

Multimetrischer Bewertungsindex für Invertebraten in Trinkwasserverteilungssystemen

Ute Michels¹ & Günter Gunkel²

¹AquaLytis, ²Technische 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. A further aim of the project was the development and the implementation of an assessment system (evaluation system) based on invertebrates living in water distribution mains. The evaluation system enables a classification of analytical results in a well-defined data-base. The system is composed of modules, which assess different aspects of invertebrates in pipeline systems such as aesthetics of drinking water, risk of microbial pollution and biomass of all invertebrate animals. The results of the modules are integrated into a final assessment result, a Multimetric Index.

Schlüsselwörter: Trinkwasserverteilungssystem, Invertebraten, Bewertung, Multimetrischer Index, Wasserassel, *Asellus aquaticus*

1. Ausgangspunkt und Zielstellung

Das Auftreten von Bewohnern der Trinkwasserversorgungssysteme aus der Gruppe der Invertebraten (wirbellose Kleinstlebewesen) steht in enger Verbindung mit dem wandseitigen Bewuchs, dem Biofilm, und dass diese sowohl zu ästhetischen als auch hygienischen Beeinträchtigungen der Trinkwasserqualität führen: die Rohrnetzbewohner sollten daher Gegenstand regelmäßiger Untersuchungen sein. Mit den in Rohrleitungssystemen erhobenen Daten zum Vorkommen von Invertebraten müssen i. d. R. Aussagen zum IST-Zustand, zu möglichen Auswirkungen und zur Notwendigkeit/Dringlichkeit von Maßnahmen zur Reduzierung des Vorkommens der Invertebraten getroffen werden. Vergleichbare Aussagen erfordern neben standardisierten Bedingungen für die Probeentnahme und Analyse auch standardisierte Verfahren zur Bewertung der Ergebnisse.

„Aus gesetzlicher Sicht ist der Gehalt des Trinkwassers an Invertebraten nicht direkt geregelt.“ Der Passus in der EG-Trinkwasserrichtlinie von 1980, nachdem im Trinkwasser keine geformten Elemente (Algen, Parasiten und "Animalcula") enthalten sein dürfen, wurde bei Neufassung der Richtlinie gestrichen und durch einen Hinweis auf die humanpathogene Protozoengattung *Cryptosporidium* ersetzt. Eine ähnlich lautende Formulierung der DIN 2000 (2000) in der Fassung von 1973 „Mit bloßem Auge sichtbaren Organismen, Tier- und Pflanzenreste [...] dürfen im Trinkwasser nicht enthalten sein“ wurde im Zuge der Neufassung der Norm gestrichen (Schreiber & Westphal, 2002 in Höll & Grohmann, 2002; Borchers 2013). Im Technischen Regelwerk W 271 (DVGW, 1997) wird auf zwei qualitätsrelevante Aspekte infolge des gehäuften Auftretens von Invertebraten verwiesen, die unerwünschte Bakterienvermehrung und die Zehrung von Desinfektionsmitteln. Das Umweltbundesamt weist in einer Stellungnahme darauf hin, dass ein „gehäuftes Auftreten [...] als Hinweis auf ein verstärktes Wiederverkeimungspotential zu bewerten ist.“ (UBA, 2004).

Im Gegensatz zu Schadstoffen oder pathogenen Keimen wurde für das Vorkommen von wirbellosen Tieren im Trinkwasser bislang kein akutes hygienisches Risiko nachgewiesen, dementsprechend beinhalten die gesetzlichen Regelungen zur Trinkwasserqualität keine Grenz-, Schwellen-, oder Richtwerte (Borchers, 2013). Die für Trinkwassersysteme als „Fremdorganismen“ (DVGW, 1997) bezeichneten wirbellosen Tiere sind jedoch „aus allgemeinhygienischer Sicht unerwünscht“ und können zur „unerwünschten Bakterienvermehrung“ (DVGW, 1997) beitragen. Die WHO (2004) 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“ (Colins, 2004).

