

5 Beispiele aus der Praxis

In der praktischen Anwendung biologischer Grundwasseruntersuchungen treten Fragen auf, die die Festlegung von Wasserschutzgebieten betreffen oder es liegt eine Beeinträchtigung des Grundwassers vor, die eingeschätzt werden bzw. für die eine Ursache gefunden werden soll. In manchen Fällen soll untersucht werden, inwieweit eine schädliche Beeinflussung durch eindringendes Oberflächengewässer vorliegt.

Im allgemeinen ist eine möglichst schnelle Aufklärung der vorliegenden Verhältnisse gewünscht, so daß in den seltensten Fällen Langzeituntersuchungen angesetzt werden können. Auch eine einmalige Beprobung sollte daher, wenn möglich, genügend Informationen liefern, anhand derer ein Grundwasser charakterisiert werden kann.

Die in den Langzeitversuchen des Projekts „Untersuchungen zur Biologie des Grundwassers und die Beeinflussung durch Oberflächenwasser“ gewonnenen Erfahrungen ermöglichen es nun in gewissem Rahmen, die Momentaufnahme einer einmaligen Probennahme richtig einordnen zu können. Anhand von vier exemplarischen Fallbeispielen aus der Praxis soll im folgenden die Aussagekraft biologischer Parameter als Ergänzung zur Chemie dargestellt werden.

Fallbeispiel 1

Hierbei geht es um einen Brunnen der Wasserfassung A, bei dem der Verdacht bestand, daß Wasser aus einem nahe gelegenen Teich infiltriert. Diese Annahme sollte durch eine chemisch-biologische Untersuchung überprüft werden.

Die chemischen Ergebnisse (siehe **Tabelle 3**) zeigen stark reduzierte Verhältnisse auf. Die Konzentrationen von Eisen und Mangan sind deutlich erhöht. Das Fehlen von Nitrat, sowie der erhöhte Wert für Ammonium weisen auf bakterielle Umsetzungsprozesse hin. Der TOC ist für Grundwasser untypisch hoch, d.h. es liegt viel organisches Material vor.

Der bakteriologische Befund (siehe **Tabelle 4**) untermauert die chemischen Ergebnisse. Die Koloniezahl auf DEV-Nährboden ist mit 2400 KBE/ml sehr hoch und liegt kaum unterhalb der Zahl der oligocarbophilen Bakterien, die auf dem R2A-Nährboden angewachsen sind. Das bedeutet, daß zahlreiche saprophage Bakterien mit hohen Nährstoffansprüchen in das Grundwasser eingetragen werden. Das reichliche Nährstoffangebot (TOC) führt gleichzeitig zu hohen Zahlen aktiver Bakterien. Der positive Nachweis von F/Sp-Bakterien und violett pigmentierten Bakterien gibt Hinweise auf eine mangelhafte Filterwirkung des Bodens im Bereich des Brunnens.

Bei der mikroskopischen Betrachtung des Planktons (siehe **Tabelle 5**) werden keine höheren Organismen und auch keine typischen Grundwasserformen gefunden. Dafür wird eine Massenentwicklung von eisen- und manganoxidierenden Bakterien, sowie von *Crenothrix polyspora* nachgewiesen. Bei *Crenothrix polyspora* handelt es sich um ein fadenförmiges Bakterium, das in der Mischzone von reduzierten Grundwässern wächst, wo es zu einem Zustrom von sauerstoffhaltigem Wasser kommt. Dies und vor allem auch das deutliche Auftreten von Grünalgen weist eindeutig auf einen Oberflächenwassereinfluß hin.

Die chemischen und biologischen Ergebnisse zeichnen ein übereinstimmendes Bild über den Zustand des Brunnen der Wasserfassung A. Durch die Gesamtheit aller Parameter kann der Einfluß des Teiches auf das Grundwasser als einziges in der Nähe liegendes Oberflächengewässer zweifelsfrei bestätigt werden. Die Verschmutzung des Grundwassers ist in diesem Bereich außergewöhnlich gravierend; meist ist der Nachweis einer Beeinflussung jedoch nicht so eindeutig zu führen wie in diesem Fall.

Temperatur	°C	8,6
Elektr. Leitfähigkeit (bei 20°C)	µS/cm	608
pH-Wert bei t (pHt-gem.)		6,38
Sauerstoff, gel.	mg/l	n.a.
Säurekapazität bis pH 4,3 (KS 4,3)	mmol/l	3,81
Härte (Summe Erdalkalien)	mmol/l	n.b.
	°d	n.b.
Härtebereich		n.b.
Calcium (Ca ²⁺)	mg/l	70,0
Magnesium (Mg ²⁺)	mg/l	24,2
Natrium (Na ⁺)	mg/l	36
Kalium (K ⁺)	mg/l	4,5
Mangan, gesamt (Mn)	mg/l	1,2
Eisen, gesamt (Fe)	mg/l	0,17
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l	0,057
Fluorid (F ⁻)	mg/l	0,1
Chlorid (Cl ⁻)	mg/l	80
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/l	39
Nitrat (NO ₃ ⁻)	mg/l	n.n.
Nitrit (NO ₂ ⁻)	mg/l	0,010
Orthophosphat (PO ₄ ³⁻)	mg/l	2,49
Kieselsäure (SiO ₂)	mg/l	26
Oxidierbarkeit (Mn VII-->II) (O ₂)	mg/l	4,8
TOC	mg/l	6,9
DOC	mg/l	n.b.
Spektr. Absorptionskoeff. 436 nm	1/m	0,42
Spektr. Absorptionskoeff. 254 nm	1/m	14,8

Tabelle 3: Chemischer Befund des Brunnens der Wasserfassung A

DEV, 2d	KBE/ml	2400
DEV, 7d	KBE/ml	n.b.
R2A	KBE/ml	8100
F/Sp		pos
v p		pos
Gesamtzellzahl	Zellzahl/ml	630000
Zahl akt. Bakt.	Zellzahl/ml	59000
	%	9,4

Tabelle 4: Bakteriologischer Befund des Brunnens der Wasserfassung A

Fe-Mn-Bakt.	9
Crenothrix polyspora	9
Beggiatoa sp.	
Diatomeae	
Chlorophyta	5
Mycophyta	
Flagellata	9
Rhizopoda (Amoebida)	9
Ciliata	5
Rotatoria	1

Tabelle 5: Mikroskopischer Befund des Brunnens der Wasserfassung A

(Organismen der Gruppe 1; Abundanz in 100 l Probe, 1=Einzelfund;2=selten;3=mäßig häufig; 5=häufig; 7=sehr häufig; 9=Massenvorkommen)

Fallbeispiel 2

Der zweite Fall befaßt sich mit der Frage, ob im Grundwasserleiter der Wasserfassung B eine Infiltration von Flußwasser stattfindet. Es wurde ein Sammelbrunnen beprobt, sowie zwei Grundwassermeßstellen im Vorfeld der Brunnengalerie gestaffelt zum Fluß. Meßstelle 1 liegt nur wenige Meter vom Fluß entfernt, gefolgt von Meßstelle 2 in ca. 25 m und dem Brunnen in ca. 100 m Entfernung.

		Fluß	Meßstelle 1	Meßstelle 2	Brunnen
Temperatur	°C	9,8	8,4	9,1	8,0
Elektr. Leitfähigkeit (bei 20°C)	µS/cm	268	498	367	483
pH-Wert bei t (pH-gem.)		8,36	7,03	7,46	7,25
Sauerstoff, gel.	mg/l	9,1	0,3	2	6,9
Säurekapazität bis pH 4,3 (KS 4,3)	mmol/l	2,82	5,70	4,14	5,75
Härte (Summe Erddklien)	mmol/l	1,59	2,97	2,18	2,98
	°d	8,86	16,64	12,24	16,71
Härtebereich		2	3	2	3
Calcium (Ca ²⁺)	mg/l	46,2	101,2	68,7	95,2
Magnesium (Mg ²⁺)	mg/l	10,4	10,7	11,4	14,7
Natrium (Na ⁺)	mg/l	1,9	2,0	1,9	2,4
Kalium (K ⁺)	mg/l	0,6	1,0	1,0	1,0
Mangan, gesamt (Mn)	mg/l	0,004	0,84	0,001	0,005
Eisen, gesamt (Fe)	mg/l	0,01	11	0,01	0,01
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l	n.n.	1,030	n.n.	n.n.
Fluorid (F ⁻)	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Chlorid (Cl ⁻)	mg/l	2,2	2,2	2,4	2,7
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/l	18,0	9,5	11,9	9,1
Nitrat (NO ₃ ⁻)	mg/l	2,9	0,7	2,5	3,0
Nitrit (NO ₂ ⁻)	mg/l	0,230	0,112	n.n.	0,002
Orthophosphat (PO ₄ ³⁻)	mg/l	n.n.	0,120	0,046	n.n.
Kieselsäure (SiO ₂)	mg/l	2,8	7,0	4,3	4,6
Oxidierbarkeit (Mn VII→II) (O ₂)	mg/l	0,71	1,34	0,71	0,63
TOC	mg/l	0,6	1,8	0,7	0,5
DOC	mg/l	0,7	1,7	0,6	0,6
Spektr. Absorptionskoeff. 436 nm	1/m	0,48	4,1	0,14	0,10
Spektr. Absorptionskoeff. 254 nm	1/m	1,2	7,4	1,4	1,2

Tabelle 6: Chemischer Befund der Wasserfassung B

		Fluß	Meßstelle 1	Meßstelle 2	Brunnen
DEV, 2d	KBE/ml	540	8	3	1
DEV, 7d	KBE/ml	1400	100	120	1
R2A	KBE/ml	4000	640	430	26
F/Sp		pos	pos	pos	pos
v p		pos	neg	neg	neg
Gesamtzellzahl	Zellzahl/ml	n.b.	n.a.	76000	83000
Zahl akt. Bakt.	Zellzahl/ml	n.b.	n.a.	1600	1600
	%	-	-	2,1	1,9

