271 mit den empirischen Daten der Hydrantenuntersuchungen ermöglicht die Definition von normaler, übermäßiger und massenhafter Besiedlung und kann somit als Grundlage für Richt- und Maßnahmenwerte dienen. Neben der Gesamtzahl der Makroinvertebraten ist die Differenzierung in die vorkommenden Arten von großer Bedeutung, um bei überdurchschnittlichen Besiedlungsdichten gezielte Maßnahmen ergreifen zu können und deren Wirksamkeit durch ein Monitoring entsprechend

den Empfehlungen des DVGW-Arbeitsblattes W 271 zu erfassen. Von zentraler Bedeutung für die Festlegung der verschiedenen Besiedlungsniveaus aufgrund der Hydrantenbeprobung ist unzweifelhaft die Effizienz der Untersuchungsmethode: Die Empfehlungen des Arbeitsblatts sind dabei unbedingt einzuhalten, d. h. Beprobung von 1 m³, ausreichende Spülgeschwindigkeit von mindestens 0,5 m sec⁻¹ und schonende Abtrennung der Organismen. Stationäre mehrstufige Filter (Filtrierapparaturen) haben gegenüber Planktonnetzen erhebliche Vorteile im Handling und in der Fängigkeit. Auch die qualifizierte Bestimmung der Organismen mittels Binokular muss gewährleistet sein [16].

Bei der Bewertung der verschiedenen Besiedlungsintensität ist zu beachten, dass mit dem vorgestellten Verfahren – standardisierte Probenahme am Hydranten – nur ein Teil der im Rohrnetz lebenden Kleintiere ausgetragen wird. Einige Organismen können sich in der einige Millimeter umfassenden laminaren Grenzschicht befinden, andere Organismen wie die Wasserasseln krallen sich aktiv an der Rohrwandung fest. Somit sind die tatsächlichen Besiedlungsdichten deutlich höher als die der Hydrantenbeprobung. Durch Vergleich der Datenbank „Hydrantenbeprobung“ und der Datenbank „CO₂-Spülungen“, die zu einem nahezu vollständigen Austrag der Makroinvertebraten führen [17], kann der Austragsfaktor der Hydrantenbeprobung ermittelt werden: Er beträgt zwischen 12 und 30 Prozent mit der Tendenz, bei höheren Dichten zuzunehmen. Hierbei handelt es sich um den Vergleich der 25-, 50- und 75-Perzentile des Austrages der beiden Verfahren; die Datengrundlage, d. h. die Hydranten und die CO₂-Spülstrecken, sind jedoch verschieden.

Die Umsetzung des DVGW-Arbeitsblatts W 271 führt zu neuen Aufgaben bei den Wasserversor-

gern, da neben der Kenntnis des Vorkommens der Invertebraten auch Maßnahmen bei überdurchschnittlich hohen Besiedlungszahlen erforderlich werden. Hierbei ist es notwendig, auf den hohen Standard und die hohe Qualität des Trinkwassers hinzuweisen. Allerdings standen bisher die hygienische/mikrobiologische und chemische Trinkwasserqualität im Fokus des Interesses. Die biologischen Qualitätsparameter wurden nur vereinzelt erfasst, z. T. mit unzureichenden Methoden, und einige bedeutende Parameter sind nicht Gegenstand routinemäßiger Untersuchungen. Hier stellt das DVGW-Arbeitsblatt W 271 die notwendigen wissenschaftlichen Grundlagen und technischen Erfordernisse dar und ist somit eine wesentliche Erweiterung der alten Fassung aus dem Jahr 1997. Das Auftreten von Kleintieren in der Trinkwasserverteilung wurde bislang als internes Problem betrachtet, u. a. auch da keine gesetzlichen Richt- oder Grenzwerte benannt sind. Obwohl in den letzten Jahren neue Spültechniken entwickelt wurden [7, 8, 14, 18], erfolgt die Implementierung dieser Verfahren nur langsam. Erfreulicherweise ist jedoch seit wenigen Jahren ein stark wachsendes Bewusstsein bei den Wasserversorgern festzustellen und die biologische Stabilität des Wassers bzw. die biologische Trinkwasserqualität sind zu allgemein akzeptierten Qualitätsbegriffen für das Trinkwasser geworden. ■

Literatur

- [1] WHO: Guidelines for drinking-water quality incorporating first addendum. Vol. 1, Recommendations, Genf 2006.
- [2] Michels, U., Gunkel, G., Scheideler, M., Rippl, K.: Invertebraten im Trinkwasser – Probenahme, Analytik, Bewertung, Berlin 2013.
- [3] WHO: Guidelines for drinking-water quality, Genf 2011.
- [4] Prest, E., Hammes, F., Mark, C.M. van Loosdrecht, M. C. M., Vrouwenvelder, J. S.: Biological stability of drinking water: Controlling factors, methods, and challenges, in: *Frontiers in Microbiology* 7, 45.
- [5] Wingender, J., Flemming, H.C.: Biofilms in drinking water and their role as reservoirs for pathogens. in: *Int. J. Hyg. Environm. Health* 214, S. 417–423.
- [6] Szewzyk, U., Szewzyk, R., Manz, W., Schleifer, K.-H.: Microbiological Safety of drinking water. in: *Annu. Rev. Microbiol.* 54, S. 81–127.

Tabelle 3: Klasseneinteilung des Vorkommens der Makroinvertebraten, der Wasserasseln und der Borstenwürmer in Trinkwasser-Verteilungssystemen. Bewertungsgrundlage bilden die standardisierte Probenahme von 1 m³ am Hydranten mit einer Fließgeschwindigkeit von > 0,5 m sec⁻¹ und druckloser Filtration. Datengrundlage bilden 1.039 Hydrantenuntersuchungen.