Aktuelle Untersuchungen aus Dänemark zeigen in Laborexperimenten, dass lebende *Asellus aquaticus* als Träger pathogener Mikroorganismen fungieren können ("Carrier"; Christensen et al., 2012, 2013). Auf Grund ihrer Mobilität in Trinkwasserverteilungssystemen können die Tiere so zu einer Verbreitung pathogener Keime führen; die Anwesenheit von *Asellus aquaticus* fördert jedoch nicht deren Überleben bzw. deren Vermehrung. Gleichwohl kann das Vorkommen von abgestorbenen Tieren und Asselkot die allgemeine mikrobiologische Qualität des Trinkwassers beeinflussen (Christensen et al., 2012, 2013; van Lieverloo et al., 2012), und es wurde eine signifikante Überschreitung der Grenzwerte unter Stagnationsbedingungen an Hausfiltern festgestellt (Gunkel et al., 2010).

Auf Grund des derzeitigen Fehlens von belastbaren Aussagen und Untersuchungen über die indirekte hygienische Relevanz wirbelloser Tiere in Trinkwassersystemen (z. B. über das Risiko einer Wiederverkeimung, die Verringerung der Effektivität der

Nachchlorung) ist keine absolute Bewertung im Sinne von Grenzwertüber- oder -unterschreitungen möglich.

Mit Hilfe eines Bewertungssystems wird jedoch eine vergleichende Einordnung erhobener Daten in eine definierte Datengrundlage mit daraus resultierenden Handlungsempfehlungen möglich. Im Gegensatz zu einer Risikobewertung (z. B. einer konzentrationsabhängigen Bewertung gesundheitlicher Risiken von chemischen Wasserinhaltsstoffen – als Grundlage für die Trinkwasserverordnung) geht es hier zunächst um eine Einordnung von Daten in eine definierte Datengrundlage zum Vorkommen der Invertebraten und um eine Betrachtung der Ergebnisse unter den Aspekten der Anzahl, der Biomasse, der Vermehrungsrate und der Funktion in der Gesellschaft der Rohrnetzbewohner.

2. Material and Methoden

2.1. Datengrundlage

Die zur Verfügung stehende Datengrundlage besteht aktuell aus 550 Datensätzen, d. h. Analysen von Proben aus Trinkwasserverteilungssystemen, die mittels Filtrierapparaturen gewonnen wurden. Die Anzahl der mit dem neu entwickelten Probeentnahmesystem (NDHD-S2, s.a. Scheideler et al. 2013) verfügbaren Daten konnten nicht für jedes Bewertungskriterium die notwendige statistische Sicherheit gewährleisten, so dass es erforderlich war, Daten aus früheren Untersuchungen einzubeziehen. Mit Hilfe statistischer Verfahren wurde vorab geprüft, ob die jeweils vorliegenden Analysen zu einer Grundgesamtheit zusammen geführt werden konnten oder nicht. Im Falle statistisch signifikanter Unterschiede zwischen den Datenreihen wurde auf eine Zusammenführung verzichtet; in diesen Fällen wurde für jede Datengrundlage eine spezifische Bewertungsmatrix erarbeitet. Die zur Verfügung stehende Datengrundlage besteht aktuell aus 35 bis 550 Datensätzen, in Abhängigkeit von der gewünschten Aussage bzw. des jeweiligen Bewertungskriteriums.

2.2. Auswahl und Testung einzelner Bewertungskriterien

In einem ersten Schritt wurde geprüft, welche Detailinformationen (Aspekte) aus den erhobenen Daten gewonnen werden können und welche Informationen für Wasserversorger und Nutzer des Trinkwassers erforderlich bzw. relevant sind. Die folgende Übersicht enthält eine Zusammenstellung relevanter Themen bzw. Fragestellungen, die im Rahmen eines Bewertungssystems beschrieben bzw. beantwortet werden können (Tabelle 1).

In der Tabelle 2 sind wichtige, bezüglich Ihrer Relevanz für die oben benannten Fragestellungen und hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit geprüften Bewertungskriterien zusammengestellt.

Tabelle 1. Für die wasserwirtschaftliche Praxis relevanter Informationsgehalt biologischer Daten aus Rohrleitungssystemen.

Thema / Fragestellung	Relevanz
Arten der Besiedlung	Ästhetik der Trinkwassers
Ausmaß (Quantität) der Besiedelung eines Rohrleitungsabschnittes mit Invertebraten	Bewertung der Trinkwasserqualität Entscheidung über Art und Dringlichkeit von Maßnahmen
Risiken der Besiedelung mit Invertebraten:	Risiko einer (Wieder)verkeimung Ästhetische Beurteilung des Trinkwassers Entscheidung über Art und Dringlichkeit von Maßnahmen
Herkunft der Invertebraten	Entscheidung über Art von Maßnahmen
Art- und Menge potentieller Nahrungsbestandteile in der Trinkwasserverteilung Eintrag in das Rohrnetz	Entscheidung über Art von Maßnahmen
Eigenschaften der vorhandenen Invertebraten	Entscheidung über Art von Maßnahmen

Tabelle 2. Mögliche Bewertungskriterien für biologische Daten aus Trinkwasserverteilungssystemen.