Tabelle 7: Bakteriologischer Befund der Wasserfassung B

	Meßstelle 1	Meßstelle 2	Brunnen
Fe-Mn-Bakt.	5		
Crenothrix polyspora			
Beggiatoa sp.			
Diatomeae	2	2	
Chlorophyta	2	3	
Mycophyta			
Flagellata			
Rhizopoda			
Ciliata	2	3	
Rotatoria			

Tabelle 8: Mikroskopischer Befund der Wasserfassung B

(Organismen der Gruppe 1; Abundanz in 100 l Probe, 1=Einzelfund;2=selten;3=mäßig häufig; 5=häufig; 7=sehr häufig; 9=Massenvorkommen)

	Meßstelle 1	Meßstelle 2	Brunnen
Turbellaria	1		
Nematoda		10	
Oligochaeta	2		
Troglochaetus beranecki			
Cyclopoida	3	36	
Harpacticoida		1	
Ostracoda			
Ostr.-Schalen			
Amphipoda			
Isopoda			
Syncarida			
Nauplien		42	
Phyllopoda			
Acari	1		
Collembola	1		
Chironomidae			

Tabelle 9: Mikroskopischer Befund der Wasserfassung B

(Organismen der Gruppe 2; Stückzahlen in 100 l Probe)

Die chemische Analyse (siehe **Tabelle 6**) zeigt zunächst ein unklares Bild. An Meßstelle 1 weist das Wasser gegenüber dem Fluß deutliche Unterschiede auf. Als Uferfiltrat ist es stark reduziert, die Konzentrationen von Eisen und Mangan sind massiv erhöht, Phosphat wird rückgelöst. Eine im Vergleich zum Fluß erniedrigte Nitratkonzentration, sowie erhöhte Werte für Nitrit und Ammonium weisen auf eine Nitratammonifikation hin und damit auf leicht abbaubares organisches Material. Die höheren Calciumwerte könnten aus einer Vermischung mit hangseitigem Grundwasser stammen, dann erscheinen jedoch die unterschiedlichen Calciumkonzentrationen in Meßstelle 2 und dem Brunnen unplausibel. Auffallend ist der vergleichsweise hohe Anteil von organischem Material in der Meßstelle 1. Neben dem Flußwasser muß eine zusätzliche Nährstoffquelle vorliegen, die entweder im Flußsediment oder in der Bodenpassage zur Meßstelle liegt.

Die chemischen Werte von Meßstelle 2 und Sammelbrunnen stimmen dann weitgehend überein, unterscheiden sich aber vor allem durch die höheren Calciumwerte vom Flußwasser. Anhand der chemischen Daten allein erscheint ein weitergehender Uferfiltrateinfluß insgesamt eher als unwahrscheinlich.

Durch die Funde von Kieselalgen und Grünalgen (siehe **Tabelle 8**) in beiden Meßstellen zeigt sich jedoch eindeutig ein Uferfiltrateinfluß. Auch der Nachweis von Bakterien der F/Sp-

Gruppe (**Tabelle 7**) war positiv, was ebenfalls auf einen Oberflächenwassereinfluß hindeutet. Im Sammelbrunnen wurden auch Bakterien der F/Sp-Gruppe gefunden, jedoch keine Algen. Die Keimzahlen auf den verschiedenen Nährböden, sowie die Gesamtzellzahl und der Anteil physiologisch aktiver Bakterien lassen keine Auffälligkeiten erkennen und sind eher als niedrig zu bezeichnen. Bei den Koloniezahlen weisen außerdem die zum Brunnen stark abfallenden Werte auf eine gute Reinigungswirkung hin.

Zusätzlich zum Uferfiltrat muß auch ein Zustrom von hangseitigem Grundwasser vorhanden sein, der für eine ausreichende Sauerstoffzufuhr sorgt, die für die Existenz der gefundenen Grundwassertiere nötig ist. Das gehäufte Auftreten von Jungtieren zeigt entgegen den geringen TOC-Werten das ausreichende Vorhandensein von Nährstoffen an.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß zumindest im Bereich der Meßstellen ein eindeutiger Uferfiltrateinfluß vorliegt. Über den Nachweis von Bakterien der F/Sp-Gruppe gibt es zwar Anzeichen für eine mögliche Beeinflussung auch des Brunnens, hier wären jedoch für eine gesicherte Aussage weitere Untersuchungen notwendig.

Fallbeispiel 3

In diesem Fall ging es um einen vorübergehend stillgelegten Brunnen, bei dem der Verdacht auf Infiltration eines abwasserbelasteten Baches bestand. Der Brunnen lag etwa 30 m entfernt vom Bach in einem kleinen Tal, umgeben von landwirtschaftlich genutzten Wiesen. Beprobte wurden der Bach und der Brunnen. Die Ergebnisse der ersten Untersuchung sind in den **Tabellen 10** und **11** dargestellt.

Bei der ersten Probennahme vom Januar bei gefrorenem Boden waren keine Auffälligkeiten festzustellen. Anhand der chemischen Daten (insbesondere Nitrat und Chlorid) schien kein besonderer Einfluß zu bestehen, mangels einer Vergleichsmeßstelle im sicher unbeeinflussten hangseitigen Grundwasser war jedoch keine eindeutige Aussage zu treffen. Die mikrobiologischen Werte waren durchweg im eher niedrigen Bereich angesiedelt, die Anzahl der aktiven Bakterien als Indikator für ein biologisch verwertbares Nahrungsangebot war sogar ausgesprochen gering. Daher überraschte es etwas, bei den mikroskopischen Untersuchungen einige wenige Zellen einer fädigen Grünalge zu finden. Da in solchen Fällen ein Probennahmefehler zunächst nicht ausgeschlossen werden sollte, wurde dieselbe Untersuchung 3 Monate später nach Auftauen des Bodens wiederholt.

Gegenüber der ersten Untersuchung waren praktisch keine Unterschiede festzustellen, die mikrobiologischen Werte lagen sogar noch niedriger. Trotzdem konnten auch bei dieser Untersuchung einige wenige Grünalgenzellen gefunden werden. Um sicherzugehen, daß keine Verschleppung vorlag, wurde daher eine Woche später erneut eine biologische Probennahme mit dem Planktonnetz durchgeführt. Diesmal fanden sich in der Probe aus dem 5µm-Netz eine Reihe von aktiven Kieselalgen. Damit war der Nachweis einer Beeinflussung durch Oberflächenwasser eindeutig erbracht, auch wenn alle anderen Untersuchungen keine derartigen Rückschlüsse zuließen. Da über die Überlebensdauer von Kieselalgen im Grundwasser nichts bekannt ist, wäre es denkbar, daß diese bereits längere Zeit im Grundwasserleiter unterwegs sind und eine Beeinflussung des Brunnens nur sporadisch auftritt. Trotzdem zeigt die Anwesenheit dieser Algen ein hygienisches Risikopotential aufgrund mangelnder Filtrationswirkung im Einzugsgebiet an und ein Eindringen pathogener Keime oder Organismen (insbesondere widerstandsfähige Dauerstadien von Cryptosporidien und Giardien) kann nicht sicher ausgeschlossen werden.

Probe		Bach 13.01.98	Brunnen 13.1.98	Brunnen 27.4.98
Temperatur	°C	n.b.	10,2	9,9
Elektr. Leitfähigkeit (bei 20°C)	µS/cm	n.b.	647	662
pH-Wert bei t (pHt-gem.)		n.b.	7,14	7,14
Sauerstoff	mg/l	n.b.	7	6,7
Säurekapazität bis pH 4,3 (KS 4,3)	mmol/l	7,05	7,03	7,17
Härte (Summe Erdalkalien)	mmol/l	3,72	3,91	3,99
	°d	20,85	21,91	22,36
Härtebereich (Waschmittelgesetz)		3	4	4
Calcium (Ca ²⁺)	mg/l	101,8	113,6	116,2
Magnesium (Mg ²⁺)	mg/l	28,6	26,0	26,4
Natrium (Na ⁺)	mg/l	3,4	7,4	7
Kalium (K ⁺)	mg/l	2,8	3,6	2,9
Mangan, gesamt (Mn)	mg/l	0,004	<0,001	<0,001
Eisen, gesamt (Fe)	mg/l	0,01	<0,01	<0,01
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l	0,010	<0,01	0,013
Fluorid (F ⁻)	mg/l	<0,01	<0,01	n.b.
Chlorid (Cl ⁻)	mg/l	4,6	14	15,0
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/l	13,2	10,3	11
Nitrat (NO ₃ ⁻)	mg/l	5,3	26,9	27
Nitrit (NO ₂ ⁻)	mg/l	0,005	0,002	0,023
Orthophosphat (PO ₄ ³⁻)	mg/l	0,090	0,014	0,028
Kieselsäure (SiO ₂)	mg/l	6,2	6,17	6,3
Oxidierbarkeit (Mn VII-->II) (O ₂)	mg/l	2,77	0,79	0,79
TOC	mg/l	2,1	0,9	1,0
DOC	mg/l	1,7	0,9	1
Spektr. Absorptionskoeff. 436 nm	l/m	1,38	0,02	0,04
Spektr. Absorptionskoeff. 254 nm	l/m	4,5	1,5	1,9

Tabelle 10: Fallbeispiel 3 - chemischer Befund

		Bach 13.1.98	Brunnen 13.1.98	Brunnen 27.4.98
DEV, 2d	KBE/ml	18000	0	0
DEV, 7d	KBE/ml	110000	60	0
R2A	KBE/ml	150000	80	4
F/Sp		pos	neg	neg
v p		neg	neg	neg
Gesamtzellzahl	Zellzahl/ml	n.b.	170000	22000
Zahl akt. Bakt.	Zellzahl/ml	n.b.	320	120
	%	-	0,2	0,5

Tabelle 11: Fallbeispiel 3 - mikrobiologischer Befund

Fallbeispiel 4

Im Zuge des Forschungsvorhabens wurde das Grundwasser einiger ausgewählter Gebiete über einen längeren Zeitraum beobachtet. Dadurch wollte man einen Einblick in die Abhängigkeit von klimatischen Gegebenheiten bekommen und eventuelle kurzfristige Belastungssituationen erkennbar machen. So wurden Dauerprobennahmestellen mit bekanntem Uferfiltrateinfluß festgelegt, die über einen Zeitraum von eineinhalb bis zwei Jahren vierteljährlich beprobt wurden.

