

Das Rohrleitungssystem als Lebensraum – möglicher Einfluss von Umweltfaktoren – Nahrungsquellen für Wasserasseln

Von Michael Mayer, Ulrich Szewzyk, Hans-Joachim Warnecke

1 Trinkwasserverteilungssysteme, Ökologie eines wenig beachteten Lebensraums und seiner Bewohner (Szewzyk)

1.1 Einleitung

Beim Genuss von Trinkwasser denken die meisten Verbraucher, dass es sich dabei um ein Lebensmittel handelt, welches frei von Mikroorganismen und anderen Lebewesen sei. Selbst bei Betreibern von Wasserwerken und Trinkwasserverteilungssystemen ist auch heute noch die Ansicht verbreitet Trinkwasser sei weitgehend steril. Diese Ansicht ergibt sich einerseits aus den Erwartungen der Verbraucher hygienisch einwandfreies Wasser zu erhalten und andererseits aus den klassischen mikrobiologischen Untersuchungen im Wasserwerk, bei denen in gutem Trinkwasser nur sehr wenige Bakterien durch Kultivierung nachgewiesen werden können. Seit der Mitte der neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts haben jedoch viele neuen Untersuchungsmethoden gezeigt, dass Trinkwasser niemals frei von Mikroorganismen ist - tatsächlich findet man in bestem Trinkwasser typischerweise 10.000-100.000 lebende Mikroorganismen pro Milliliter. Somit entpuppte sich Trinkwasser und folglich das gesamte Aufbereitungs- und Verteilungssystem als ein weit ausgedehntes Ökosystem in dem die Mikroorganismen die Grundlage einer Nahrungspyramide bilden. In den folgenden Ausführungen soll dargelegt werden, wie dieses Ökosystem funktioniert und welches die wichtigsten Faktoren sind, die das Wachstum diverser Lebewesen kontrollieren.

1.2 Warum können sich Mikroorganismen in Trinkwasser vermehren?

Als Rohwasser für die Trinkwasseraufbereitung kommen im Prinzip mehrere Quellen infrage. Erstens kann das Wasser mit der besten Ausgangsqualität, nämlich Grundwasser, genutzt werden. Zweitens, können diverse Oberflächenwässer, wie Seen und Flüsse, zur Gewinnung von Trinkwasser genutzt werden. Die dritte Möglichkeit besteht darin Abwasser soweit aufzubereiten, dass es als Trinkwasser genutzt werden kann. Die Anforderungen an die Aufbereitung des Rohwassers werden in der Reihenfolge der genannten Quellen immer aufwändiger, da sie sich im Gehalt an organischen und anorganischen Inhaltsstoffen deutlich unterscheiden. Beide Substanzklassen sind von Bedeutung für die Vermehrung von Mikroorganismen. Grundwasser kann in manchen Fällen direkt als Trinkwasser genutzt werden, wie es zum Beispiel in vielen Brunnen in früheren Jahrhunderten durchaus üblich war. In manchen Fällen musste das Grundwasser noch von darin gelöstem Eisen oder Mangan befreit werden, indem es über Enteisungs- und Entmanganungsfilter geleitet wurde. Der Gehalt an organischen Substanzen ist im Grundwasser meistens sehr gering, sodass weitergehende Aufbereitungen meistens nicht nötig sind.

Oberflächenwasser ist durch diverse Abflüsse aus der Umgebung sowie Ausscheidungen von Algen, insbesondere während Algenblüten, mehr oder weniger stark mit anorganischen und organischen Verbindungen belastet. Das Rohwasser aus Flüssen oder Seen enthält in der Regel so große Mengen an Nährstoffen, dass Bakterien sich in größerem Umfang darin vermehren können. Deshalb ist es notwendig, Oberflächenwasser wesentlich intensiver aufzubereiten um diese Nährstoffe zu entfernen, und damit die Möglichkeit des Bakterienwachstums im nachfolgenden Verteilungssystem zu limitieren. In Oberflächenwasser können außerdem Krankheitserreger vorkommen, die zum Beispiel aus Abwassereinleitungen oder landwirtschaftlichen Nutzflächen stammen. Um auch Krankheitserreger während des Aufbereitungsprozesses zu entfernen, wird typischerweise eine Desinfektion mit Chlorverbindungen, eine UV-Behandlung oder eine Membranfiltration eingesetzt.