Bewertungskriterium	Aussage / Bemerkungen	Relevanz
Anzahl vorhandener Arten bzw. Tiergruppen		Ausmaß (Quantität) der Besiedelung
Individuendichte	Anzahl an Invertebraten pro Volumeneinheit	Ausmaß (Quantität) der Besiedelung
Biomasse	Masse an Invertebraten	Ausmaß (Quantität) der Besiedelung
Anzahl und Biomasse an Makroorganismen	Dichte / Masse an Makroorganismen je Volumeneinheit	Risiken der Besiedelung (Ästhetik)
Durchschnittliche Größe der Individuen bzw. der Makroorganismen	Größenverteilung; Stellung im Nahrungsnetz	Risiken der Besiedelung (Ästhetik)
Anzahl (mit bloßem Auge) sichtbarer Tiere	Vorhandensein großer, sichtbarer Tiere	Risiken der Besiedelung (Ästhetik)

Bewertungskriterium	Aussage / Bemerkungen	Relevanz
Anzahl Kotpellets	Dichte von Kotpellets je Volumeneinheit	Risiken der Besiedelung (Wiederverkeimung)
Masse Kotpellets	Masse von Kotpellets je Volumeneinheit	Risiken der Besiedelung (Wiederverkeimung)
Verhältnis Biomasse : Individuenzahl	mittlere Größenverteilung	-
Durchschnittliche Biomasse je Individuum einer Art	Größenverteilung	-
Anteile der verschiedenen Tiergruppen		Art- und Menge potentieller Nahrungsbestandteile
Anteil sog. "Weidegänger"	Anteil der Individuen, die bevorzugt Biofilme als Nahrungsgrundlage verwenden	Art- und Menge potentieller Nahrungsbestandteile
Anteil „Zerkleinerer“ Anteil "Allesfresser"	Anteil der Individuen, die bevorzugt partikuläre Ablagerungen als Nahrungsgrundlage verwenden	Art- und Menge potentieller Nahrungsbestandteile
Anteil epiphytisch und epilithisch lebender Individuen bzw. Taxa	Anteil der Individuen, die bevorzugt Biofilme als Nahrungsgrundlage verwenden	Art- und Menge potentieller Nahrungsbestandteile
Anteil "Mulmfauna"	Anteil der Individuen, die bevorzugt partikuläre Ablagerungen als Nahrungsgrundlage verwenden	Art- und Menge potentieller Nahrungsbestandteile
Anteil Oberflächenwassertiere	Anteil der Individuen, deren Lebensraum das Freiwasser der Oberflächengewässer ist	Herkunft der Invertebraten
Anteil Grundwassertiere	Anteil der Individuen, deren Lebensraum das Grundwasser ist	Herkunft der Invertebraten
Anteil Nematoden	Anteil von Nematoden an der Besiedelungsdichte	Risiken der Besiedelung (Ästhetik)
Durchschnittliche Größen bzw. Biomassen je Tiergruppe	Aussage über den Ernährungszustand der jeweiligen Tiergruppe	Art- und Menge potentieller Nahrungsbestandteile
Thigmotaxis der Lebensgemeinschaft	Grad des Festhaltevermögens / - reflexes der vorkommenden Tiere	Eigenschaften

Auf der Grundlage von Relevanz und Anwendbarkeit der einzelnen Bewertungskriterien wurde eine Auswahl von Parametern und Einzelkriterien in das Bewertungssystem integriert. Das sind derzeit Informationen

- zur Quantität des Vorkommens wirbelloser Tiere,
- zur ästhetischen Bewertung des Trinkwassers und
- zum Risiko einer Wiederverkeimung.

