

Repräsentative Beprobung von Trinkwasserverteilungssystemen

Ute Michels¹, Jessica Polak¹, Michael Scheideler² & Günter Gunkel³

¹AquaLytis, ²Scheideler Dienstleistungen, ³Technische Universität Berlin

Abstract: Small invertebrate became more important for water distribution mains since few years, but until now there are low standard methods for sampling and analyzing these animals in drinking water distribution systems. Within an interdisciplinary research project of the Berlin University of Technology, the Technical University of Dresden and the companies AquaLytis and Scheideler Verfahrenstechnik a sampling and analyzing system has been developed, which enable a gentle and quantitative separation of water louses, their feces and of other invertebrates using flushing of a water hydrant. The presented method consists of flushing a main section and filtering the flushed water through two separate Filters (100 µm, 25 µm) after dividing the flow (1:9). Removal efficiency for different taxa or animal groups were evaluated by collecting invertebrates removed from mains after flushing the main sections with the new sampling system and after flushing the main sections with carbonated water. The results show a bright variability. Comparable results depend on the kind of sampling technology primarily, flow rates and the material of main have no influence of the removal efficiency (range of flow-rate between 0,5 to 1,5 m/s). Furthermore quality and quantity of deposits are important too to access the abundance of water louse in drinking water distribution systems.

Keywords: Trinkwasserverteilungssystem, Invertebraten, Wasserqualität, Biologische Trinkwasserqualität, Wasserassel, *Asellus aquaticus*

1. Einleitung

In den letzten Jahren gewann der biologische Aspekt in der Trinkwasserversorgung insbesondere in der Trinkwasserverteilung vermehrte Aufmerksamkeit infolge des Auftretens von Makroinvertebraten (mit dem bloßen Auge sichtbare wirbellose Tiere wie Wasserasseln, Brunnenkrebse und Gliederwürmer) bei einigen Endverbrauchern und den damit im Zusammenhang stehenden Verbraucherbeschwerden. Umfangreiche Untersuchungen zum Vorkommen und zur Verbreitung wirbelloser Tiere in der Trinkwasserverteilung wurden in den Niederlanden (van Lieverloo et al., 2004, 2012) und Dänemark

(Christensen et al., 2011) durchgeführt; wesentliche Erkenntnisse für die Praxis der Wasserversorgung in der BRD sind im Regelwerk des DVGW in Form des DVGW-Hinweises W 271 zusammengefasst (DVGW, 1997).

Zur qualitativen und quantitativen Untersuchung von tierischen Organismen in Wasserversorgungsanlagen existieren bislang kaum verbindliche standardisierte Verfahren. Im europäischen Kontext gibt es allein in den Niederlanden eine für die wasserwirtschaftliche Praxis verbindlich festgelegte Methode (van Lieverloo et al., 2004). Die mit unterschiedlichen Methoden erhobenen Daten sind somit nicht oder nur eingeschränkt miteinander vergleichbar. Eine Harmonisierung vorhandener Daten respektive der zur Erhebung angewandten Methodik wäre nicht nur für eine Gesamtschau der Problematik 'Invertebraten in der Trinkwasserverteilung' wünschenswert sondern auch Grundlage für eine Einordnung und Bewertung der Befunde und die ggf. erforderliche Ableitung von Maßnahmen.

Im Fokus des Forschungsprojektes standen somit die methodischen Aspekte der Invertebratenproblematik, die Erarbeitung von technischen und verfahrenstechnischen Grundlagen für eine repräsentative und vergleichbare Datenerhebung.

Im Falle der in der Trinkwasserverteilung vorkommenden und überlebensfähigen Tiere handelt es sich um Arten der unter Meiofauna und/oder Benthos zusammengefassten ökologischen Gruppen. Von Einzellern über kleine Metazoa bis zu makroskopisch sichtbare Invertebraten wurden in Trinkwasserverteilungssystemen registriert, entsprechend vielfältig ist auch deren Größenspektrum (Gunkel et al., 2010; van Lieverloo et al., 2004, 2012; Christensen et al., 2011). Diese Tiere sind an ihren natürlichen Lebensraum durch verschiedene Strategien und insbesondere durch ihr thigmotaktisches Verhalten angepasst. Die hier vorkommenden Arten schützen sich mit Hilfe verschiedener Ausbildungen und/oder speziellen Verhaltensweisen vorm Verdriften. Im Ersatzlebensraum Rohrleitung besiedeln die überlebensfähigen wirbellosen Tiere die Rohrwandungen und/oder leben in den sich dort regelmäßig bildenden Ablagerungen.

Aus den Kenntnissen zum natürlichen und „technischen“ Lebensraum sowie den morphologischen sowie physiologischen Eigenschaften der vorkommenden Tierarten ergeben sich folgende Anforderungen an die Technik sowie das Verfahren zur Probeentnahme:

1. Die im natürlichen Lebensraum am Gewässergrund lebenden Tiere besiedeln die Wände des Rohrleitungssystems und halten sich dort fest, → während der Probeentnahme muss der Festhaltereflex überwunden werden;
2. Das Größenspektrum der bisher festgestellten Organismen reicht von 20 µm bis zu 15 mm, → mit der verwendeten Filtertechnik muss eine quantitative Erfassung der vorkommenden Taxa möglich sein;

3. Wirbellose Tiere sind zumeist empfindlich z. B. gegenüber mechanischer Beschädigung, → das Verfahren der Probeentnahme darf nicht zur Beschädigung / Zerstörung der Tiere führen;
4. Das Trinkwasser ist im Vergleich zu „normalen Oberflächengewässern“ ein nährstoffarmer Lebensraum, was zur Ausbildung geringerer Individuendichten führt, → für ein reproduzierbares Ergebnis sind größere Wassermengen zu filtrieren.