1.3 Wo findet die Vermehrung der Bakterien statt?

Bakterien können sich sowohl in der Wasserphase als auch angelagert an Oberflächen vermehren. Da Trinkwasser typischerweise sehr geringe Konzentrationen an organischen Verbindungen enthält, die von Bakterien als Nahrung genutzt werden können, ist die Vermehrungsrate meist sehr gering. An Oberflächen findet allerdings eine Akkumulation von organischen Substanzen statt, wodurch Bakterien dort etwas höhere Substratkonzentrationen vorfinden als in der Wasserphase und sich dort schneller vermehren. Als weiterer Faktor, der eine Vermehrung an den Oberflächen begünstigt, kommt hinzu, dass manche Materialien, die in den Rohrleitungssystemen verwendet werden organische Stoffe enthalten, die von den Bakterien verwertet werden können. Diese Stoffe können entweder aus den Materialien herausdiffundieren oder von den Mikroorganismen herausgelöst werden. Wichtig ist bei allen Nahrungsquellen zu berücksichtigen, dass schon sehr geringe Konzentrationen an organischen Verbindungen, oft im Bereich von weniger als 50 µg/L, ausreichen um mikrobielles Wachstum zu unterstützen. Falls die Aufbereitung des Rohwassers ausreichend war, um das Wasser zu stabilisieren, also den Gehalt an mikrobiell verwertbaren organischen Verbindungen soweit zu reduzieren, dass nur sehr begrenzt Wachstum auftritt, bleibt als wesentlicher Risikobereich die Hausinstallation übrig. In diesem Teil des Verteilungssystems wird der Rohrquerschnitt geringer und der Anteil an Plastikmaterialien oft größer, weswegen es dort sehr oft zu einer Wiederaufkeimung des Trinkwassers kommt. Insbesondere auf Gummimaterialien (z.B. Schläuche, Dichtungen, Beläge) und diversen Kunststoffen kann es aufgrund der oben genannten Freisetzung von Nährstoffen zu erheblicher Bildung von Biofilmen kommen. Die Biofilmbildung kann unter entsprechenden Bedingungen so massiv ausfallen, dass die Biofilme mehrere Millimeter dick werden können. Diese Biofilme sind in mehrfacher Hinsicht problematisch. Erstens können sich in den Biofilmen viele unterschiedliche Arten von Bakterien, einschließlich hygienisch relevanter Mikroorganismen, entwickeln und gegebenenfalls in die Wasserphase freigesetzt werden. Zweitens kann eine große Anreicherung von Biomasse als Nahrung für Bakterienfresser fungieren und gegebenenfalls einem Massenvermehrung dieser Organismen nach sich ziehen.

1.4 Wer nutzt Bakterien als Nahrung?

Bakterien stellen in natürlichen Wassersystemen eine wichtige Nahrungsgrundlage für viele unterschiedliche Organismen dar. Das Spektrum der Organismen, die bakterielle Beläge abweiden oder freischwimmende Bakterienzellen aus dem Wasser herausfiltrieren, reicht von einzelligen Organismen, wie Amöben und Flagellaten, bis zu mehrzelligen Tieren, wie zum Beispiel Würmern, Rädertieren, Insektenlarven, Asseln und anderen Krebsen. Sobald es in einem Trinkwasserverteilungssystem zu einer deutlichen Vermehrung der Bakterien kommt, zum Beispiel in einem Biofilm auf einem Gummischlauch, besteht auch hier die Möglichkeit, dass sich diverse Bakterienfresser einstellen und entwickeln. So beobachtet man sehr häufig in entsprechenden Biofilmen das Vorkommen zum Teil sehr großer Mengen von Amöben, was insofern ein Problem darstellt, als Amöben als Wirte für Legionellen dienen können.