2.3. Bewertungsmethode

Auf Grund der Vielzahl zu betrachtender Aspekte und der Möglichkeit eine Gesamtbewertung durchzuführen, wurde ein multimetrischer Bewertungsansatz gewählt. Multimetrische Bewertungsverfahren beschreiben eine Gemeinschaft (hier Invertebratengemeinschaft in Trinkwasserverteilungssystemen) unter verschiedenen Aspekten bzw. über verschiedene Attribute. Die Attribute sind jeweils skalierbar, so dass die Qualität / Quantität eines Attributes als Zahl wiedergegeben werden kann (Metric). Ein sog. Multimetrischer Index kombiniert mehrere Einzelmetric, deren Ergebnisse dann zu einem Gesamtindex aggregiert werden können. Mittlerweile gehören diese Indizes zu den allgemein gebräuchlichen Werkzeugen für die Bewertung bzw. Klassifizierung limnischer Ökosysteme bzw. Lebensgemeinschaften (siehe z. B. DIN CEN/TR 16151, 2011).

2.4. Skalierung der Bewertungskriterien

Aus der Notwendigkeit heraus, ein relatives Bewertungssystem zu entwickeln, erfolgte die Skalierung der einzelnen Bewertungskriterien nicht über absolute Ankerpunkte sondern über Perzentile als (besondere) statistische Lagemaße. Im konkreten Fall wurden für eine 5-stufige Klassifizierung (3-stufig mit Zwischenstufen) die größegeordneten Daten für jedes Bewertungskriterium in 5 gleiche Abschnitte geteilt, die 20, 40, 60 und 80 % Perzentile.

Diese Perzentilwerte ergeben zugleich die jeweiligen Ober- bzw. Untergrenzen für eine Einordnung der zu bewertenden Daten (Tabelle 3).

3. Multimetrischer Bewertungsindex

3.1. Bewertungsmodule

Mit dem hier vorliegenden modular aufgebauten Bewertungssystem wird der Bearbeiter nunmehr in die Lage versetzt, verschiedene Detailinformationen aus den jeweils aktuell erhobenen Daten zu extrahieren, und diese innerhalb von thematischen Modulen einzuordnen. Im vorliegenden Bewertungssystem entsprechen die unter 2.2 vorgestellten Aspekte einzelnen Modulen, in welchen über verschiedene