Die Entnahme von Proben für eine Analyse von Invertebraten erfolgt meist über Hydranten, indem über die Erzeugung einer Fließgeschwindigkeit mit entsprechender hydraulischer Wirkung die Tiere von den Wänden abgelöst, ins Freiwasser transportiert, über geeignete Netze zurückgehalten und somit einer Untersuchung zugänglich gemacht werden. Mit der einfachsten Möglichkeit, handelsübliche Planktonnetze direkt an geeignete Zapfstellen anzubringen und das Wasser entsprechend zu filtrieren, sind jedoch keine quantifizierbaren Aussagen möglich, da die Tiere beim Auftreffen auf die Gaze zerschlagen werden können. In vielen Fällen wird daher mit Filtrierapparaturen gearbeitet, bei welchen die Druckentlastung erst nach dem Filtrationsschritt erfolgt (DVGW, 1997) oder dieser sogar drucklos durchgeführt wird (Scheideler et al., 2013). Die Maschenweiten der verwendeten Filter variieren von 10 bis 500 µm, wobei in jedem Falle ein Kompromiss zwischen der Möglichkeit, große Volumenströme/Wassermengen filtrieren zu können und der möglichst vollständigen Erfassung aller vorhandenen Organismen gefunden werden muss. Im Falle der von Christensen et al. (2011) dokumentierten Untersuchungen erfolgte der Filtrationsschritt im Labor bei entsprechend geringen Filtrationsgeschwindigkeiten (2 - 10 L/min) unter Einkaufnahme des damit verbundenen enormen Zeitaufwandes.

2. Material and Methoden

2.1. Arbeitshypothese und Versuchsplanung

Während die oben unter Punkt 2 - 4 benannten Anforderungen an eine repräsentative Beprobung mit der Entwicklung des technischen Equipments berücksichtigt werden müssen (s. Scheideler et al., 2013), geht es im Folgenden um die Erarbeitung eines standardisierbaren Verfahrens zur Gewährleistung repräsentativer Ergebnisse.

Im Rahmen von Praxistests in Trinkwasserverteilungssystemen wurde untersucht, welche konkreten Randbedingungen während der Probeentnahme eingehalten bzw. eingestellt werden müssen, um

1. einen möglichst vollständigen/weitgehenden Austrag von Tieren aus dem Rohrleitungssystem zu erreichen und um
2. vergleichbare Ergebnisse zu erzielen.

Da die zu analysierenden Organismen vor allem am Boden und an den Wänden des Rohrleitungssystems leben und sich dort direkt oder indirekt festhalten, müssen diese über die Erzeugung einer entsprechenden Fließgeschwindigkeit zunächst von den Wandungen abgelöst werden, um mit dem Wasserstrom ausgetragen zu werden. In vorangegangenen Untersuchungen wurde immer wieder deutlich, dass insbesondere der Austrag von Wasserasseln erst bei Fließ- bzw. Spülgeschwindigkeiten um 1 m/s erfolgt (Christensen et al., 2011; van Lieverloo et al., 2004; DVGW, 1997). Dies führte zur Arbeitshypothese, dass ein quantitativ reproduzierbarer Austrag vor allem von der in der zu beprobenden Rohrleitungsstrecke erzeugten Strömungsgeschwindigkeit abhängt. Darüber hinaus wird das Material der Rohrleitung als zweiter wesentlicher, den quantitativen Austrag beeinflussender Parameter benannt (Christensen et al., 2011). Das Versuchsprogramm beinhaltet somit die Untersuchung verschiedener Leitungsmaterialien und die Beprobung verschiedener Teststrecken bei unterschiedlich hohen Strömungsgeschwindigkeiten. Die nachfolgende Übersicht fasst die Planung der Versuche zusammen (Tabelle 1).

Tabelle 1. Vorplanung der Teststrecken; PE =Polyäthylen, AZ = Asbestzement, St = Stahl, GG = Grauguss, GGG = duktiler Grauguss.

Variante	Material	Fließgeschwindigkeit während der Probeentnahme [m s ⁻¹]	Anzahl geeigneter Teststrecken
1.1	PE	0,6	2
1.2	PE	1	1
1.3	PE	1,6	-
2.1	AZ	0,6	2
2.2	AZ	1	2
2.3	AZ	1,5	1
3.1	St	0,6	2
3.2	St	1	2
3.3	St	1,5	1
4.1	GG / GGG	0,6	1
4.2	GG / GGG	1	-
4.3	GG / GGG	1,5	-

2.2. Durchführung der Tests in Trinkwasserverteilungssystemen

Unter Berücksichtigung der Versuchsplanung wurden aus dem jeweiligen Betriebsführungsgebiet der Wasserversorger geeignete Teststrecken ausgewählt und im November/Dezember 2012 beprobt. Neben dem Vorhandensein der zu

testenden Rohrmaterialien mussten an der entsprechenden Strecke folgende Voraussetzungen gegeben sein,

- die Rohrleitungsstrecke ist durch Schieberstellungen separat zu beproben (um im gesamten Rohrabschnitt eine gleichbleibende Fließgeschwindigkeit zu gewährleisten, dürfen keine Abzweigungen vorhanden sein),
- die Rohrleitungsstrecke enthält möglichst gleiche Rohrdurchmesser und Materialien,
- das Vorhandensein von zwei Eintritts- und einem Austrittshydranten,
- die Fließgeschwindigkeiten entsprechend Versuchsplanung müssen erreichbar sein.

Unter diesen Prämissen war es nicht möglich, alle Testvarianten durchzuführen; die Auswertungen wurden somit auf die Materialien Stahl, Asbestzement und Polyäthylen begrenzt, im Falle von Grauguss als Rohrleitungsmaterial konnte nur eine Teststrecke untersucht werden.

Der Versuchsablauf wurde generell in zwei Phasen unterteilt (Abb. 1):

Phase 1: Spülung der Teststrecke und Entnahme der Proben mittels Filtrierapparatur (NDHD-S2, Scheideler et al., 2013) mit folgenden technischen Spezifikationen: Entnommenes Wasservolumen: 1m³,
Aufteilung des Volumenstromes: 1:9,
Maschenweiten der Filter: 25 µm (1/10-Teilstrom) und 100 µm (9/10 Teilstrom),
Spülgeschwindigkeit: entsprechend Versuchsplanung.