Eines dieser Untersuchungsgebiete, der Englische Garten in München, hat sich durch seine Artenvielfalt als besonders interessant erwiesen. Die Untersuchungsergebnisse lassen eine sehr schöne Charakterisierung des Grundwassers in diesem Bereich zu, die im folgenden kurz dargestellt werden soll.

Insgesamt wurden vier Meßstellen im Englischen Garten beprobt. Durch die jeweilige Lage der einzelnen Meßstellen zum Fluß (siehe **Abbildung 58**) wurde ein Vergleich zwischen unterschiedlich stark uferfiltratbeeinflußten Grundwässern möglich.

Auf der Höhe von Meßstelle a ist die Isar aufgestaut. In diesem Bereich kommt es zu einem massiven Zustrom von Isarwasser ins Grundwasser (10 % des Flußwassers). Meßstelle a liegt damit im unmittelbaren Einflußbereich des Flusses.

Ungefähr 200 m unterhalb der Staustufe fließt ein Großteil des Mischwassers über eine Quelle wieder in die Isar zurück. Im Bereich von Meßstelle b beträgt das Mischverhältnis von Isarwasser, das oberhalb der Staustufe zuströmt und Grundwasser etwa 1 : 3. Ein direkter Einfluß vom Fluß ist an dieser Stelle nicht gegeben, da der Grundwasserspiegel oberhalb der Isar liegt.

Meßstelle c liegt außerhalb des Einflußbereiches der Isar, Meßstelle d ist von dem in der Nähe befindlichen Schwabinger Bach beeinflusst, der von Isarwasser gespeist wird.

Die chemischen Untersuchungsergebnisse ließen keine jahreszeitlichen Schwankungen erkennen. In **Abbildung 57** sind daher die wichtigsten Ionen als Mittelwerte des gesamten Untersuchungszeitraumes dargestellt.

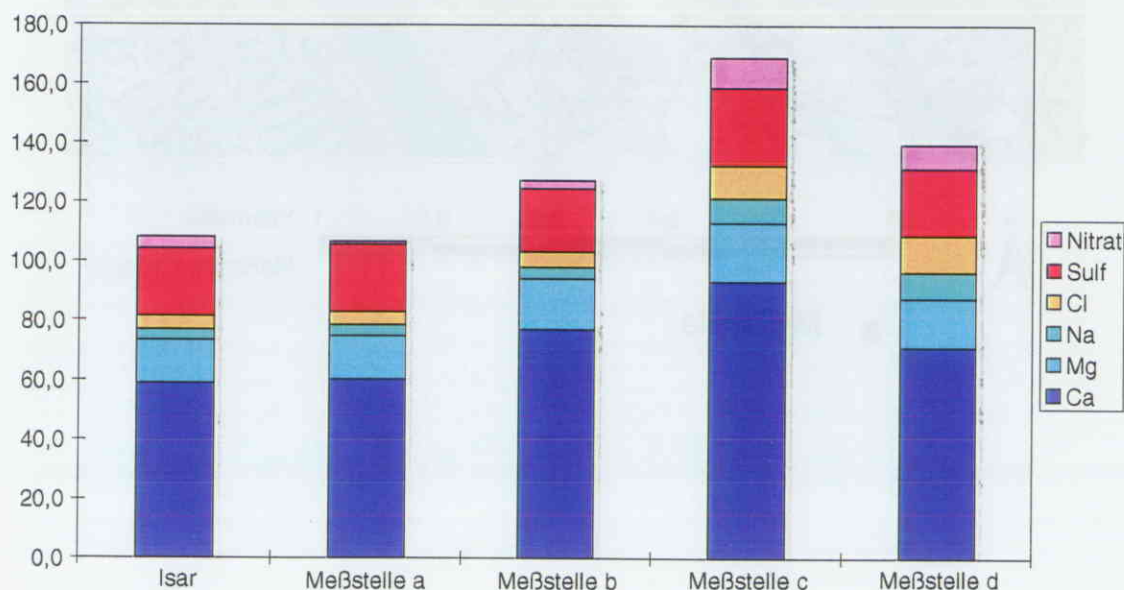


Abbildung 59: München - Verteilung der wichtigsten Ionen (Mittelwerte)

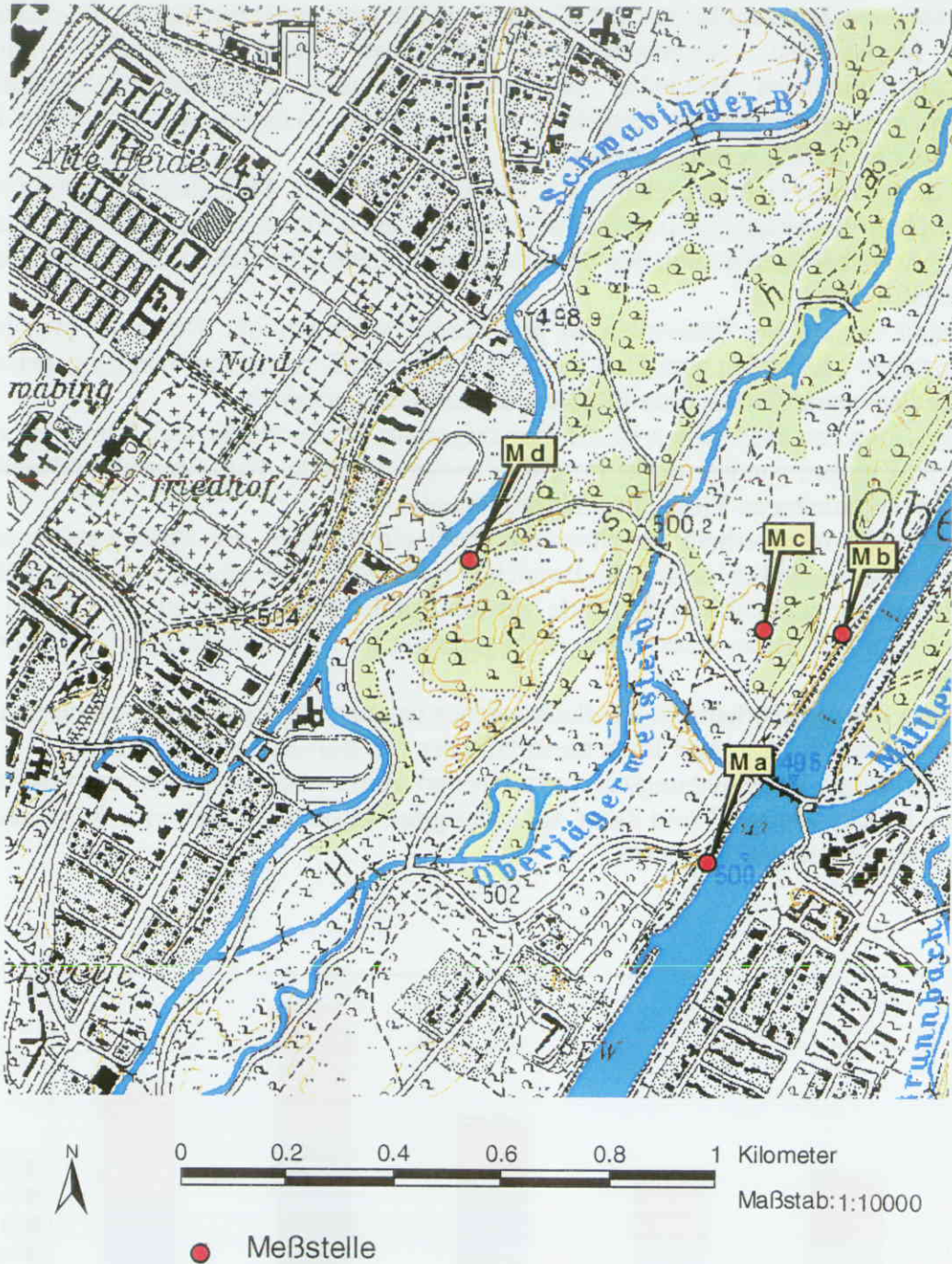


Abbildung 60: Lage der Meßstellen im Untersuchungsgebiet München

Wie man sieht, stellt sich die chemische Zusammensetzung des Grundwassers bei den einzelnen Meßstellen heterogen dar, was auf ihre unterschiedliche Lage zurückzuführen ist. Bei *Meßstelle a* kommt es durch den massiven Zustrom von Isarwasser zu einem erheblichen Nährstoffeintrag ins Grundwasser. Der mikrobielle Abbau organischer Substanz führt rasch zu einer vollständigen Zehrung des Sauerstoffes (MW 0,9 mg/l) und in weiterer Folge zur Denitrifikation (bei gleichzeitig ablaufender Nitratammonifikation) und Remobilisierung von Eisen (MW 0,24 mg/l) und Mangan (MW 0,149 mg/l). Die übrigen Parameter lassen eine hohe Übereinstimmung mit dem zuströmenden Isarwasser erkennen. In *Meßstelle b* zeigt das Vorkommen von Sauerstoff (MW 2,8 mg/l), sowie das Fehlen von Eisen und Mangan ein eher oxidierendes Milieu an, das durch einen Zustrom von relativ sauerstoffreichem landseitigem Grundwasser verursacht wird. Im übrigen liegen die Parameter in der gleichen Größenordnung wie bei der Meßstelle a. *Meßstelle c* repräsentiert das vom Uferfiltrat unbeeinflusste Grundwasser mit deutlich höheren Nitratwerten und ausreichendem Sauerstoffgehalt (MW 5,5 mg/l), was auf geringe mikrobielle Stoffwechselaktivitäten schließen läßt. Es handelt sich dabei um ein typisches quartäres Kalkschotterwasser mit den Hauptbestandteilen Calcium und Magnesium und teilweise Natrium bei den Kationen sowie Chlorid, Sulfat und Nitrat bei den Anionen. *Meßstelle d* schließlich wird wieder leicht von dem in der Nähe befindlichen Schwabinger Bach beeinflusst.