Von den Tieren, die im Trinkwasserverteilungssystem vorkommen und die sich hauptsächlich von Mikroorganismen ernähren, sind insbesondere Würmer und Wasserasseln zu nennen. Verschiedene Würmer werden immer wieder in organischen Ablagerungen von Leitungssystemen beobachtet, wo sie sich von den Bakterien ernähren die das organische Material zersetzen. Wasserasseln sind wahrscheinlich auch sehr weit in Verteilungssystemen verbreitet, sie fallen aber nur gelegentlich auf, zum Beispiel bei Spülungen. Die Verbraucher kommen mit den Asseln heute nur noch sehr selten in Kontakt, während früher immer wieder darüber berichtet wurde, dass Asseln in der Badewanne schwammen. Man kann jedoch davon ausgehen, dass die Asseln keineswegs aus den Verteilungssystemen verschwunden sind, sondern nicht gefunden werden oder ihr Auftreten nicht dokumentiert wird. Wasserasseln stellen soweit man heute weiß für sich kein hygienisches Risiko dar, sind aber ein deutlicher Indikator für das verstärkte Wachstum von Mikroorganismen in dem betreffenden System. Da über die Ökologie der Asseln im Trinkwasser, insbesondere über ihre spezifischen Nahrungsansprüche und ihr Verhalten bisher wenig bekannt ist, kann man derzeit auch nur sehr allgemein vom Auftreten der Asseln auf ein verstärktes Bakterienwachstum schließen.

1.5 Welchen Einfluss haben äußere Faktoren auf das Ökosystemen Trinkwasser?

Wie oben ausgeführt, ist die Verfügbarkeit von insbesondere organischen Nährstoffen von entscheidender Bedeutung für die Produktivität, d.h. in diesem Fall das Wachstum von heterotrophen Bakterien. Neben dem Eintrag von Nährstoffen durch problematische Leitungsmaterialien ist die Qualität des Rohwassers der weitere entscheidende Faktor, der über das Wachstum von Mikroorganismen in den Verteilungssystemen entscheidet. Handelt es sich bei der Rohwasserquelle um ein Oberflächengewässer, dann sind Umgebungsparameter wie zum Beispiel Zufluss aus landwirtschaftlichen Bereichen oder Kläranlagen, aber auch die klimatischen Verhältnisse von entscheidender Bedeutung. Vermehrte Sonneneinstrahlung und höhere Temperaturen können zu einem massiven Wachstum von Algen in dem Gewässer führen und damit direkt die Qualität des daraus gewonnenen Trinkwassers gefährden. Selbst in den Leitungssystemen können sich Umgebungsparameter wie die Temperatur deutlich in der Zusammensetzung der Bakteriengesellschaften bemerkbar machen. So zeigen sich deutliche Unterschiede in der Struktur der Biofilmgesellschaften, wenn es sich um ganzjährig kühles Wasser handelt im Vergleich zu Wasser, welches jahres- bzw. tageszeitlichen Schwankungen ausgesetzt ist.

1.6 Zusammenfassung

Trinkwasserverteilungssysteme sind genauso wie Oberflächengewässer oder Grundwasser Lebensräume, in denen sich mehr oder weniger komplexe Lebensgemeinschaften entwickeln können [zum Weiterlesen siehe 1]. In Trinkwasser sind typischerweise Bakterien die Grundlage einer Nahrungspyramide die sich über ein bis drei Stufen erstrecken kann. Falls es bei Vorliegen günstiger Umweltbedingungen (Temperatur, Verfügbarkeit von Nährstoffen) zu einer starken Vermehrung der Bakterien kommt, werden neben einzelligen Organismen (z.B. Amöben) auch diverse Tiere auftreten können. Hier sind in den Leitungsnetzen insbesondere Würmer, Rädertiere und Wasserasseln von Bedeutung.