Phase 2: Nachspülen der Teststrecke mit kohlendioxidhaltigem Wasser, um die in der Teststrecke noch verbliebenen wirbellosen Tiere auszutragen und Filtration des Spülwassers über die Filtrierapparatur (NDHD-S2). Um einen möglichst vollständigen Austrag zu gewährleisten, wurden Spülung und anschließende Probeentnahme mehrmals wiederholt. Um einen Eintrag wirbelloser Tiere aus vorgelagerten Rohrleitungen zu verhindern, wurde im Falle der CO₂-Spülungen ein Vorfilter mit der Maschenweite von 100 µm verwendet.

2.3. Analyse und Datenaufbereitung

Die Aufarbeitung der entnommenen Proben erfolgte entsprechend den in der limnologischen Praxis gängigen Methoden zur Analyse von Zooplankton bzw. der Meiofauna. Die in den Proben vorhandenen wirbellosen Tiere wurden unter optischer Vergrößerung determiniert, vermessen und gezählt; die Zähl- und Messergebnisse und die daraus berechneten Biomassen wurden auf das jeweilige Rohrvolumen der Teststrecke bezogen und als Anzahl in Ind./m³ bzw. als Biomasse in µg/m³ angegeben. Der Grad der Determination richtete sich nach

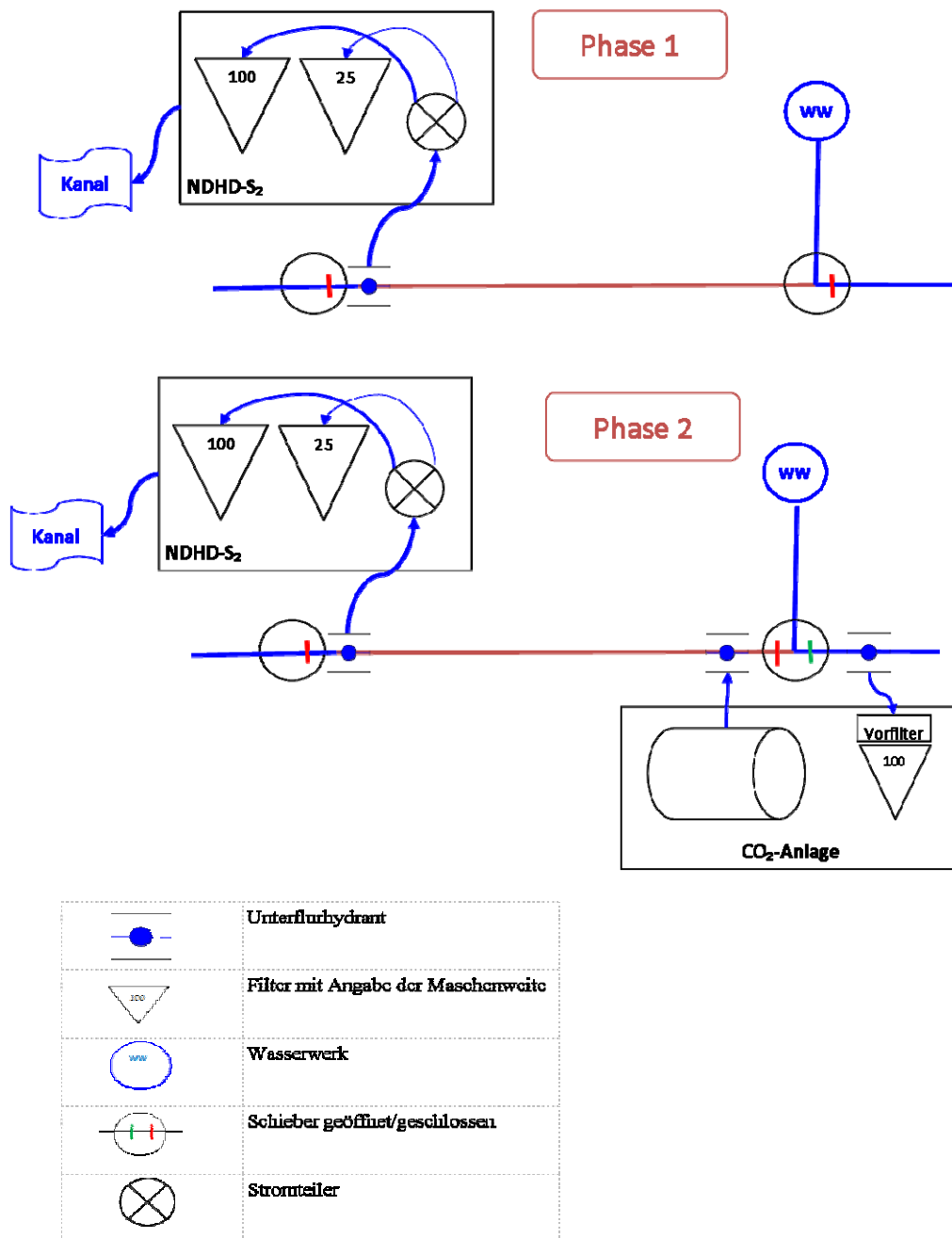


Abb. 1. Versuchsaufbau und Versuchsablauf (schematische Darstellung).

dem Erfordernis, ein Biovolumen bzw. eine Biomasse zu ermitteln. Im Falle von Tiergruppen mit einfachem Körperbau (z. B. Gliederwürmer, Fadenwürmer) war hierfür die Angabe der Tiergruppe bereits ausreichend, im Fall von Schalenamöben oder Rädertierchen erfolgte die Determination bis auf Gattungs- oder Artniveau. Auf dieser Grundlage konnte für Makro- und Mikroinvertebraten und für die Kotpellets von Wasserschnecken der jeweilige Austrag über die

Filtrierapparatur (NDHD-S2), die CO₂-Spülung und ein Gesamtaustrag ermittelt werden. Die Berechnung der Biovolumina bzw. Biomassen erfolgt nach von Tümpling & Friedrich (1999).