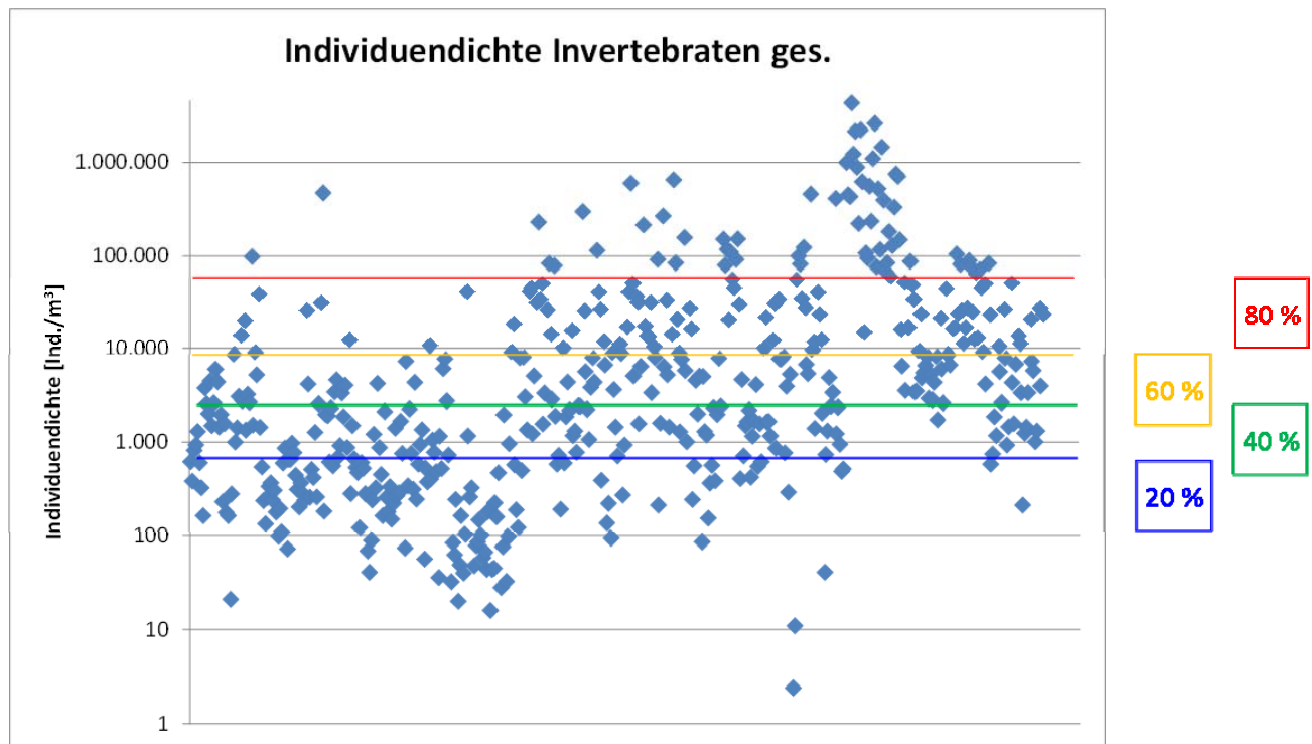


Abb. 1. Skalierung des Bewertungskriteriums “Individuendichte Invertebraten gesamt” über statistische Lagemaße (Perzentile). Datengrundlage: n = 480, Datenreihe: 55µm; logarithmische Darstellung der Individuendichten.

Tabelle 3. Ober- und Untergrenzen und Bewertung.

Index-ID	Einordnung	Index-Wert	verbale Bewertung
1	Wert <20 % Perzentil	1	wenig, gering, niedrig
2	Wert >= 20 % und < 40 % Perzentil	2	wenig bis durchschnittlich
3	Wert >= 40 % und < 60 % Perzentil	3	mäßig, durchschnittlich
4	Wert >= 60 % und < 80 % Perzentil	4	durchschnittlich bis hoch
5	Wert >80 % Perzentil	5	viel, hoch

Einzelindizes die gewünschten Informationen skalierbar gewonnen werden können. In einem ersten Schritt werden zunächst für jedes Modul die Einzelindizes ermittelt und zu einem Modul-Wert durch Mittelwertbildung verrechnet. Folgende Module und Einzelindizes werden berücksichtigt:

a) Modul 1: Quantität / Diversität

Beschreibung: Das Modul Quantität / Diversität beschreibt die Höhe der Besiedelung eines Rohrleitungsabschnittes mit wirbellosen Tieren. Hierbei wird sowohl der qualitative Aspekt (Anzahl vorhandener Tiergruppen und Einzeltaxa) als auch der quantitative Aspekt (Anzahl vorhandener Individuen, Biomasse) berücksichtigt.

Einzelindizes: Anzahl vorkommender Tiergruppen (Index Q1),
Anzahl vorkommender Taxa (Index Q2),
Individuendichte (Index Q3),
Biomassekonzentration (Index Q4).

Skalierung: Je höher die Einzelindizes, umso mehr (dichter) ist der zu untersuchende Rohrleitungsabschnitt mit wirbellosen Tieren besiedelt.

Ermittlung des Modulwertes:

$$MW(Q) = \frac{IW(Q1)+IW(Q2)+IW(Q3)+IW(Q4)}{4} \quad (1)$$

MW(Q): Modulwert Quantität/Diversität

IW(Q1...4): Indexwerte Q1 bis Q4

b) Modul 2: Ästhetische Bewertung

Beschreibung: Das Modul beschreibt das Vorkommen von Makroorganismen, d. h. für das menschliche Auge ohne optische Hilfsmittel sichtbare wirbellose Tiere sowie das Vorhandensein von Kotpartikeln dieser Tiere.

Einzelindizes: Biomasse Makroorganismen (Index AE1),
Biomasseanteil Makroorganismen (Index AE2),
durchschnittliche Körpergröße der Makroorganismen (Index AE3),
Anzahl sichtbarer Tiere (Tiere > 5mm) Index AE4),
Anzahl sichtbarer Kotpellets (Indexierung in Vorbereitung).

Skalierung: Je höher die Einzelindizes umso höher ist das Risiko einer geringen ästhetischen Bewertung.

Ermittlung des Modulwertes:

$$MW(AE) = \frac{IW(AE1)+IW(AE2)+IW(AE3)+IW(AE4)}{4} \quad (2)$$

MW(AE): Modulwert Ästhetische Bewertung

IW(AE1...4): Indexwerte AE1 bis AE4

c) Modul 3: Risiko einer Verkeimung

Beschreibung: das Modul beschreibt das Risiko einer Wiederverkeimung des Trinkwassers auf der Grundlage der vorhandenen Biomasse, des darin vorhandenen

organischen Kohlenstoffs und der vorhandenen Konzentration sowie Masse an Kotpellets.