Auch in den Ergebnissen der Koloniezahlbestimmungen (siehe **Abbildung 59**), war bei keiner der Meßstellen eine sich wiederholende saisonale Tendenz zu erkennen. Nicht einmal ein Hochwasserereignis am 22.10.96 schlug sich in den Koloniezahlen der Meßstellen nieder. Es können also auch in diesem Fall die Mittelwerte des gesamten Untersuchungszeitraumes für einen Vergleich der Meßstellen untereinander und mit dem Fluß herangezogen werden.

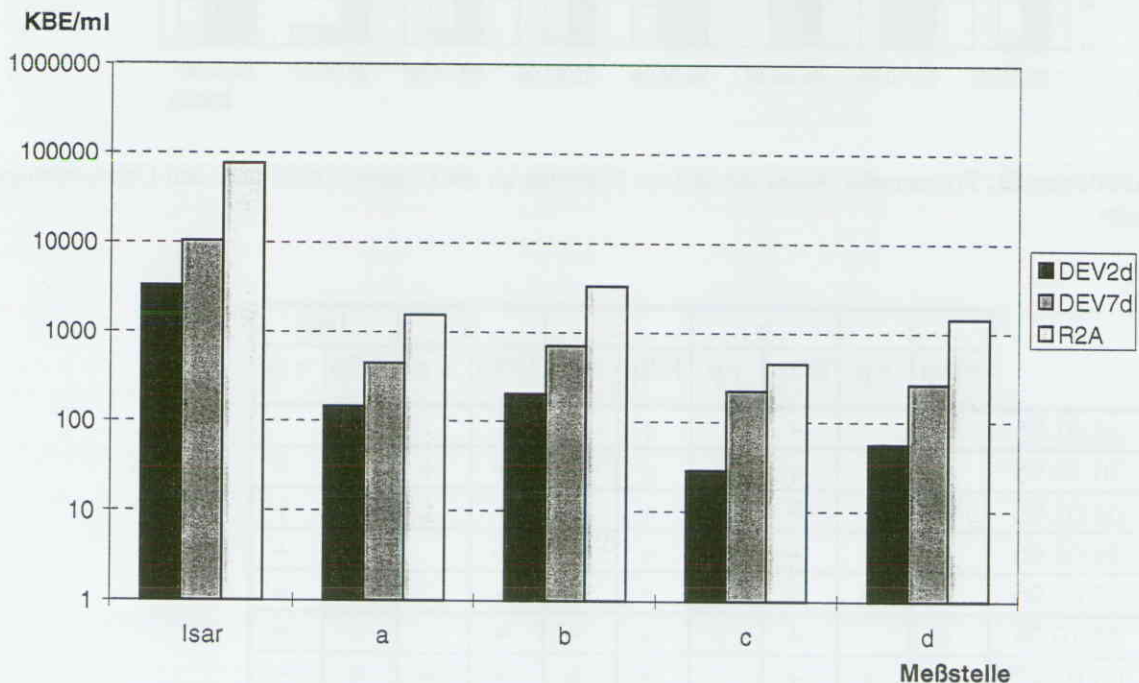


Abbildung 61: München - Mittelwerte der Koloniezahlbestimmungen

Es ist ein sichtlicher Sprung vom Fluß zu den nächstgelegenen Meßstellen a und b zu erkennen. Die Werte für die Koloniezahlbestimmung mit dem DEV-Nährboden sind bei den Meßstellen deutlich niedriger als bei der Isar, bei den Koloniezahlen auf R2A-Medium tritt dieser Unterschied noch prägnanter hervor.

Vergleicht man die Meßstellen untereinander, so wird deutlich, daß die flußnahen Meßstellen a und b die höchsten Koloniezahlen auf beiden Nährböden aufweisen, gefolgt von Meßstelle d, die in der Nähe des Schwabinger Baches liegt. Meßstelle c grenzt sich durch die niedrigen Koloniezahlen gegenüber den anderen Meßstellen ab.

In **Abbildung 60** ist der prozentuale Anteil der aktiven Bakterien an der Gesamtzellzahl für die einzelnen Meßstellen über den Untersuchungszeitraum dargestellt. Meßstelle a ist hier nicht aufgeführt, da das Auszählen der Bakterien durch die starke Verockerung nicht möglich war. Die höchste prozentuale Bakterienaktivität weist mit Abstand Meßstelle b auf, gefolgt von Meßstelle d und der uferfernen Meßstelle c.

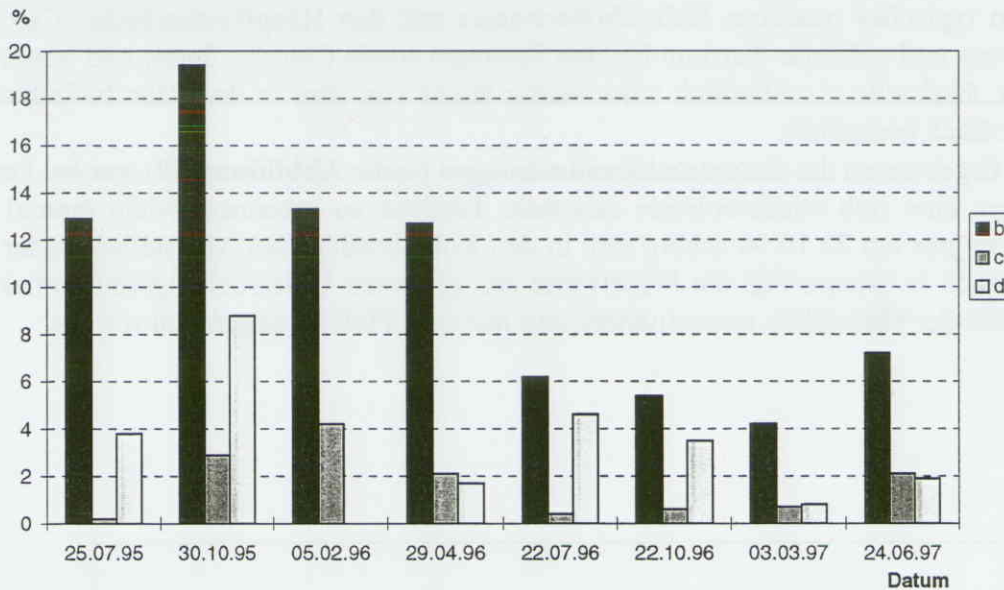


Abbildung 62: Prozentualer Anteil der aktiven Bakterien an der Gesamtzellzahl über den Untersuchungszeitraum

	a		b		c		d		Isar	
	F/Sp	v p	F/Sp	v p	F/Sp	v p	F/Sp	v p	F/Sp	v p
25.07.95	+		+		+		+		+	
30.10.95	+		+	+	+		+	+	+	+
05.02.96	+		+		+	+	+			+
29.04.96	+		+	+	+		+		+	+
23.07.96	+	+	+	+	+	+	+		+	+
22.10.96	+		+	+	+	+	+		+	+
03.03.97	+	+	+		+	+	+	+	+	+
24.06.97	+		+				+		+	+

Tabelle 12: Vorkommen von Bakterien der F/Sp-Gruppe und violett pigmentierten Bakterien

F/Sp-Bakterien konnten in allen Meßstellen nahezu durchgängig nachgewiesen werden und zusätzlich vereinzelt auch violett pigmentierte Keime, wie **Tabelle 12** zeigt, was für eine mangelnde Bodenfilterwirkung im gesamten Gebiet spricht.

Es zeigten sich bei der Untersuchung auf höhere Organismen erhebliche Unterschiede in der Populationszusammensetzung und der Individuenzahl zwischen den Meßstellen, obwohl sie räumlich nahe beieinander liegen. Dabei ergab sich für jede Meßstelle ein ganz charakteristisches Profil.

So waren in Meßstelle a neben massiven Vorkommen von Eisen- und Manganbakterien kaum Organismen zu finden. Lediglich Ostracoden, Flagellaten und Ciliaten waren in geringer Anzahl vorhanden. Vermutlich wurde durch die voluminösen Eisen- und Manganausfällungen die Entwicklung anderer Organismen unterdrückt. Abgesehen davon erschweren die Ausfällungen massiv die mikroskopische Analyse, so daß evtl. eingeschwemmte Algen und andere Oberflächenwasserorganismen nicht gefunden werden können.

Meßstelle b zeichnete sich durch einen großen Individuen- und Artenreichtum aus, obwohl zum Teil nennenswerte Vorkommen des schwefeloxidierenden Bakteriums *Beggiatoa alba* auftraten und kaum Sauerstoff im Wasser vorhanden war.

Am 29.4.96 wurden zahlreiche Algen (Chlorophyta, Diatomeae) gefunden, darunter die Kieselalge *Asterionella formosa*, eine ausgesprochene Frühjahrsform, die eindeutig einen unmittelbaren Uferfiltrateinfluß mit sehr kurzen Fließzeiten belegt. Bestätigt wurde dieser Befund durch das Auftreten des Ciliaten *Stentor coeruleus*, der bevorzugt in Oberflächengewässern vorkommt (siehe **Tabelle 13**, Organismen der Gruppe 1).