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1. Taxazahlen und Individuendichten

Unter den oben benannten Prämissen konnte eine Vielzahl von Taxa registriert werden, die insgesamt 8 verschiedenen Tiergruppen zuzuordnen sind. Der aktuelle qualitative Nachweis ist dem früherer Untersuchungen sowie Angaben für ähnliche Erhebungen in den Niederlanden sowie Dänemark vergleichbar (z. B. Gunkel et al., 2010; Christensen et al., 2011; Evans, 2004; van Lieverloo et al., 2004).

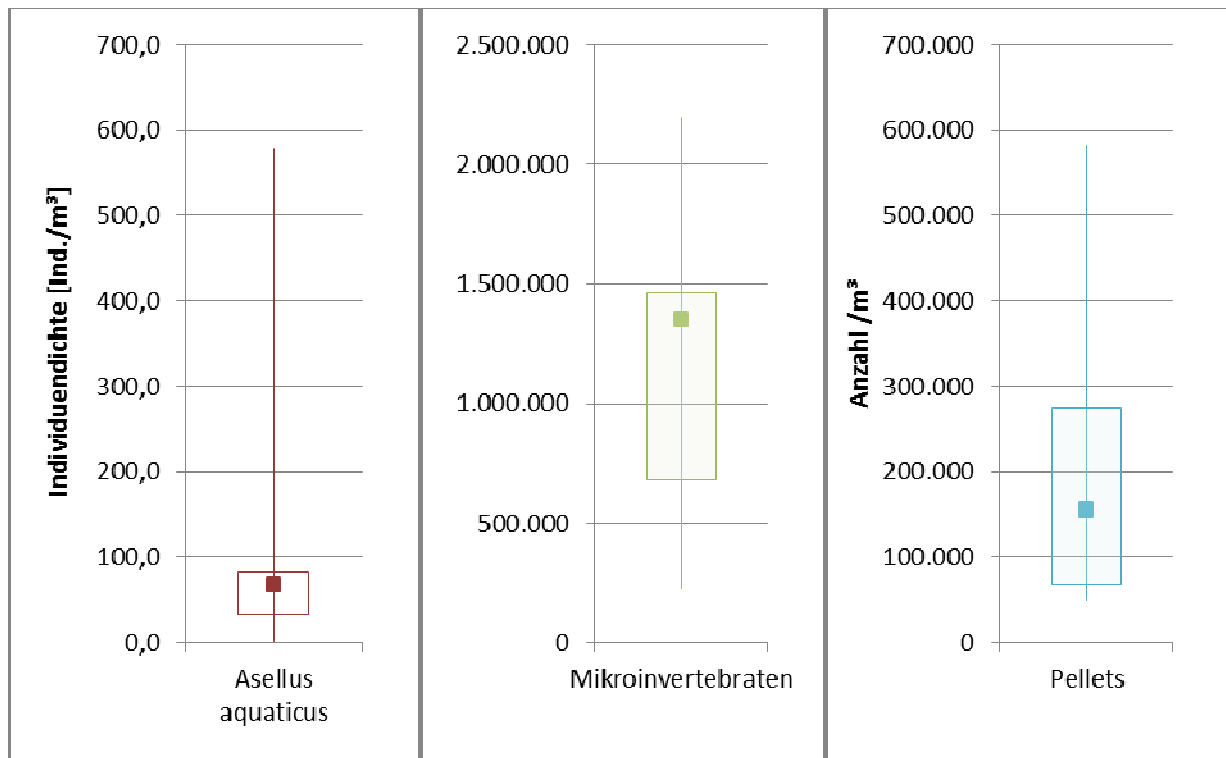


Abb. 2. Besiedlungsdichten wirbelloser Tiere und Anzahl von Kotpellets in den untersuchten Rohrleitungen verschiedener Trinkwasserverteilungssysteme.

Bemerkenswert sind vor allem die vorgefundenen Besiedlungsdichten wirbelloser Tiere in den untersuchten Rohrabschnitten, ermittelt nach komplettem Austrag mittels Kohlendioxid-Spülung (Abb. 2). In allen Abschnitten wurden Wasserasseln registriert. Die Besiedlungsdichten variieren hier zwischen 1 bis 580 Ind./m³ Rohrleitungsinhalt, das sind 16 bis 4640 Tiere pro Kilometer

Rohrleitung. Im Falle der Mikroinvertebraten sind die festgestellten Individuenabundanzen noch um ein Vielfaches höher: pro Kubikmeter Rohrinhalt wurden zwischen 225.000 und mehr als 2 Millionen Tiere registriert, bezogen auf die Länge der Rohrleitung sind es 1.100 bis 175.000 Ind./km Die Dichte der Besiedelung ist sowohl im Falle von Makro- als auch von Mikroinvertebraten unabhängig vom Material der Rohrleitung.

3.2. Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit von Hydrantenspülungen

Für vergleichbare Analysen von Invertebraten aus Trinkwasserleitungen ist es erforderlich, den Anteil der mit einer definierten Methode nachweisbaren Taxa und Individuen am jeweiligen Gesamtbestand zu kennen. Dieser Anteil entspricht im Prinzip dem remobilisierbaren Anteil an der vorhandenen Tiergemeinschaft im Rohrleitungsabschnitt. Bezüglich des remobilisierbaren Anteils wurden in den einzelnen Teststrecken erhebliche Unterschiede festgestellt; im Falle der Wasserasseln konnten maximal 80 % der vorhandenen Tiere mit dem Probeentnahmesystem nachgewiesen werden, minimal waren es lediglich 0,8 % (Abb. 3)!