2 Nahrungsquellen für Wasserasseln (Mayer, Warnecke)

2.1 Einleitung

2.1.1 Lebensraum Trinkwasserrohrleitungssystem

Organismen bevölkern auf unserer Erde die unterschiedlichsten Lebensräume, so auch Trinkwasserrohrleitungssysteme. Detaillierte Kenntnisse über die Lebensgemeinschaften in diesen Habitaten geben nicht nur Aufschluss über die Nährstoffsituation im Verteilungssystem, sie stellen gleichzeitig auch ein geeignetes Mittel dar, um mögliche technische und/oder hygienische Probleme rechtzeitig erkennen, bewerten und beheben zu können.

Neben den in Biofilmen gebundenen oder im Wasserkörper frei suspendierten Bakterien sind in Rohrleitungssystemen unter anderem auch bakterienfressende tierische Einzeller (Protozoen) und selbst makroskopisch sichtbare vielzellige Tiere, wie Asseln (Isopoden), vorzufinden. Standardisierte Verfahren zur Beprobung und Bewertung von tierischen Organismen in Trinkwasserversorgungssystemen gibt es jedoch bislang noch nicht [7]. Auch geben konventionelle Rohrspülungen lediglich Auskunft über die zum Zeitpunkt der Probenahme im Freiwasserstrom befindlichen Organismen, berücksichtigen die auf Grenzflächen oder in Zwischenräumen lebenden Arten aber oft nur partiell.

2.1.2 Asseln in Trinkwasserrohrleitungssystemen

Asseln zählen zu den Krebstieren und sind im Grundwasser Deutschlands gegenwärtig durch die Familie Asellidae vertreten. Die ersten dokumentierten Funde unterirdisch lebender Wasserasseln stammen aus dem Jahr 1849 (Brunnen bei Wuppertal) – die Tiere wurden vom Autor gezeichnet, nicht aber benannt [2]. Selbst heute sind die Beschreibungen der bekannten Arten überwiegend unvollständig und teilweise sehr lückenhaft. Gründe hierfür liegen in der schlechten Zugänglichkeit unterirdischer, aquatischer Lebensräume und in den daraus resultierenden technischen Problemen bei der Probeentnahme begründet. Da subterran lebende Asseln meist nicht pigmentiert und sich zudem morphologisch sehr ähnlich sind, ist eine eindeutige Artzuordnung nur nach makroskopischer Präparation und mittels mikroskopischer Untersuchung möglich. Als wichtigstes Bestimmungsmerkmal dienen hierbei die männlichen Gonopoden, spezialisierte, im Dienst der Fortpflanzung stehende Extremitäten, welche bei einigen Arten als alleiniges Unterscheidungsmerkmal in den Bestimmungsbüchern genannt werden.

Auch Trinkwasserverteilungssysteme stellen geeignete Lebensräume für Wasserasseln dar. Und obwohl bei Rohrspülungen oftmals keine lebenden oder toten Individuen gefunden werden, kann über deren Ausscheidungsprodukte, kleine rostbraune Pellets, auf die Anwesenheit der Tiere geschlossen werden (Bild 1).

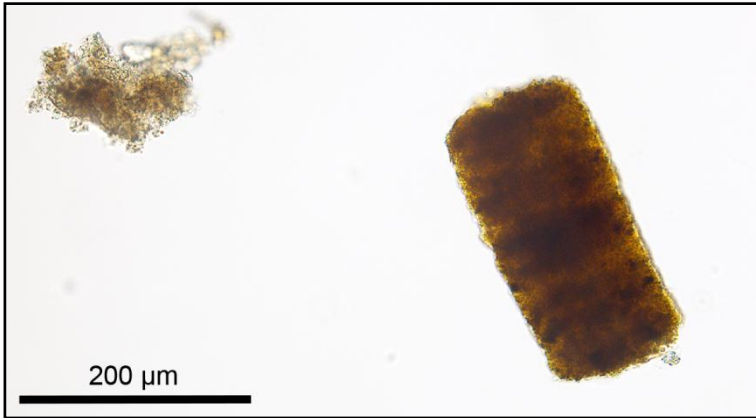


Bild 1: Detritus (zerfallende organische Substanz; links), Asselkot-Pellet (rechts)