Einzelindizes: Biomasse gesamt (Index V1),
Anzahl vorhandener Kotpellets (Index V2),
Biomasse vorhandener Kotpellets (Index V3)

Skalierung: Je höher die Einzelindizes umso höher ist das Risiko einer Wiederverkeimung.

Ermittlung des Modulwertes:

$$MW(V) = \frac{IW(V1)+IW(V2)+IW(V3)}{3} \quad (3)$$

MW(V): Modulwert Verkeimung

IW(V1...4): Indexwerte V1 bis V4

3.2. Multimetrischer Index

Die Indizes der verschiedenen Module können nach einer Gewichtung der Modulwerte über einfache Mittelwertbildung zu einem multimetrischen Index verrechnet werden. Alternativ zur Mittelwertbildung ist auch eine Aggregation über einen worst case möglich. Die Gewichtung der Modulwerte erfolgt entsprechend ihrer derzeitigen Relevanz für Verbraucherbeschwerden infolge einer Besiedelung der Trinkwasserverteilung mit wirbellosen Tieren. In diesem Zusammenhang steht die optische Wahrnehmung von Tieren (ästhetische Bewertung) an erster Stelle gefolgt von der Gefahr einer Wiederverkeimung des Trinkwassers. Quantität und Diversität der tierischen Besiedelung spielen für Verbraucherbeschwerden eine untergeordnete Rolle. Die verwendeten Gewichtungsfaktoren sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4. Gewichtungsfaktoren für den Multimetrischen Index.

Modulwert	Gewichtung
Quantität/Diversität MW(Q)	0,8
Ästhetische Bewertung MW(AE)	1,2
Risiko einer Wiederverkeimung MW (V)	1,0

Dier Ermittlung des Multimetrischen Index (MMI) erfolgt entsprechend Gleichung 4,

$$MMI = \frac{(MW(Q)*0,8)+(MW(AE)*1,2)+(MW(V)*1,0)}{3} \quad (4)$$

Die Bewertung des Ergebnisses erfolgt entsprechend Tabelle 5.

Tabelle 5. Verbale Bewertung der Multimetrischen Indizes.

MMI	Bewertung
1,0-1,9	Sehr hohe biologische Trinkwasserqualität: sehr geringe bis geringe Nachweise wirbelloser Tiere, höchstens vereinzelt Makroinvertebraten vorhanden, wenige sichtbare Ablagerungen ohne oder mit sehr wenigen Kotpartikeln.
2,0-2,9	Hohe biologische Trinkwasserqualität: Wenig bis mäßig viele Nachweise wirbelloser Tiere, wenige gut sichtbare Makroinvertebraten vorhanden, geringe Mengen sichtbarer Ablagerungen mit wenigen Kotpellets.
3,0-3,9	Mäßige biologische Trinkwasserqualität: mittlere bis hohe Individuenzahlen aber nur durchschnittlich hohe Biomassen wirbelloser Tiere, durchschnittlich viele Makroorganismen, mäßig viele sichtbare Ablagerungen mit einem deutlich wahrnehmbaren Anteil an Kotpellets.
4,0-4,9	Geringe biologische Trinkwasserqualität: hohe bis sehr hohe Individuenzahlen und hohe Biomassen wirbelloser Tiere, viele Nachweise gut sichtbarer Makroorganismen, große Mengen sichtbarer Ablagerungen mit hohem Anteil an Kotpellets.
5,0-5,9	Sehr geringe biologische Trinkwasserqualität: sehr hohe Individuenzahlen und Biomassen wirbelloser Tiere, viele bis sehr viele Nachweise gut sichtbarer Makroinvertebraten, sehr viele sichtbare Ablagerungen mit einem sehr hohen Anteil an Kotpellets.

3.3. Anwendung des Multimetrischen Index

Am Beispiel einer Teststrecke wird im Folgenden das Bewertungsverfahren dargestellt. Die Untersuchungen erfolgten im Dezember 2012, die Probe wurde an einem Unterflurhydranten mittels der NDHD-S2 Probenahmeapparatur gewonnen (Maschenweiten der Filter 25µm und 100µm, parallele Filtration nach Stromteilung in 1:9; s. Scheideler et al. 2013). Auf der Grundlage der mikroskopischen Analyse ergeben sich folgende Indizes und Bewertungen (Tabelle 6).