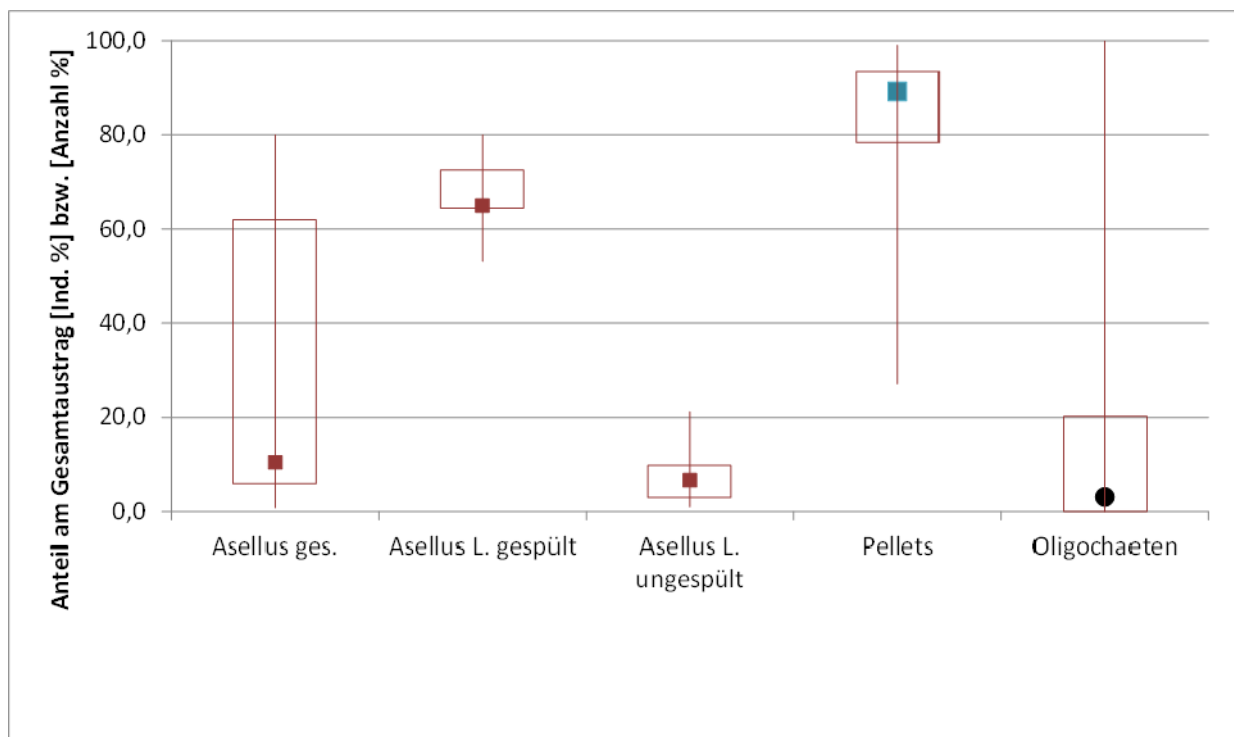


Abb. 3. Schwankungsbreite des Austrags von Makroinvertebraten (Wasserasseln, Kotpellets und Oligochaeten) aus Rohrleitungen (Boxplots). Legende: *Asellus* ges. = *Asellus aquaticus*; L. = Rohrleitung; Pellets = Kotpellets von *Asellus aquaticus*; angegeben sind die Mediane, oberes und unteres Quartil, Minimum und Maximum.

Im Falle der Mikroinvertebraten lag die Schwankungsbreite etwas geringer zwischen 21 und 71 %. Allein die Kotpellets der Wasserasseln konnten in allen Teststrecken nahezu quantitativ nachgewiesen werden, der Austrag mittels Filtrierapparatur (NDHD-S2) erfolgte zu 80 bis 100 %.

3.2.1. Austrag von Makroinvertebraten (*Asellus aquaticus*, deren Kotpellets und Oligochaeten)

a) Wasserasseln

Die zunächst verfolgte Arbeitshypothese, dass ein quantitativ reproduzierbarer Austrag vor allem von der in der zu beprobenden Rohrleitungsstrecke erzeugten Strömungsgeschwindigkeit abhängt, konnte im Rahmen der Tests nicht bestätigt werden: Bei Fließ- bzw. Spülgeschwindigkeiten zwischen 0,5 und 1,5m/s wurde mit einer Erhöhung der Spülgeschwindigkeit kein signifikant höherer Austrag wirbelloser Makroorganismen erreicht. Darüber hinaus hatte auch das Rohrmaterial keinen Einfluss auf die Remobilisierbarkeit während der Probenentnahme. Im Verlaufe weiterer Recherchen bezüglich der untersuchten Rohrleitungen wurde im Falle der Wasserasseln vielmehr deutlich, dass der Anteil ausgetragener Individuen in hohem Maße von der Vorbehandlung bzw. der Menge des dort abgelagerten Materials anhängt. So wurden aus gespülten Strecken¹ deutlich mehr Wasserasseln im Vergleich zum Gesamtaustrag mobilisiert als im Falle von nicht oder seltener gespülten Strecken (Abb. 3). Dies erklärt sich aus deren Mobilität und stark ausgeprägtem thigmotaktischen Verhalten. Die Tiere sind offensichtlich in der Lage bereits geringe Veränderungen der Strömungsgeschwindigkeit wahrzunehmen, um schnellstmöglich Schutz in Nischen bzw. in den vorhandenen Ablagerungen zu suchen. Ähnlich zu interpretierende Ergebnisse konnten bereits in vorangegangenen Untersuchungen festgestellt werden bzw. sind in Christensen et al. (2011) dokumentiert; im Falle von Wiederholungsuntersuchungen nach jeweils einem Monat wurden höhere Individuendichten an Wasserasseln registriert als im Falle der Ausgangsuntersuchungen. Für eine Beurteilung der tatsächlich vorhandenen Besiedlungsdichte an Wasserasseln müssen demzufolge die Ablagerungsbedingungen in den zu untersuchenden Rohrleitungsabschnitten bekannt sein. Da sich ein solcher Parameter im praktischen Einsatz vorab kaum genau ermitteln lässt, kann eine Abschätzung über zwei Ablagerungszustände erfolgen,