2.1.3 Fragestellung und Zielsetzung

Wasserasseln können sich als „Allesfresser“ von Bakterien, Pilzen, Pflanzen und Tieren ernähren [9]. Doch welche Nahrungsquellen werden im primär nährstoffarmen Trinkwasser genutzt, welche werden präferiert? Um diese Fragen beantworten zu können wurden Darminhalte von Wasserasseln molekularbiologisch untersucht und anschließend die vorgefundenen DNA-Sequenzen charakterisiert. Ziel der vorliegenden Arbeit war es abzuklären, ob über diese innovative Untersuchungsmethode neue Erkenntnisse zur Ernährungsweise von Asseln und gleichzeitig detailliertere Informationen über die Lebensgemeinschaften in diesen abgeschlossenen Ökosystemen gewonnen werden können.

2.2 Material und Methoden

2.2.1 Probeentnahme

Zwischen Januar 2011 und März 2012 wurden über Hydrantenbeprobungen Asseln aus Trinkwasserverteilungssystemen unterschiedlicher deutscher Städte entnommen. Durch Erzeugung einer ausreichend hohen Fließgeschwindigkeit und somit einer entsprechenden hydraulischen Wirkung im gewählten Netzabschnitt wurden Individuen von den Rohrrinnenwänden abgelöst, ins Freiwasser überführt und über spezielle Filtergazen gesammelt.

2.2.2 Untersuchungstiere

Bei den im Probenahmezeitraum gesammelten Wasserasseln handelt es um Individuen der Arten *Asellus aquaticus* (LINNÉ, 1758) und *Proasellus cavaticus* (LEYDIG, 1871).

Da *Asellus aquaticus* in Europa weit verbreitet ist [5,6,8] und dabei ein breites Spektrum unterschiedlicher Lebensräume besiedelt, wird die Art in der populärwissenschaftlichen, deutschsprachigen Literatur oftmals auch als „Gemeine Wasserassel“ bezeichnet. Populationen sind in kleinen Teichen, im Uferbereich von Seen aber auch in der Uferzone fließender Gewässer vorzufinden – selten findet man die Art in unterirdischen Gewässern [9]. Es liegen jedoch Berichte vor, dass die Art zum Beispiel über das Grundwasser in die Trinkwasserverteilungssysteme der Städte Amsterdam und Rotterdam gelangte [3].

Adulte männliche Tiere erreichen Körperlängen zwischen 12 bis maximal 20 mm, weibliche Individuen solche zwischen 8 und maximal 15 mm [9]. Der Körper oberirdisch lebender Populationen ist meist dunkelbraun oder graubraun gefärbt (Bild 2) – Tiere aus unterirdischen Gewässern sind hingegen weniger oder nicht pigmentiert.



Bild 2: *Asellus aquaticus* (Rückenansicht)

Proasellus cavaticus erreicht im geschlechtsreifen Zustand Körperlängen zwischen 4 und 10 mm und besiedelt verschiedene Typen unterirdischer Gewässer – meist werden die Tiere in Höhlen, aber auch zwischen Geröll und Spalten von Karstgebieten gefunden [9]. Den Tieren fehlen stets Augen und die pigmentlosen Körper schimmern weißlich (Bild 3). *Proasellus cavaticus* ist optimal an nährstoffarme Lebensräume angepasst – bei Laborversuchen überlebten Individuen bis zu 18 Monate ohne Nahrung – und das bei einer Lebensdauer von 3 bis 5 Jahren [4].



Bild 3: *Proasellus cavaticus* (Seitenansicht)

2.2.3 Molekularbiologische Arbeitstechniken

Mit „Nahrungsbrei“ gefüllte Därme wurden präpariert und anschließend deren DNA-Zusammensetzung ermittelt (Bild 4). Hierzu wurden die DNA-Fragmente aufgereinigt, vervielfältigt (Polymerase-Kettenreaktion), die Moleküle getrennt (Gelelektrophorese), die jeweilige Nukleotid-Abfolge in den DNA-Molekülen bestimmt (DNA-Sequenzierung) und diese Sequenzen mit Hilfe von DNA-Datenbanken den unterschiedlichen Arten zugeordnet. Abschließend wurden die Ergebnisse grafisch dargestellt.