	25.07.95	30.10.95	05.02.96	29.04.96	23.07.96	22.10.96	03.03.97	24.06.97
Fe-Mn-Bakt.								
Crenothrix polysp.								
Beggiatoa sp.	Einzelfund	selten		häufig				
Diatomeae				häufig				
Chlorophyta				sehr häufig		massenhaft		
Mycophyta		selten					selten	
Flagellata					häufig			
Rhizopoda (Testacea)							selten	selten
Ciliata	selten			häufig	sehr häufig	sehr häufig		
Stentor sp.		selten		häufig	sehr häufig			
Rotatoria	Einzelfund	selten		häufig		massenhaft		

Abundanzen
Einzelfund selten mäßig häufig häufig sehr häufig massenhaft

Tabelle 13: Meßstelle b / Organismen der Gruppe 1 (Abundanzen)

	25.07.95	30.10.95	05.02.96	29.04.96	23.07.96	22.10.96	03.03.97	24.06.97
Turbellaria		3		1	4	2	3	4
Nematoda	5			3	1	12	2	
Oligochaeta	2	3	1	13	15	12	1	25
Troglochaetus		4		3	5	3		
Cyclopoida	25	103	32	38	38	9	74	41
Harpacticoida				7	1			14
Ostracoda	5			1	3		1	1
Ostr.-Schalen		1		1			1	2
Amphipoda		1	3	2	1	1	2	
Isopoda								
Syncarida	4	5	4	1	4	1		14
Nauplien	3	24	1	125	11	15	22	47
Phyllopora								
Acari	1	2		2		3	2	2
Collembola			1		1	2		1
Chironomidae		1						

Tabelle 14: Meßstelle b / Organismen der Gruppe 2 (Stückzahlen/100 l)

In Meßstelle c waren vergleichsweise nur wenige Organismen zu finden, in Gruppe 1 lediglich einige Flagellaten und Ciliaten, in Gruppe 2 vereinzelt Cyclopoiden und einmalige Funde von Kleinkrebsen, Springschwänzen und *Troglochaetus beranecki*.

In Meßstelle d zeigte sich dann wieder regeres Leben, jedoch nicht im gleichen Maße wie bei Meßstelle b.

Bei einzelnen Proben wurden die Organismen der Gruppe 2 durch die Carl von Ossietzky-Universität Oldenburg bis zur Art bestimmt. Solch detaillierte Befunde lassen eine Identifikation der Organismen als stygobionte, stygophile oder stygoxene Arten zu. Neben den Funden der Gruppe 1 (Kieselalgen, Grünalgen etc.) können so auch die Tiere der Gruppe 2 einen möglichen Uferfiltrateinfluß belegen (siehe **Tabelle 15**).

In Meßstelle b sind neben reinen Grundwasserformen (Stygobionte) auch zahlreiche Zuwanderer aus dem Oberflächenwasser (Stygophile) und ausschließliche Oberflächenwasserformen (Stygoxene) zu finden. Hier ist ein eindeutiger Uferfiltrateinfluß nachgewiesen. Etwas seltsam mutet an, daß es in diesem Bereich zu einer Vergesellschaftung von Reinwasserorganismen wie *Troglochaetus beranecki* und Abwasserindikatoren wie *Beggiatoa alba* (siehe **Tabelle 12** Gruppe 1) kommt. In Meßstelle d und c wurden keine stygoxenen Tierarten gefunden. In Einzelfällen wurde jedoch auch in Meßstelle d der Ciliat *Stentor coeruleus* nachgewiesen, was auf einen zumindest temporären Oberflächenwasserkontakt hinweist.

Gebiet Meßstelle Datum	München / Englischer Garten								
	Mb	Mb	Mb	Md	Md	Md	Ma	Mc	Mc
	22.10.96	03.03.97	24.06.97	22.10.96	03.03.97	24.06.97	22.10.96	03.03.97	24.06.97
Nematoda									
<i>Aporcelaimellus obtusicaudatus</i>	2								
<i>Criconeira annuliferum</i>	8								
<i>Laelanhus cf. leptosoma</i>	2								
<i>Tylencholaimus</i> sp.		1							
Polychata									
<i>Troglochaetus beranecki</i>	2		14					2	
Cyclopoida									
<i>Acanthocyclops sensitivus</i>	1	2	11						
<i>Graeteriella unisetigera</i>	1								
<i>Diacyclops languidoides</i>		20	6						
<i>Acanthocyclops venustus</i>	2	5	7	20	38	16			1
<i>Diacyclops languidus</i>		1							
<i>Diacyclops</i> sp.	3	22							
<i>Acanthocyclops</i> sp.		14	17						
Harpacticoida									
<i>Parastenocaris germanica</i>			1						
<i>Bryocampus echinatus</i>			13						
Amphipoda									
<i>Niphargus inopinatus</i>	1	1			1		1	1	
Isopoda									
<i>Proasellus</i> sp.				3	6				
Syncarida									
<i>Bathynella cf. natans</i>	1		20						

stygobion stygophi stygoxer ungeklärt

Tabelle 15: Ergebnisse der detaillierten Faunenanalyse an den Meßstellen im Englischen Garten

Eine saisonale Abhängigkeit der Grundwasserbiozönose war auch anhand der Faunenanalyse nicht festzustellen. Allerdings konnten mit der Untersuchung der Meiofauna Stoßbelastungen (Hochwasser) sichtbar gemacht werden, die zum Zeitpunkt der Probenahme nicht mehr vorlagen. Im Gegensatz zur chemischen Analyse, die nur eine Momentaufnahme des vorliegenden Zustandes aufzeigt, halten die Auswirkungen auf die Biologie längerfristig an. Insgesamt hat sich im Untersuchungsgebiet Englischer Garten erwartungsgemäß gezeigt, daß die im Grundwasser ablaufenden chemischen, mikrobiologischen und biologischen Prozesse eng miteinander verknüpft sind. Das Eindringen von nährstoffreichem Oberflächenwasser, das anhand des Nachweises von reinen Oberflächenwasserorganismen verfolgt werden kann, führt zu mikrobiellen Umsetzungsprozessen mit entsprechendem Bakterienwachstum. Diese Bakterien sowie Pflanzenreste u.ä. (Detritus) dienen dann wiederum der Meiofauna als Nahrungsgrundlage. Nur wenn man all diese Aspekte betrachtet, bekommt man ein vollständiges Bild des vorliegenden Grundwasserleiters. Dies wird umso deutlicher an der beobachteten Vergesellschaftung von Tieren mit völlig unterschiedlichen saprobiellen Einstufungen. Dieses auch in Trinkwasserfiltern zu beobachtende Phänomen beruht im wesentlichen auf der Schaffung von Mischungszonen. In diesen Fällen kann die saprobielle Einstufung nur Hinweise auf die Nährstoffsituation liefern, nicht aber auf die Milieubedingungen.

6 Möglichkeiten und Grenzen der grundwasserbiologischen Untersuchung

Mit den hier beschriebenen Methoden zur Untersuchung der biologischen Prozesse im Grundwasser eröffnet sich ein breites Einsatzfeld. Bisher lag der Schwerpunkt auf zwei Gebieten:

- Bei bestehenden Wasserversorgungen mit möglichem oder bekanntem Uferfiltrateinfluß wurde mit dieser Methode der Einfluß höherer Entnahmemengen auf den Uferfiltratanteil und die Beschaffenheit des geförderten Grundwassers untersucht. Damit verknüpft waren Analysen zur Effizienz der Bodenpassage in Bezug auf die biologische Reinigungswirkung und Elimination von Bakterien und Organismen des Oberflächenwassers. Durch die Einbeziehung von Meßstellen, die im Vorfeld der Wasserversorgung liegen, war es möglich, Vorsorgeuntersuchungen durchzuführen, die negative Veränderungen anzeigen, bevor die Wasserversorgungsbrunnen selbst betroffen sind. Diese Vorsorgeuntersuchungen können aufgrund des geringen apparativen Aufwandes künftig zumindest von großen Wasserversorgern im Rahmen der betrieblichen Eigenkontrolle selbst durchgeführt werden. Dazu sind allerdings Schulungen erforderlich, wie sie beispielsweise im Bereich der Abwasserreinigung mit der mikroskopischen Belebtschlammanalyse bereits seit etlichen Jahren mit Erfolg durchgeführt werden. Durch die Einbeziehung der Vorfeldmeßstellen in das Untersuchungsprogramm könnte so ein Frühwarnsystem eingerichtet werden, das ohne allzu großen Aufwand den Sicherheitsstandard erhöht.
- Bei der Neufestsetzung von Wasserschutzgebieten oder Neubohrung von Brunnen ist es möglich, potenzielle negative Einflüsse von Oberflächengewässern zu analysieren und so bereits im Vorfeld hygienische Risiken aufzuzeigen. Gerade in diesem Bereich sollte die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Biologen, Chemikern und Hydrogeologen verstärkt werden, da hier nur durch die Gesamtbetrachtung die Risiken minimiert werden können.

Am Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft wird im Bereich der gewässerökologischen Forschung im Referat 55 (Boden- und Grundwasserökologie) diese interdisziplinäre Zusammenarbeit künftig deutlich intensiviert werden. Damit sollen die für den Vollzug und die praktische Arbeit im Bereich Boden- und Grundwasserschutz notwendigen Grundlagen und die erforderlichen Untersuchungstechniken erarbeitet werden.

Über die genannten Einsatzzwecke hinaus erscheint es durchaus sinnvoll, an einigen ausgewählten Meßstellen künftig auch biologische Langzeituntersuchungen im Rahmen der technischen Gewässeraufsicht durchzuführen. Aufgrund der noch spärlichen Untersuchungen gibt es bislang kaum langfristige Erfahrungen über die Auswirkungen anthropogener Beeinflussungen auf die Grundwasserbiozönose. Die bisherigen Erfahrungen lassen jedoch durchaus den Schluß zu, daß analog zur Bioindikation im Oberflächengewässer auch eine Indikationsfunktion der Grundwasserfauna gegeben ist.