1. im Falle aktuell gespülter, neu verlegter oder ausgetauschter Rohrleitungsabschnitte beträgt der Austrag von Wasserasseln im Vergleich zu deren Gesamtbestand in der Rohrleitung durchschnittlich 68 % bezogen auf die Individuendichte bzw. 64 % bezogen auf die Biomasse,

¹Die Spülungen erfolgten längstens 4 Monate vor Versuchsbeginn

2. im Falle nicht gespülter Rohleitungsabschnitte beträgt der Austrag von Wasserasseln durchschnittlich nur 8 % bezogen auf die Individuendichte bzw. 11 % bezogen auf die Biomasse.

b) Kotpellets

Zusätzlich zur Analyse der Wasserasseln selbst können deren Kotpellets quantitativ erfasst werden. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass diese bereits bei Fließgeschwindigkeiten von 0,5 m/s quantitativ remobilisiert werden und die Analysenergebnisse sehr gut reproduzierbar sind. Darüber hinaus ist der Zusammenhang zwischen der Anzahl vorhandener Kotpellets und der Besiedelungsdichte von Wasserasseln statistisch signifikant, so dass eine Beurteilung von Wasserasseln auch auf diesem Wege zusätzlich möglich ist (s. a. Tietze & Gunkel, 2013).

c) Gliederwürmer (Oligochaeten)

Im Gegensatz zu den Wasserasseln unterliegt der quantitative Austrag von Gliederwürmern (Oligochaeten) generell einer hohen Variabilität und es sind tendenziell sehr niedrige Austrags- bzw. Wiederfindungsraten zu erreichen (Abb. 3). Im Zusammenhang mit der Erarbeitung einer für die Niederlande standardisierten Methode konnten im Rahmen der Untersuchungen von van Lieferloo et al. (2004) Wasserasseln zu durchschnittlich 44 % ausgetragen werden mit einem Schwankungsbereich von 22 bis 63 %. Im Vergleich dazu wurden für Oligochaeten signifikant geringere Austräge erzielt: die Wahrscheinlichkeit ihres Nachweises lag bei durchschnittlich 30 % (2 - 65 % Schwankungsbereich). Auch wenn auf Grund der unterschiedlichen Erfassungsmethode kein direkter Vergleich der Daten möglich ist, werden jedoch grundsätzliche Tendenzen deutlich. Auf Grund ihrer Körperform und ihres ausgeprägten thigmotaktischen Verhaltens sind Oligochaeten offensichtlich am Besten in der Lage sich vor einem Verdriften mit der Wasserströmung zu schützen.

3.2.2. Austrag von Mikroinvertebraten

Die Bedeutung der mikroskopisch kleinen Invertebraten besteht vor allem in ihrer Gesamtheit als Biomasse bzw. biogener organischer Substanz und in dem damit verbundenen Hinweis auf vorhandene Nahrungsquellen. In diesem Zusammenhang ist die Analyse ihres qualitativen und quantitativen Vorkommens von Bedeutung und Bestandteil der biologischen Wasserqualität. Auf Grund ihrer geringen Körpergröße bzw. ihres flachen Habitus sind sie vergleichsweise gut gegenüber turbulenter Strömung geschützt. Dies trifft umso mehr zu, wenn die Biofime der Rohrwandungen als Hauptnahrungsquelle genutzt werden. Eine zweite wichtige Nahrungsquelle stellen organische Ablagerungen im Rohrleitungssystem dar (Mulm), hier lebende Organismen (Mulmfauna) können sich

nur schwer vorm Austrag bei Probeentnahmen oder Spülungen schützen, da sie quasi mit ihrem Lebensraum selbst ausgetragen werden. Der quantitative Austrag von Mikroinvertebraten scheint somit vor allem von ihrem bevorzugten Lebensraum abzuhängen. Der Anteil nachweisbarer Individuen unterliegt im Falle der betrachteten Tiergruppen einer mehr oder weniger großen Schwankungsbreite und ist unabhängig vom Rohrmaterial und dem Ablagerungszustand der Rohrleitung sowie von der Fließgeschwindigkeit während der Probenahme (Abb. 4).