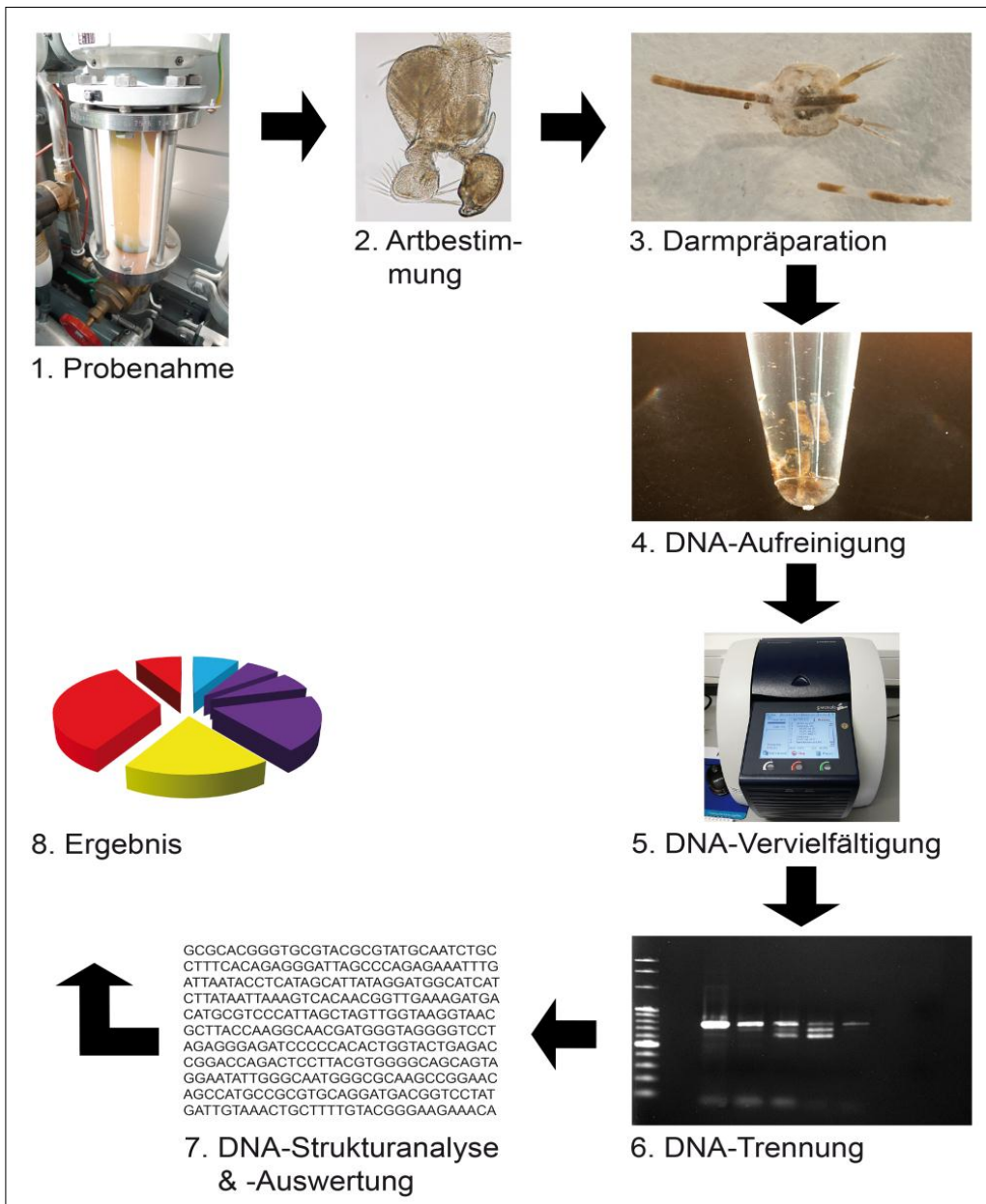


Bild 4: Schematische Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte

2.3 Ergebnisse und Diskussion

Über die molekularbiologischen DNA-Untersuchungen der Asseldarminhalte konnten unterschiedliche Nahrungsquellen eindeutig nachgewiesen werden. Exemplarisch zeigt Bild 5 den Darminhalt der Art *Proasellus cavaticus* von einem ausgewählten Standort. Im oberen Abschnitt (A) sind die unterschiedlichen Bakteriengruppen und im