Im Hinblick auf hygienische Risiken sind auch die „neuen“ Krankheitserreger *Cryptosporidium* und *Giardia*, die parasitären Protozoen, zu nennen. Da aufgrund der bislang unzureichenden Laborkapazitäten und des aufwendigen und teuren Nachweisverfahrens für diese Organismen auf absehbare Zeit keine flächendeckenden Untersuchungen möglich sind, müssen andere Verfahren zur Risikominimierung herangezogen werden. Der erste Schritt ist sicher die hier beschriebene Optimierung und Kontrolle der geeigneten Aufbereitungsverfahren. Für eine Risikoabschätzung kann jedoch auch eine biologische Grundwasseranalyse wertvolle Hinweise liefern. Werden z.B. im Grundwasser aus brunnennahen Meßstellen oder gar aus den Brunnen selbst Oberflächenwasserorganismen wie Algen o.ä. nachgewiesen, so ist zunächst davon auszugehen,

daß auch das Risiko einer Protozoenkontamination gegeben ist. Einschränkend ist hier jedoch hinzuzufügen, daß zumindest in Deutschland noch keine Untersuchungen zu möglichen Korrelationen durchgeführt wurden.

Die Abwesenheit grundwasserfremder Organismen zusammen mit stets einwandfreien mikrobiologischen Befunden zeigt aber sicher an, daß im Einzelfall eine gute Filtrationsfähigkeit und Reinigungswirkung des Bodens gegeben ist und somit das Kontaminationsrisiko eher gering einzustufen ist. Mit der biologischen Grundwasseranalyse ist also für Standorte, an denen eine Gefährdung vermutet wird, zumindest eine vorläufige Risikoabschätzung möglich. Die klassischen hygienischen Analysenverfahren können dadurch zwar nicht ersetzt werden, in vielen Fällen stellen diese „neuen“ Untersuchungen aber eine wertvolle Ergänzung zu den bisher eingesetzten Verfahren dar.

Die Grenzen der Bioindikation werden durch die geringe Anzahl der bisher auf diesem Gebiet durchgeführten Untersuchungsprogramme und dem daraus resultierenden geringen Erfahrungshorizont gesetzt. Was bei den oberirdischen Gewässern seit Jahrzehnten zum Standard gehört, steckt im Grundwasser noch in den Kinderschuhen. Durch die langfristig angelegte Untersuchungen könnte aber der Wissenstand und somit auch die Aussagemöglichkeiten erheblich verbessert werden. Auch lassen sich ohne die möglichst genaue Kenntnis der hydrogeologischen und chemischen Verhältnisse keine exakten Rückschlüsse auf die Grundwasserökologie ziehen, so daß hier in erhöhtem Ausmaß die interdisziplinäre Kooperation erforderlich ist.

Insgesamt sind die biologischen Prozeßabläufe im Sickerwasser und im Grundwasser bislang noch in weiten Teilen unbekannt. Da aber das Grundwasser die wesentliche Ressource für unser wichtigstes Lebensmittel, das Trinkwasser, darstellt, wird künftig die erforderliche Kenntnis über die ökologischen Zusammenhänge im Grundwasser auch im Zusammenhang mit dem Reinigungspotential des Bodens erheblich an Bedeutung gewinnen. Dies um so mehr, da mittlerweile auch der Bodenschutz als wichtiger Faktor für einen effektiven Grundwasserschutz zu den grundlegenden Aufgaben der Wasserwirtschaft gehört. Der ökologische Zustand des Grundwassers über die rein quantitative und chemisch-qualitative Betrachtungsweise hinaus verdient angesichts seiner Bedeutung wohl zumindest ebenso viel Beachtung wie dies für die oberirdischen Gewässer seit Jahrzehnten selbstverständlich ist.

7. Literatur

- Altmeier, U. et al. (1989): Untersuchungen zur mikrobiellen Charakterisierung von uferfiltriertem Grundwasser. Vom Wasser, 73, 333 – 344.
- Andrassy, I. (1962a): Nematoden aus dem Psammon des Adige-Flusses, II. Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona 10: 1-35.
- Andrassy, I. (1962b): Nematoden aus dem Ufergrundwasser der Donau von Bratislava bis Budapest. Archiv für Hydrobiologie/Supplement Donauforschung 27 (1): 91-117.
- Andrassy, I. (1964): Onchulidae n. fam., eine neue Familie der Ordnung Enoplida (Nematoda). Opuscula Zoologica Instituti Zoosystematici Universitatis Budapestinensis 5 (1): 25-41.
- Ankel, W. E. (1934): *Bathynella*, *Troglochaetus* und *Fonticola* bei Darmstadt. Zoologischer Anzeiger. 142(7-8): 179-181.
- Argano, R. (1979): 5. Isopodi (Crustacea Isopoda). In: Guide per il riconoscimento delle specie animale delle acque interne italiane. Consiglio Nazionale delle Ricerche Verona: 1-64.
- Bartsch, I. & Sepasgosarion, H. (1977): Einführung in die Morphologie, Anatomie, Biologie und Verbreitung der Halacaridae (Acari). Publ. Razi Univ., 2: 44S.
- Bartsch, I. (1989): Havskvalster (Acari, Halacaridae) i mellersta och norra Sverige. Ent. Tidskr. 110: 127 – 138 Umea, Sweden 1989.
- Bartsch, I. (1996): Halacarids (Halacaroidea, Acari) in freshwater. Multiple invasions from the paleozoic onwards? Journal of Natural History, 30: 67-99.
- Beger, H. (1966): Leitfaden der Trink- und Brauchwasserbiologie. 2. Überarb. u. ergänzte Auflage von J. Gerlogg und D. Lüdemann. G. Fischer-Verlag Stuttgart.
- Boeters, H. D. (1998): Mollusca: Gastropoda: Rissooidea. In: Süßwasserfauna von Mitteleuropa. Ein Bestimmungswerk, begründet von A. Brauer. J. Schwoerbel und P. Zwick (eds.). Gustav Fischer Verlag, Jena u.a. 5. Aufl., 1-2: , 76 S.
- Bole, J. & Velkovrh, F. (1986): Mollusca from continental subterranean aquatic habitats. In: Stygofauna Mundi. A faunistic, distributional and ecological synthesis of the world fauna inhabiting subterranean waters (including the Marine Interstitial). Botosaneanu, L.(ed.). Brill, E.J. und Backhuys, W. Leiden (Netherlands): 177-208.
- Brinkhurst, R. O. (1982): British and other marin and estuarine oligochates. Keys and notes for the identification of the species. Cambridge, U.K.: 127 p.
- Brinkhurst, R. O.; Jamieson, B. G. M. (1971): Aquatic Oligochaeta of the world. Oliver and Boyd, Edinburgh: 860p.
- Bugrov, S.A. (1996): New species of the genus *Schwiebea* (Astigmata, Acaridae) from Russia and adjacent countries. Entomolgical Review 75 (4): 139-154. (ursprünglich veröffentlicht in: Zoologicheskij Zhurnal 1995, 74 (6): 61-75).
- Bumb, F. & Schweisfurth, R. (1981): Zusammenfassende Darstellung der Kenntnisse über *Crenothrix polyspora* COHN und eigene Untersuchungen, Hochschulverlag, Freiburg, 146 S.
- Chappuis, P. A. (1940): Die Harpacticoiden des Grundwassers des unteren Maintales. Archiv für Hydrobiologie. 36: 286-305.
- Chappuis, P.A. (1948): Copépodes, Syncarides et Isopodes des eaux phréatiques de Suisse. Revue Suisse Zoologie, 55: 549-566.
- Danielopol, D. L. (1976): The distribution of the fauna in the interstitial habitats of the Danube and the Piesting (Austria). - International Journal of Speleology 8: 23-51.
- Danielopol, D. L. (1984): Ecological investigations on the alluvial sediments of the Danube in the Vienna area - A phreatobiological project. Verhandlungen der internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie. 22: 1755-1761.

- Delachaux, T. (1920): *Bathynella chappuisi* nov. spec. Une nouvelle Crustacé cavernicole. Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles: 1-20.
- Delachaux, T. (1921): Un Polychète d'eau douce cavernicole, *Troglochaetus beranecki* nov. gen., nov. spec. Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles. T. 45: 3-11.
- Delamare-Deboutteville, C. (1960): Présence d'un Syncaride, *Bathynella natans* Vejdovsky forma *stammeri* Jakobi, dans les milieux interstitiels de la vallée de l'adige. Estratto dalle Memorie del Museo Civico di Storia Naturale. Vol. VIII: 279-299.
- DVWK-Schrift Nr. 120 (1997): Parameter und Methoden der biologischen Charakterisierung des Untergrundes - Feststoffe und Wasser. Hamburg, Berlin (Paul Parey).
- Eder, R. (1980): Beiträge zur Kenntnis der interstitiellen Nematodenfauna am Beispiel eines Schotterkörpers der Donau bei Fischamend. Diss., Formal- und Naturwissenschaftliche Fakultät, Universität Wien.
- Eder, R. (1986): Nematoda from continental subterranean aquatic habitats. In: Botosaneanu, L. (ed.): Stygofauna mundi. A faunistic, distributional, and ecological synthesis of the world fauna inhabiting subterranean waters (including the marine interstitial). E.J. Brill/Dr. W. Backhuys, Leiden: 125-132.
- Egert, E. (1998): Untersuchungen zur Fauna in einem Langsandsfilter unter Besonderer Berücksichtigung der Amphipoda und Nematoda. Diplomarbeit. Carl von Ossietzky-Universität Oldenburg: IV S., 116 S.
- Einsle, U. (1993): Crustacea: Copepoda: Calanoida und Cyclopoida. In: J. Schwoerbel und P. Zwick (Hrsg.): Süßwasserfauna von Mitteleuropa/begr. von A. Bauer 8/4-1. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York.
- Enright, J.B. (1994): Biogeographische Untersuchungen zur Grundwasserfauna des Saarlandes. Diplomarbeit, Universität des Saarlandes: 119 S.
- Glatzel, T. (1989): Comparativr morphology of *Chappuisius inopinus* Kiefer and *Chappuisius singeri* Chappuis (Copepoda, Harpacticoida) Zool. Scr. 18(3): 411 - 422.
- Glatzel, T. (1989): Eine Bestandsaufnahme der Grundwasserfauna Nordwest-Niedersachsens unter besonderer Berücksichtigung der Crustaceen. Drosera. 1/2: 11-22.
- Glatzel, T. (1990): On the biology of *Parastenocaris phyllura* (Copepoda, Harpacticoida). Stygologia, 5(3): 131-136.
- Glatzel, T. (1991): Neue morphologische Aspekte und die Copepodid-Stadien von *Parastenocaris phyllura* Kiefer (Copepoda, Harpacticoida). - Zool. Scr. 20(4): 375 - 393
- Glatzel, Th. & Schminke, H.K. (1988): Besonderheiten und ökologische Rolle der Grundwassertiere. Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, 139: 383-392.
- Gledhill, T. (1980): Designation and description of the lectotype of *Niphargus fontanus* Bate. Crustaceana, Supplement 6: 27-37.
- Gledhill, T.; Sutcliffe, D. W.; Williams, W. D. (1993): British Freshwater Crustacea. Freshwater Biological Association Scientific Publication. 52. 173p.
- Glöer, P. & Meier-Brook, C. (1998): Süßwassermollusken. Ein Bestimmungsschlüssel für die Bundesrepublik Deutschland. DJN (ed.), Hamburg. 12. Aufl. 136 S.
- Goffart, H. (1950/51): Nematoden aus unterirdischen Gewässern. Deutsche Zoologische Zeitschrift 1: 73-78.
- Gollnitz, W.D. et al. (1997): Reduction of microscopic particulates by aquifers. Journal AWWA, 89 (11): 84 - 93.
- Gottfreund, E. et al. (1983): Quantitative Verteilung verschiedener physiologischer Bakteriengruppen im Lokergestein zweier Grundwasserleiter bis 90 m Tiefe. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 38, 319 - 324.
- Haine, E. (1946): Die Fauna des Grundwassers von Bonn mit besonderer Berücksichtigung der Crustaceen. Dissertation der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelm-Universität zu Bonn. B. Scholten, Melle in Hannover, 144 S.