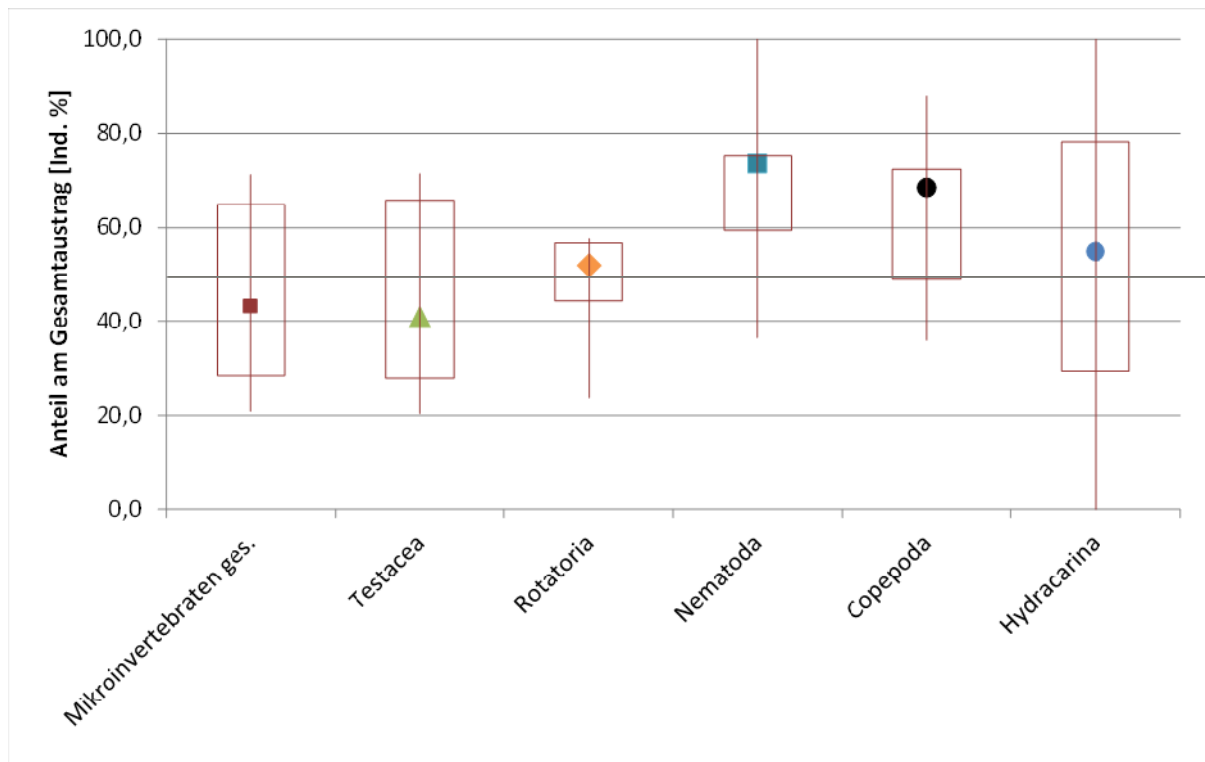


Abb. 4. Schwankungsbreite des Austrags von Mikroinvertebraten aus Rohrleitungen (Boxplots mit Median, oberes und unteres Quartil, Minimum, Maximum).

Vergleichsweise hohe Remobilisierungsraten wurden im Falle von Fadenwürmern (*Nematoda*) und Ruderfußkrebse (*Copepoda*) festgestellt, der Anteil nachweisbarer Individuen betrug durchschnittlich 69 % (*Nematoda*) und 70 % (*Copepoda*). Im Falle der Ruderfußkrebse kamen van Lieferloo et al. 2004 zu ähnlichen Ergebnissen. Der quantitative Nachweis von Schalenamöben (*Testacea*) und Wassermilben (*Hydracarina*) ist auf Grund der großen Schwankungsbreite dagegen sehr unsicher (Abb. 4). Schalenamöben sind offensichtlich sowohl im Biofilm der Rohrwandungen als auch im Mulm zu finden und werden je nach aktuellem Habitat mehr oder weniger gut ausgetragen. Im Falle der räuberisch lebenden und mobilen Wassermilben (*Hydracarina*) ist die aktuelle Präsenz im

Mulm oder im Biofilm möglicherweise der entscheidende Faktor, der einen Austrag ermöglicht oder verhindert.

Die Darstellung in Abb. 4 zeigt darüber hinaus, ob innerhalb der betrachteten Tiergruppen Präferenzen für einen Lebensraumtyp (Biofilm oder Mulm) vorhanden sind. Während Rädertiere (*Rotatoria*), Schalenamöben (*Testacea*) und Wassermilben (*Hydracarina*) ein eher unspezifisches Verhalten zeigen, sind Fadenwürmer (*Nematoda*) und Ruderfußkrebse (*Copepoda*) offensichtlich mit dem Mulm assoziiert und werden direkt mit diesem ausgetragen.

4. Schlussfolgerungen

Die qualitative und quantitative Analyse wirbelloser Tiere in Trinkwasserverteilungssystemen ist eine wichtige Kenngröße der biologischen Wasserqualität. Unter standardisierten Bedingungen für Probeentnahme und Analyse sind repräsentative Angaben zu Individuendichten und Biomassen der vorkommenden Organismen möglich. Ein vergleichbares Ergebnis hängt vor allem von der Art der Probeentnahme (drucklose Filtration, verwendete Maschenweiten) ab. Im Falle der Wasserasseln ist darüber hinaus die Kenntnis des Ablagerungszustandes (gespült, nicht gespült) für die Bewertung des insgesamt vorhandenen Individuenbestandes erforderlich. Im Falle der Mikroinvertebraten kann auf Basis der vorhandenen Tiergruppen ebenfalls eine Abschätzung des Gesamtbestandes vorgenommen werden, teilweise besteht jedoch noch eine große Variabilität der Daten. In den Tabellen 2 und 3 sind die für eine standardisierte Probeentnahme empfohlenen Parameter bzw. Randbedingungen und die unter diesen Bedingungen registrierten Remobilisierungsraten für die wichtigsten Arten bzw. Tiergruppen zusammengestellt.

Tabelle 2. Empfohlene Parameter bzw. Randbedingungen für die Beprobung von Trinkwasserverteilungssystemen.

Art der Probeentnahme	Probeentnahme aus Hydranten, Filtration vor Ort Filtrierapparatur
Probenvolumen	1m ³
Filtration und Filter	drucklose Filtration, parallele Filtration über zwei Filter nach Stromteilung, Maschenweiten 100 µm und 25 µm
Fließgeschwindigkeit während der Probeentnahme	0,5 bis 1,5 m/s

Tabelle 3. Beprobung von Trinkwasserverteilungssystemen: Anteil nachweisbarer Individuen bezogen auf die Gesamtbesiedelungsdichte, angegeben sind Median, Minimum und Maximum.