unteren Abschnitt (B) die nichtbakteriellen Nahrungsquellen dokumentiert.

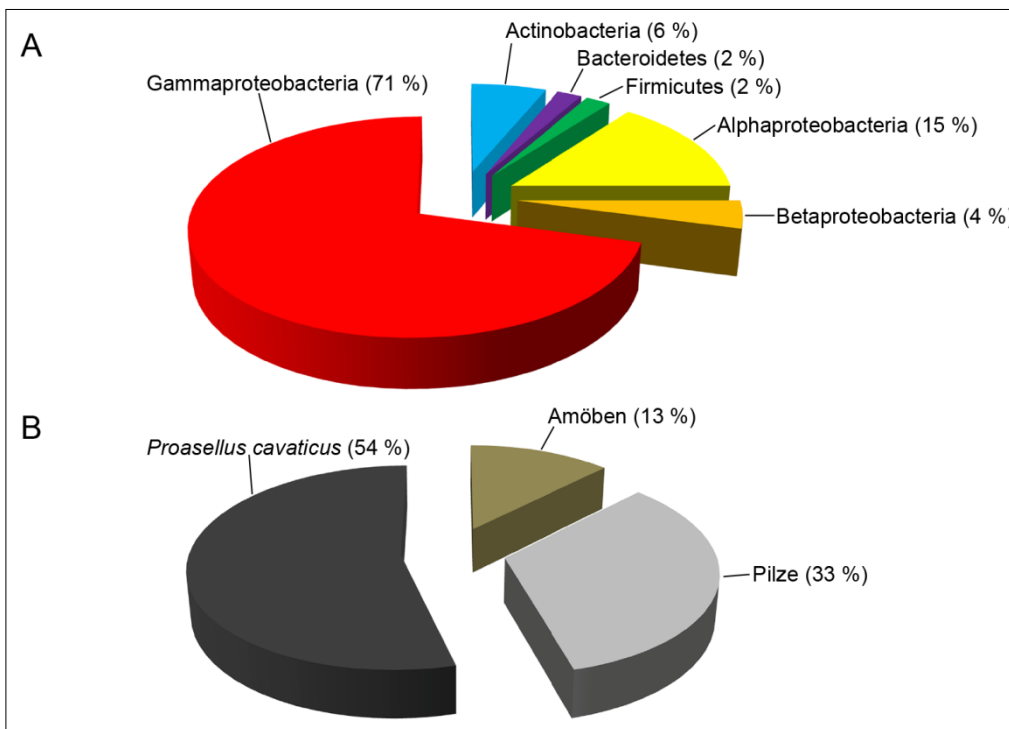


Bild 5: Darminhalt von *Proasellus cavaticus*

Das Ergebnis zeigt, dass Wasserasseln in Trinkwasserrohrleitungssystemen ein breites Spektrum an Nahrungsquellen nutzen können. Neben Bakterien und Amöben gehören hierzu auch aquatische Pilze und Individuen derselben Art. In begleitenden Laborversuchen konnte belegt werden, dass Asseln tote Artgenossen fressen.