- Häusler, J. (1982): Schizomycetes, Süßwasserflora von Mitteleuropa Band 20, Gustav Fischer Verlag, Jena: 171-336.
- Henry, J.P. & Magniez, G. (1983): Crustacés Isopodes (Principalement Asellotes). Introduction pratique a la systematique des organismes des eaux continentales Francaises 4. Bulletin mensuel de la société Linnéenne de Lyon, 52(10): 319-357.
- Hertzog, L. (1930): Notes sur quelques Crustacés nouveaux pour la plaine d'Alsace (Bas-Rhin). Bulletin de l'Association Philomatique d'Alsace et de Lorraine, T. VII, Fasc. 5: 355-364.
- Hertzog, L. (1932): Notes sur quelques Crustacés nouveaux pour la plaine d'Alsace (Bas-Rhin). Bulletin de l'Association Philomatique d'Alsace et de Lorraine. 7: 363-364.
- Hirschmann, H. (1952): Die Nematoden der Wassergrenze mittelfränkischer Gewässer. Zoologische Jahrbücher/Abteilung für Systematik, Ökologie und Geographie der Tiere 81: 313-407.
- Hobbie, J. E. et al. (1977): Use of nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. Applied and Environmental Microbiology, 33, (5), 1225 - 1228
- Holt, J.G. et. al (1977): The shorter Bergey`s manual of determinative bacteriology, Williams & Wilkins, Baltimore Hong Kong London Sydney, Eighth Edition: 42-60.
- Holt, J.G. et. al (1994): Bergey`s manual of determinative bacteriology, Williams & Wilkins, Baltimore, Ninth Edition: 441-498.
- Hoos, E.; Schweisfurth, R.(1982): Untersuchungen über die Verteilung von Bakterien von 10 bis 90 Meter unter Bodenoberkante. Vom Wasser, 58, 103 - 112.
- Hrabe, S. (1979): The Freshwater Oligochaeta of Czechoslovakia. Acta Universitatis Carolinae. Biologica: 1-167.
- Husmann, S. (1956): Untersuchungen über die Grundwasserfauna zwischen Harz und Weser. Archiv für Hydrobiologie 52 (1/2): 1-184.
- Husmann, S. (1964a): Studien zur Ökologie und Verbreitung der Gattung *Chappuisius* Kiefer, 1938 (Copepoda, Harpacticoida); Mitteilung über Neufunde aus den Grundwasserströmen von Lahn, Niederrhein, Ruhr, Leine und Unterweser. Crustaceana. 6: 179-194.
- Husmann, S. (1964b): Morphologische, ökologische und verbreitungsgeschichtliche Studien über die Bathynellen (Crustacea, Syncarida) des Niederrhein-Grundwasserstromes bei Krefeld. Gewässer und Abwasser. 37: 46-76.
- Husmann, S. (1967): Ökologie, Systematik und Verbreitung zweier in Norddeutschland sympatrisch lebender *Bathynella*-Arten (Crustacea, Syncarida). International Journal of Speleology. 3: 111-145.
- Husmann, S. (1976): Langsamsandfilter als Lebensräume von Grundwassertieren mit Befunden aus Wiesbaden-Schierstein. Forschung und Entwicklung in der Wasserwerkspraxis Stadtwerke Wiesbaden AG. 3: 83-92.
- Husson, R. & Daum, J. (1955): Über Haltung, Zucht und Biologie von *Asellus cavaticus* Leydig. Annales Universitatis Saraviensis / Scientia. Saarbrücken, 4(1/2): 137-144.
- Huys, R. & Boxshall G.A. (1991): Copepode Evolution, Unwin Brothers Ltd. TheGresham Press, Oldwoking, Serrey.
- Jakobi, H. (1954): Biologie, Entwicklungsgeschichte und Systematik von *Bathynella natans* Vejdovsky. Zoologische Jahrbücher, Abteilung für Systematik, Ökologie und Geographie der Tiere. 83(1/2): 1-62.
- Janetzky, W., Enderle, R. & Noodt, W. (1996): Crustacea: Copepoda: Gelyelloida und Harpacticoida. Gustav Fischer Verlag Stuttgart: 228 S.
- Jersche, G. (1963): Zur Artfrage und Variabilität von *Niphargus tatrensis* WRESNIEWSKI. (Ein Beitrag zur postembryonalen Veränderung taxonomischer Merkmale). Zeitschrift für zoologische Systematik und Evolutionsforschung, Bd. 1: 240-276.
- Kaestner, A. (1982): Lehrbuch der Speziellen Zoologie I: Wirbellose Tiere 3: Mollusca, Sipunculida, Echiurida, Annelida, Onychophora, Tardigrada, Pentastomida. Gustav Fischer Verlag Stuttgart: 608S.

- Kaestner, A. (1993): Lehrbuch der Speziellen Zoologie I: Wirbellose Tiere 4: Arthropoda (ohne Insecta). Gustav Fischer Verlag Stuttgart: 1: 279 S.
- Karaman, G. S. & Ruffo, S. (1986): Amphipoda: *Niphargus*-Group (niphargidae sensu Bousfield, 1982). In: Stygofauna Mundi. A faunistic, distributional and ecological synthesis of the world fauna inhabiting subterranean waters (including the Marine Interstitial). Botosaneanu, L.(ed.). Brill, E.J. und Backhuys, W. Leiden (Netherlands): 514-534.
- Karaman, S.L. (1955): *Asellus cavaticus* Schiödte und seine Nächstverwandten. Acta Musei Macedonici Scientiarum Naturalium 2(12/23): 40 S.
- Kiefer, F. (1926): Über einige Krebse aus der Wasserleitung von Öfingen. Schriften des Vereins für Geschichte und Naturgeschichte der Baar und der angrenzenden Landesteile in Donaueschingen 16: 273-283.
- Kiefer, F. (1938): Neue harpacticoide Ruderfußkrebse (Crust. Cop.) aus dem Grundwasser von Aschaffenburg (Main). Zoologischer Anzeiger 123 (5/6): 142-147.
- Kiefer, F. (1957) Ruderfußkrebse (Crustacea Copepoda) aus dem Grundwasser des südlichen Oberrheingrabens. Mitteilungen des Badischen Landesvereins für Naturkunde und Naturschutz N.F. 7 (1): 53-68.
- Kiefer, F. (1959): Unterirdisch lebende Ruderfußkrebse vom Hochrhein und Bodensee. Beiträge zur naturkundlichen Forschung in Südwestdeutschland 18: 42-52.
- Kiefer, F. (1960): Subterrane Ruderfußkrebse (Crustacea Copepoda) aus dem Ruhrtal. Zoologischer Anzeiger 165: 323-329.
- Kiefer, F. (1973): Ruderfußkrebse (Copepoden). Frank'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co., Stuttgart.: 1-97.
- Klie, W. (1937): Weitere Ostracoden aus dem Grundwasser von Belgien. Bulletin du Musée Royal d'Histoire Naturelle de Belgique. 13 (4): 1-6.
- Klie, W. (1938a): Ostracoda, Muschelkrebse. In: Die Tierwelt Deutschlands und der angrenzenden Meeresteile nach ihren Merkmalen und nach ihrer Lebensweise, 34. Teil: Krebstiere oder Crustacea: 1-230. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Klie, W. (1938b): Ostracoden aus dem Grundwasser der oberrheinischen Tiefebene. Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie, Abteilung B (= Archiv für Naturgeschichte, neue Folge) 7: 1-28.
- Klie, W. (1950): Entomostraken aus Unterfranken. Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Museums der Stadt Aschaffenburg, N.F. 4: 15-28.
- Krantz, G.W. (1978): A manual of acarology (second edition). Oregon State University Book Stores, Inc., Corvallis: 509 S.
- Kulhavý, V. (1961): Über das Vorkommen der west- und osteuropäischen Elemente in der Crustaceenfauna der böhmischen unterirdischen Gewässer. Vestník Československe Spolecnosti Zoologické. XXV: 297-301.
- Lafont, M. (1983): Annélides Oligochaètes. Bulletin mensuel de la Société Linnéenne de Lyon 52(4): 107-135.
- Lang, K. (1948): Monographie der Harpacticiden. Reprint 1975, Otto Koeltz Science Publishers, Königstein, Bd. 1 & 2.
- Leruth, R. (1938): Etudes Biospéologiques. IX. La Faune de la nappe phréatique du gravier de la Meuse à Hermalle-sous-Argenteau. Bulletin du Musée Royal d'Histoire Naturelle de Belgique. 14: 1-37.
- Lescher-Moutoué, F. (1973): Sur la biologie et l'écologie des copépodes cyclopidés hypogés (Crustacés). Annales de Spéléologie 28 (3): 429-502.
- Lescher-Moutoué, F. (1986): Copepoda Cyclopoida Cyclopidae des eaux douces souterraines continentales. In: Botosaneanu, L. (ed.): Stygofauna mundi. A faunistic, distributional, and ecological synthesis of the world fauna inhabiting subterranean waters (including the marine interstitial). E.J. Brill/Dr. W. Backhuys, Leiden: 299-311.
- Löffler, H. (1963): Beiträge zur Fauna Austriaca. 1. Die Ostracodenfauna Österreichs. Sitzungsberichte der österreichischen Akademie der Wissenschaften in Wien, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse, Abteilung 1, Biologie, Mineralogie, Erdkunde. 172 (3/5): 193-211.