Art / Tiergruppe	Anteil nachweisbarer Individuen [%]
<i>Asellus aquaticus</i> (ungespülter Rohrabschnitt)	7 (3-10)
<i>Asellus aquaticus</i> (gespülter Rohrabschnitt)	65 (65-73)
Gliederwürmer (Oligochaeta)	17 unsicher, da sehr große Schwankungsbreite
Rädertiere (Rotatoria)	50 (44-57)
Fadenwürmer (Nematoda)	74 (60-75)
Ruderfußkrebse (Copepoda)	69 (49-73)
Schalenamöben (Testacea)	41 unsicher, da sehr große Schwankungsbreite

5. Zusammenfassung

Zur qualitativen und quantitativen Untersuchung von tierischen Organismen in Wasserversorgungsanlagen existieren bislang kaum verbindliche standardisierte Verfahren. Im Fokus des Forschungsprojektes standen somit die methodischen Aspekte der Invertebratenproblematik, die Erarbeitung von technischen und verfahrenstechnischen Grundlagen für eine repräsentative und vergleichbare Datenerhebung. An insgesamt 14 Teststrecken in verschiedenen Trinkwasserversorgungsgebieten wurde untersucht, bei welchen Randbedingungen der Probeentnahme ein möglichst vollständiger Austrag tierischer Kleinstlebewesen erreicht werden kann und unter welchen Bedingungen vergleichbare Ergebnisse erzielt werden sind. Mit 9 Testvarianten wurde der Einfluss von Rohrmaterial und Strömungsgeschwindigkeit während der Probeentnahme auf den Austrag von Invertebraten untersucht. Im Rahmen der Versuchsdurchführung wurde nach einer standardisierten Probenahme auch der Gesamtbestand wirbelloser Tiere jeder Teststrecke mittels CO₂-Spülverfahren ermittelt.

Der Austrag wirbelloser Tiere aus Trinkwasserverteilungssystemen ist unter den Versuchsbedingungen (erzeugte Fließgeschwindigkeit in der Teststrecke zwischen 0,4 m/s bis 1,5 m/s) unabhängig von der Höhe der Fließgeschwindigkeit und dem Material der Rohrleitung. Ein vergleichbares Ergebnis hängt vor allem von der Art der Probeentnahme (drucklose Filtration, verwendete Maschenweiten) ab. Im Falle der Wasserasseln ist darüber hinaus die Kenntnis des 'Ablagerungszustandes' (gespült, nicht gespült) für die Bewertung des insgesamt vorhandenen Individuenbestandes erforderlich. Der quantitative Austrag (Nachweis) von Mikroinvertebraten scheint vor allem von deren bevorzugten Lebens-

raum abzuhängen. Der Anteil nachweisbarer Individuen unterliegt in Abhängigkeit der betrachteten Tiergruppe einer mehr oder weniger großen Schwankungsbreite.

Referenzen

- Christensen, S. C. B., Nissen, E., Arvin, E. & Albrechtsen, H.-J. (2011) Distribution of *Asellus aquaticus* and microinvertebrates in a non-chlorinated drinking water supply system--effects of pipe material and sedimentation. *Wat. Res.* 45,10, 3215–3224.
- DVGW (1997) DVGW Regelwerk, Technische Mitteilung, Hinweis W 271, Tierische Organismen in Wasserversorgungsanlagen. DVGW Bonn, 45 S.
- Evins, C. (2004) Small animals in drinking water distribution systems. In *Safe piped water: managing microbial water quality in piped distribution systems*. World Health Organization, IWA Publishing, London, 101-120.
- Gunkel, G., Michels, U., Scheideler, M., & Ripl, K. (2010) Vorkommen und Bedeutung von Kleintieren in Trinkwasserverteilungssystemen - Maßnahmen zu deren Regulierung. *3R* 12, 716–724.
- Scheideler, M., Gunkel, G. & Michels, U. (2013) Entwicklung einer Mehrfach-Filterapparatur für die Erfassung von Invertebraten in Trinkwasserverteilungssystemen. In: U. Michels, G. Gunkel, M. Scheideler & K. Ripl (Hrsg.) *Invertebraten im Trinkwasser – Probenahme, Analytik und Bewertung*. Universitätsverlag der TU Berlin, ISBN 978-3-7983-2575-3 (online), 3 -29.
- Titze, D. & Gunkel, G. (2013) Asselkot als Indikator für die Besiedlung von Trinkwasserversorgungssystemen mit Wasserasseln. In: U. Michels, G. Gunkel, M. Scheideler & K. Ripl (Hrsg.) *Invertebraten im Trinkwasser – Probenahme, Analytik und Bewertung*. Universitätsverlag der TU Berlin, ISBN 978-3-7983-2575-3 (online), 63-82.
- van Lieverloo, J. H. M., Hoogenboezem, W., Veenendaal, G. & van der Kooij, D. (2012) Variability of invertebrate abundance in drinking water distribution systems in the Netherlands in relation to biostability and sediment volumes. *Wat. Res.* 46, 16, 4918–4932.
- van Lieverloo, J. H. M., Bosboom, D.W., Bakker, G. L., Brouwer, A. J., Voogt, R. & Roos, J. E. M de (2004) Sampling and quantifying invertebrates from drinking water distribution mains. *Wat. Res.* 38, 5, 1101–1112.
- von Tümppling, W. & Friedrich, G. (1999) *Methoden der biologischen Wasseruntersuchung*, Bd. 2. Gustav Fischer Verlag, Jena, 545 S.

Danksagung

Herzlicher Dank gilt den an den Untersuchungen beteiligten Wasser- und Abwasserzweckverbänden sowie deren Unternehmen zur Betriebsführung für die Möglichkeit der Durchführung verschiedener Untersuchungen und für die praktische, technische Unterstützung des Projektes. Der Technischen Universität Berlin, FB Wasserreinhaltung und der Technischen Universität Dresden, Professur Wasserversorgung danken wir für die Unterstützung durch

Bereitstellung von Kapazitäten im Bereich Labor und Technikum. Das Projekt wurde gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, wir bedanken uns für die kompetente Projektbegleitung. Besonderer Dank gilt allen Projektpartnern und deren unmittelbar beteiligten Mitarbeitern für die vertrauensvolle Zusammenarbeit und konstruktiven Diskussionen.

Kontaktadresse

Ute Michels,
AquaLytis, Karl-Marx-Straße 119, 15745 Wildau.
Fon: ++49 3375 246366, Fax: ++49 3375 246367,
e-mail: utemichels@aqualytis.com