Das Bewertungsbeispiel zeigt die Analyse eines Rohrleitungsabschnittes mit einem hohen qualitativen und quantitativen Vorkommen wirbelloser Tiere insgesamt und der damit verbundenen hohen Biomasse. Darüber hinaus wurde eine hohe Dichte von Kotpellets der Wasserassel (*Asellus aquaticus*) registriert. Daraus resultiert ein hohes Risiko einer Verkeimung des Rohrleitungsabschnittes und ein hoher Modulwert hinsichtlich Quantität und Diversität der Invertebratengemeinschaft. Demgegenüber ist ein nur geringer bis mäßiger Nachweis sichtbarer Organismen (>5 mm) und eine vergleichsweise geringe Größe der Makroorganismen festzustellen. Das damit

verbundene Risiko einer schlechten ästhetischen Bewertung ist somit nur gering bis mäßig. Die Problematik des Rohrleitungsabschnittes besteht somit vor allem im Risiko einer Verkeimung des Trinkwassers auf Grund der vorhandenen Biomasse und Kotpellets.

Tabelle 6. Bewertung einer Hydrantenuntersuchung mittels Multimetrischem Index.

Modul / Index	Wert	Einheit	Indexwert		Modulwert	
			numerisch	verbal	numerisch	verbal
<i>Quantität/Diversität</i>						
Anzahl der Tiergruppen	8	-	4	mäßig bis viel	4,8	viel
Anzahl der Taxa	17	-	5	viel		
Individuendichte Invertebraten ges.	2.654.779	Ind./m ³	5	viel		
Biomasse Invertebraten ges.	36,2	mg/m ³	5	viel		
<i>Ästhetische Bewertung (Risiko einer geringen ästhetischen Bewertung)</i>						
Biomasse der Makroorganismen	0,07	mg/m ³	2	gering bis mäßig	2	gering bis mäßig
Biomasseanteil Makroorganismen	0,21	%	3	mäßig		
durchschnittliche Körpergröße der Makroorganismen	4,0	mm	1	gering		
Anzahl sichtbarer Tiere	1	Ind./m ³	2	gering bis mäßig		
<i>Risiko einer Verkeimung</i>						
Biomasse	36,2	mg/m ³	5	hoch	5	hoch
Anzahl vorhandener Kotpellets	809.104	Anzahl./m ³	5	hoch		
Masse vorhandener Kotpellets	134	mg/m ³	5	hoch		
Multimetrischer Index			3,8	mäßige biologische Trinkwasserqualität		

4. Ausblick

Mit dem vorliegenden Multimetrischen Index ist es nunmehr möglich, Ergebnisse aus Hydrantenuntersuchungen miteinander zu vergleichen und in eine größere Datenbasis einzuordnen. Darüber hinaus können verschiedene Detailinformationen zu den im Rohrleitungssystem aktuell vorhandenen wirbellosen Tieren gewonnen und beurteilt werden. Weitere Vorteile des Bewertungssystems liegen in der Stabilität der Bewertungsergebnisse und der Möglichkeit, das Bewertungssystem einer größeren Datengrundlage anzupassen und weiter zu entwickeln. In den nun folgenden Arbeitsschritten wird der Index getestet hinsichtlich

- seiner Anwendbarkeit in der wasserwirtschaftlichen Praxis,
- der Interpretierbarkeit seiner Ergebnisse und
- seiner Aussagefähigkeit zur Erfolgskontrolle bzw. als Monitoringinstrument.

Auf der Grundlage der dann vorliegenden Erfahrungen wird das System schließlich angepasst bzw. weiterentwickelt.