Wasserasseln eignen sich aufgrund ihrer „allesfressenden“ Ernährungsweise sehr gut als Indikatororganismen in Trinkwassersystemen. Kenntnisse über die standortbedingten Nahrungsquellen geben hierbei nicht nur Auskunft über die Nährstoffsituation im Verteilungsnetz, sondern lassen auch abschätzen, ob oberflächennahes oder tiefes Grundwasser ins System eingetragen wird. Auch potentiell gesundheitsschädliche Bakterien, die auf den Biofilmen sitzen und von dort nur partiell abgelöst und ins Freiwasser überführt werden, können so nachgewiesen werden. Die beschriebene molekularbiologische Untersuchungsmethode und Charakterisierung von Asseldarminhalten eignet sich somit sehr gut zur Beurteilung der Trinkwasserqualität.

3 Literatur

- [1] Wasser als Lebensraum, in: GROHMANN, A.N., JEKEL, M., GROHMANN, A., SZEWZYK, R. und SZEWZYK, U.: Wasser - Chemie, Mikrobiologie und nachhaltige Nutzung, Berlin – New York: de Gruyter, 2011
- [2] FUHLROTT, C (1849): Nachtrag (zu CASPARY, R.: *Gammarus puteanus* KOCH). Verhandlungen des Naturhistorischen Vereins der Preussischen Rheinlande und Westphalens 6: S. 47-48
- [3] GRUNER, H.-E. (1965): V. Isopoda. In: DAHL, F. (Hrsg.), Die Tierwelt Deutschlands und der angrenzenden Meeresteile. 51. Teil: Krebstiere oder Crustacea. 1. Lieferung, G. Fischer Verlag, Jena, S. 149 pp
- [4] HENRY, J. P. (1976): Recherches sur les Asellidae hypogés de la lignée *cavaticus*. Thèse Université de Dijon, S. 270 pp
- [5] HENRY, J. P., MAGNIEZ, G., STOCK, J. H. & VERMEULEN, J. (1994): Les Asselidae (Crustacea Isopoda Asselloidea) de Madère et leur intérêt biogéographique. Mémoires de Biospéologie 21: S. 75-79
- [6] HENRY, J. P. & MAGNIEZ, G. (1995): Nouvelles stations d'Asellus (*Asellus*) *aquaticus* (Crustacea, Isopoda, Asellota, Asellidae) dans l'île de Madère. Bulletin scientifique de Bourgogne 47: S. 27-30
- [7] RATHSACK & MICHELS (2006): Zur Populationsdynamik von Asseln und anderen Invertebraten in Wasserversorgungssystemen und Konsequenzen für die Wasseraufbereitung. GWF-Wasser/Abwasser 147 Nr.2: S. 134-140
- [8] SCHMALFUSS, H. & SCHAWALLER, W. (1984): Die Fauna der Ägäis-Insel Santorin. Teil 5. Arachnida und Crustacea. Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde, Serie A 371: S. 1-16
- [9] WÄGELE, J. W. (2007): Isopoda (Asseln). In: SCHMINKE, H. K. & GAD, G. (Hrsg.): Grundwasserfauna Deutschlands. Ein Bestimmungswerk. DWA-Themen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, S. 273-293

Autoren:

Prof. Dr. Ulrich Szewzyk

Technische Universität Berlin
Fachgebiet Umweltmikrobiologie
Ernst-Reuter-Platz 1, BH 6-1
10587 Berlin
Tel.: 030 / 314-73460
E-Mail:
Ulrich.Szewzyk@tu-berlin.de
Internet:
<http://www.umb.tu-berlin.de/umb/menue/home/>



Dipl.-Biol. Michael Mayer

Universität Paderborn
Technische Chemie
Warburger Straße 100
33098 Paderborn

Tel.: 05251 / 6057-98

E-Mail:

mayer@tc.uni-paderborn.de

Internet:

<http://chemie.uni-paderborn.de/fachgebiete/tc/ak-warnecke/>



Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Warnecke

Universität Paderborn
Technische Chemie
Warburger Straße 100
33098 Paderborn

Tel.: 05251 / 6057-04

E-Mail:

warnecke@tc.uni-paderborn.de

Internet:

<http://chemie.uni-paderborn.de/fachgebiete/tc/ak-warnecke/>