Art	ohne Befund (%)	Normalbesiedlung		Kontrollbereich		Massenentwicklung	
		Anzahl (Ind. m ⁻³)	Häufigkeit (%)	Anzahl (Ind. m ⁻³)	Häufigkeit (%)	Anzahl (Ind. m ⁻³)	Häufigkeit (%)
Makroinvertebraten insgesamt	3,5	< 3	17,0	3–35	50,3	35–> 500	29,2
Wasserassel (<i>Asellus aquaticus</i>)	20,7	< 2	16,7	2–20	40,8	20–>200	21,8
Borstenwürmer (<i>Oligochaeten</i>)	25,1	< 1	10,3	1–30	50,5	30–> 400	14,1

Quelle: Günter Gunkel

- [7] Ripl, K., Slavik, I., Uhl, W.: Systematik und Vorgehensweise bei der Erstellung von Spülplänen zur Reinigung von Wasserverteilungsnetzen mittels „Spülen mit klarer Wasserfront“, in: gwf-Wasser/Abwasser, Heft 9/2014, S. 976–983.
- [8] Ripl, K., Slavik, I., Edel, Th., Oltmann, J., Uhl, W.: Modellbasierte Spülplanoptimierung für Trinkwasserverteilungsnetze am Beispiel des Netzes eines niedersächsischen Wasserverbandes, in: gwf-Wasser/Abwasser, Heft 11/2014, S. 1194–1203.
- [9] Donath, O., Korth, A.: Überprüfung des Spülverfahrens für Trinkwasserleitungen im Hinblick auf die Nachhaltigkeit. Abschlussbericht, Bonn 2015.
- [10] van Lieverloo, J. H. M., Hoogenboezem, W., Veenendaal, G., van der Kooij, D.: Variability of invertebrate abundance in drinking water distribution systems in the Netherlands in relation to biostability and sediment volumes. in: Wat. Res. 46, 4918–4932.
- [11] Michels, U.: Invertebraten in Trinkwasserverteilungssystemen. Lebensraum, Verbreitung, Nahrungsbeziehungen, Berlin 2018.
- [12] Gunkel, G., Titze, D.: Kotpellets als Indikator für die Besiedlung von Trinkwasser-Versorgungssystemen mit Wasserasseln, in: gwf-Wasser/Abwasser, Heft 9/2013, S. 996–1002.
- [13] Christensen, S. C. B.: Asellus aquaticus and other invertebrates in drinking water distribution systems – occurrence and influence on microbial water quality, Lyngby 2018.
- [14] Gunkel, G., Michels, U., Scheideler, M., Ripl, K.: Vorkommen und Bedeutung von Kleintieren in Trinkwasser-Verteilungssystemen – Maßnahmen zu deren Regulierung, in: 3R, Heft 12/2010, S. 716–724.
- [15] Halpern, M., Senderovoi, Y.: Chironomid Microbiome. Microb. Ecol. 70, 1–8.
- [16] Michels, U., Gunkel, G., Scheideler, M.: Nachweis wirbelloser Tiere in der Trinkwasser-Verteilung – ein Methodenvergleich, in: DVGW energie | wasser-praxis, Heft 12/2016, S. 98–104.
- [17] Gunkel, G., Michels, U., Scheideler, M.: Invertebrates in Drinking Water Distribution Systems – Filter System for Hydrant Sampling and CO₂-Flushing for Elimination of Water Bugs. in: gwf-Wasser / Abwasser Internat., 156, 52–56.
- [18] Jünemann, P., Szymczak, R.: Schirm. Innovatives Spülverfahren für Wasserverteilungsnetze, in: 3R, Heft 3/2017, S. 71–75.

Weiterführende Literatur

- DVGW: DVGW-Arbeitsblatt W 271: Invertebraten in Wasserversorgungsanlagen; Vorkommen und Empfehlungen zum Umgang, Bonn 2018.
- TZW: Spülverfahren und Spülstrategien für Trinkwassersysteme – Einsatzmöglichkeiten und Einsatzgrenzen. Bericht DVGW-Forschungsvorhaben, Karlsruhe 2010.

Die Autoren

Dr. Günter Gunkel ist Mitglied im Kompetenzteam „Biologische Trinkwasserqualität“ und Dozent an der Technischen Universität Berlin, FG Wasserreinhaltung (Limnologie und aquatische Ökotoxikologie).

Dr. Ute Michels ist Mitglied im Kompetenzteam „Biologische Trinkwasserqualität“ und war Mitglied im DVGW-Projektkreis „Tierische Organismen in Wasserversorgungsanlagen“; sie ist tätig als freiberufliche Biologin unter „AquaLytis“.

Michael Scheideler ist Mitglied im Kompetenzteam „Biologische Trinkwasserqualität“ sowie Geschäftsführer der Scheideler Verfahrenstechnik GmbH und der Scheideler Dienstleistungen in der Wasserwirtschaft.

Kontakt:

Dr. Günter Gunkel

Rüdesheimer Str. 2a, 13465 Berlin

Tel.: 030 40169-94

E-Mail: guenter.gunkel@water-quality-control.de

Internet: www.water-quality-control.de

H Ä T T E W E N N
U N D A B E R

Berufswelten
Energie & Wasser

Ungefähr ein Drittel der Belegschaft in den Ver- und Entsorgungsunternehmen wird altersbedingt bis 2025 aus dem aktiven Berufsleben ausscheiden. Handeln Sie jetzt!

Gemeinsam gegen den Fachkräftemangel: www.berufswelten-energie-wasser.de