5. Zusammenfassung

Für den Betrieb von Trinkwasserverteilungssystemen gewinnt der Aspekt der biologischen Trinkwasserqualität immer mehr an Bedeutung. Insbesondere das Auftreten von wirbellosen Kleinstlebewesen kann sowohl zu ästhetischen als auch hygienischen Beeinträchtigungen der Trinkwasserqualität führen. Im Gegensatz zu Schadstoffen oder pathogenen Keimen wurde für das Vorkommen von wirbellosen Tieren im Trinkwasser bislang kein akutes hygienisches Risiko nachgewiesen, dementsprechend beinhalten die gesetzlichen Regelungen zur Trinkwasserqualität keine Grenz-, Schwellen-, oder Richtwerte. Vergleichbare Aussagen zu Invertebraten erfordern jedoch neben standardisierten Bedingungen für die Probeentnahme und Analyse auch standardisierte Verfahren zur Bewertung der Ergebnisse. Auf Grund des derzeitigen Fehlens von belastbaren Aussagen / Untersuchungen über die indirekte hygienische Relevanz wirbelloser Tiere in Trinkwassersystemen ist keine absolute Bewertung im Sinne von Grenzwertüber- oder Unterschreitungen möglich. Mit Hilfe eines Bewertungssystems kann jedoch eine vergleichende Einordnung erhobener Daten in eine definierte Datengrundlage und eine Betrachtung der Ergebnisse unter verschiedenen Aspekten mit daraus resultierenden Handlungsempfehlungen erfolgen.

Auf der Grundlage von Relevanz und Anwendbarkeit der einzelnen Bewertungskriterien (Aspekte) wurde eine entsprechende Auswahl in das Bewertungssystem integriert. Das sind derzeit Informationen zur Quantität des Vorkommens wirbelloser Tiere, zur ästhetischen Bewertung des Trinkwassers und zum Risiko einer Wiederverkeimung. Auf Grund der Vielzahl zu betrachtender

Aspekte und der Möglichkeit eine Gesamtbewertung durchzuführen wurde ein multimetrischer Bewertungsabsatz gewählt.

Das vorliegende Bewertungssystem ist modular aufgebaut; jedes Modul wird seinerseits durch verschiedene Einzelindizes beschrieben. Zusammenfassende Bewertungen sind auf Basis der Module als auch als Gesamt-Index (Multimetrischer Index – MMI) möglich.

Referenzen

- Borchers, U. (2013) Die Trinkwasserverordnung 2012, Erläuterungen – Änderungen – Rechtstexte. 2. Auflage, Beuth Verlag, Berlin, 292 S.
- Christensen, S. C. B., Arvin, E., Nissen, E. & Albrechtsen, H.-J. (2013) *Asellus aquaticus* as a Potential Carrier of *Escherichia coli* and Other Coliform Bacteria into Drinking Water Distribution Systems. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 3 (10), 845-855.
- Christensen, S. C. B., Nissen, E., Arvin, E. & Albrechtsen, H.-J. (2012) Influence of *Asellus aquaticus* on *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Campylobacter jejuni* and naturally occurring heterotrophic bacteria in drinking water. *Water Research* 46 (16), 5279–5286.
- Colins (2004) Small animals in drinking-water distribution systems. In: WHO, Safe piped water. Chap. 6. IWA Publ., 101-120.
- DIN 2000 (2000) Zentrale Trinkwasserversorgung; Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser, Planung, Bau und Betrieb der Anlagen. Ersatz für DIN 2000 (1973-11), Beuth Verlag, Berlin, 10 S.
- DIN CEN/TR 16151 (2011) Wasserbeschaffenheit - Anleitung zur Planung und Erstellung Multimetrischer Indices. Beuth Verlag, Berlin.
- DVGW W 271 (1997) Tierische Organismen in Wasserversorgungsanlagen. DVGW Regelwerk W 271. DVGW Bonn, 45 S.
- Gunkel, G., Michels, U., Scheideler, M. & Ripl, K. (2010) Vorkommen und Bedeutung von Kleintieren in Trinkwasserverteilungssystemen - Maßnahmen zu deren Regulierung. *3R* (12), 716–724.
- Höll, K. & Grohmann, A. (2002) Wasser. Nutzung im Kreislauf, Hygiene, Analyse und Bewertung. 8. Aufl., De Gruyter, Berlin, 955 S.
- UBA (2004) Stellungnahme der Trinkwasserkommission zum Vorkommen von Oligochaeten und anderen Kleintieren in Wasserversorgungsanlagen. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 3, 302.
- 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. *Water Research* 46, 16, 4918–4932.
- WHO (2004) Guideline for Drinking water Quality. 3. ed., World Health Organisation, Geneva.

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 Wasserreinigung 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

Priv.Doz. Dr. Günter Gunkel
Technische Universität Berlin, Wasserreinigung,
Sekt. KF 4, Strasse des 17. Juni 135, 10623 Berlin.
Fon: ++49 30 314 25847, Fax: ++49 30 314 23850,
e-mail: guenter.gunkel@tu-berlin.de