- Löffler, H. & D. L. Danielopol (1978): Ostracoda. In: Limnofauna Europae. Illies, J. [Hrsg.], Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.: 196-208.
- Loof, P.A.A. (1968): Taxonomy of *Hemicyclophora* species from West and Central Europe (Nematoda: Criconematoidea). Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen 68-14: 1-43, pl. 1-6.
- Lorenzen, S. (1981): Entwurf eines phylogenetischen Systems der freilebenden Nematoden. Veröffentlichungen des Instituts für Meeresforschung in Bremerhaven, Supplement 7: 472 S.
- Manson, D.C.M. (1972): Three new species, and a redescription of mites of the genus *Schwiebia* (Acarina: Tyroglyphidae). Acarologia 14 (1): 71-80. (Anmerkung: Im Originaltitel *Schwiebia* statt *Schwiebea*).
- Marmonier, P. (1984): Vertical distribution and temporal evolution of the ostracod assemblage of the Seebach sediments (Lunz-Austria). Jahresberichte der Biologischen Station Lunz 7: 49-82.
- Marmonier, P. (1985): Répartition spatiale des Ostracodes dans les sédiments d'un ruisseau alpin (le Seebach, à Lunz, Autriche). Verhandlungen der internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie. 22: 2053-2057.
- Marmonier, P. & M. Creuzé des Châtelliers (1992): Biogeography of the benthic and interstitial living ostracods (Crustacea) of the Rhône River (France). Journal of Biogeography, 19 (1992): 693-704.
- Marmonier, P.; Bodergatt, A. M. & Dolédec, S. (1994): Theoretical habitat templates, species traits, and species richness: ostracods (Crustacea) in upper Rhône River and its floodplain. Freshwater Biology. 31: 341-355.
- Marxsen, J. (1982): Ein neues Verfahren zur Untersuchung der bakteriellen Besiedlung grundwasserführender sandiger Sedimente. Arch. f. Hydrobiol., 95, 221 – 233.
- Müller, H. E. (1993): Die Sensitivität und Spezifität der Flexibacter-Sporocytophaga-Gruppe als Indikatorsystem zur Trinkwasserüberwachung im Vergleich mit Koloniezahl, coliformen Keimen und Escherichia coli. Forum Städte-Hygiene, 44, (9), 257 – 261.
- Noll, W. (1939a): Die Grundwasserfauna des Maingebietes. Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Museums der Stadt Aschaffenburg: 3-25.
- Noll, W. (1939b): *Troglochaetus beranecki* Delachaux im Maintal. Ein neuer deutscher Fundort. Zoologischer Anzeiger. 125: 267-268.
- Noll, W. & Stammer, H. J. (1953): Die Grundwasserfauna des Untermaingebietes von Hanau bis Würzburg mit Einschluß des Spessarts. Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Museums der Stadt Aschaffenburg N.F. 6: 1-77.
- Pennak, R. W. (1989): Freshwater invertebrates of the United States. Protozoa to Mollusca. John Wiley & Sons Publs. New York: 514-540.
- Priesel-Dichtl, G. (1959): Die Grundwasserfauna im Salzburger Becken und im anschließenden Alpenvorland. Archiv für Hydrobiologie 55 (3): 281-370.
- Pust, J. (1990): Untersuchungen zur Systematik, Morphologie und Ökologie der in westfälischen Höhlen vorkommenden aquatischen Höhlentiere. - Abhandlungen aus dem Westfälischen Museum für Naturkunde 52. Jahrgang 4: 188 S.
- Reichardt, W. (1978): Einführung in die Methoden der Gewässermikrobiologie, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart New York: 121-128.
- Reid, J.W. (1991): *Diacyclops albus* n. sp. and *Parastenocaris palmerae* n. sp. (Crustacea: Copepoda) from the meiofauna of a stream bed in Virginia, U.S.A. Canadian Journal of Zoology, 69(11): 2893-2902.
- Rogulj, B. & D.L. Danielopol (1993): Three new *Mixtacandona* (Ostracoda) species from Croatia, Austria and France. Vie et Milieu 43 (2-3): 145-154.
- Ronneberger, D. (1975): Zur Kenntnis der Grundwasserfauna des Saale-Einzugsgebietes (Thüringen). Limnologia 9 (3): 323-419.

- Rumm, P. (1993): Untersuchungen zum Artenspektrum, zur Besiedlungsdichte und zur vertikalen Verteilung von Organismen in einem Langsandsfilter unter besonderer Berücksichtigung der Cyclopoida und Acari. Diplomarbeit. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, : 138 S.
- Schaule, G.; Flemming, H.-C.; Ridgway, H.F. (1993) : Use of 5-cyano-2,3-ditoly-tetrazoliumchlorid for quantifying planktonic and sessile respiring bacteria in drinking water. - Applied and Environmental Microbiology, 59 (11): 3850 – 3857.
- Schellenberg, A. (1933): Weitere deutsche und ausländische Niphargiden. Zoologischer Anzeiger 102: 22-33.
- Schellenberg, A. (1938): *Niphargellus*, eine neue subterrane Amphipodengattung an der Ost- und Westgrenze des Reiches. Zoologischer Anzeiger 122: 245-248.
- Schellenberg, A. (1942): 40. Teil Crustacea oder Krebse, IV: Flohkrebse oder Amphipoda. In: Die Tierwelt Deutschlands und der angrenzenden Meeresteile nach ihren Merkmalen und nach ihrer Lebensweise, begr. von Prof. F. Dahl. M. Dahl & Dr. H. Bischoff (ed.). Gustav Fischer Verlag, Jena: 252 S.
- Schindler, P. et al. (1989): Keime der Flexibacter/Sporocytophaga-Gruppe und violett-pigmentierte Bakterien als Indikatoren für hygienisch bedenkliches Trinkwasser. ZBl. Hyg., 189, 29 – 36.
- Schlegel, H.G. (1985): Allgemeine Mikrobiologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York, 6. Auflage: 83-116.
- Schmidt, H. (1994): Untersuchungen zum Faunenspektrum, zur Besiedlungs- und Vertikalverteilung der Metazoen in einem Langsandsfilter unter besonderer Berücksichtigung der Harpacticoida, Ostracoda und Cladocera. Diplomarbeit an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. 153 S.
- Schminke, H.K. & J. Notenboom (1990): Parastenocarididae (Copepoda, Harpacticoida) from the Netherlands. Bijdragen tot de Dierkunde 60 (3/4): 299-304.
- Schminke, H. K. (1997): Heizelmännchen im Grundwasser. Biologie in unserer Zeit, 27 (3), 182 – 188.
- Schmitt, J., Schaule, G., Krietemeyer, S. & Flemming, H.-C. (1997): Biofilme in Trinkwasserversorgungsanlagen. - DVGW Schriftenreihe Wasser, 91: 33 - 61; Bonn.
- Schwoerbel, J. (1959): Zur Kenntnis der Wassermilbenfauna des südlichen Schwarzwaldes (Hydrachnellae, Acari). 5. Beitrag: Wassermilben aus dem Grundwasser (Hydrachnellae, Porohalacaridae, Stygothrombiidae). Mitteilungen des badischen Landesverein für Naturkunde und Naturschutz, N.F. 7(5): 323-330.
- Serban, E. & Gledhill, T. (1965): Concerning the presence of *Bathynella natans stammeri* Jakobi (Crustacea, Syncarida) in England. Annals and Magazine of Natural History. 8: 513-522.
- Siddiqi, M.R. (1986): Tylenchida. Parasites of plants and insects. Published on behalf of the Commonwealth Institute of Parasitology by the Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal Slough SL2 3BN, UK: 645 S.
- Stammer, H. J. (1936a): Die aquatile Fauna der Reyersdorfer Höhle. Mitteilungen über Höhlen- und Karstforschung, Jg. 1936: 199-214.
- Stammer, H. J. (1936b): Die Wasserfauna der Schneeberghöhlen. Beiträge zur Biologie des Glatzer Schneeberges, H. 2: 199-214.
- Steenken, B. (1998): Die Grundwasserfauna Baden-Württembergs. Ein Vergleich zweier Grundwasserlandschaften. Ecomed Verlagsgesellschaft Umweltforschung in Baden-Württemberg: Landsberg. 160 S.
- Sterba, O. (1963): Bemerkung über zwei bemerkenswerte Funde von Bathynellidae (Crustacea, Anaspidacea) in der Tschechoslowakei. Zoologické Listy XII: 261-262.
- Thienemann, A. (1925): Die Binnengewässer Mitteleuropas. Die Binnengewässer I: 1 – 255, Stuttgart (Schweizerbart).
- Tilzer, M. (1968): Zur Ökologie und Besiedlung des hochalpinen hyporheischen Interstitials im Arlberggebiet (Österreich). Archiv für Hydrobiologie. 3: 253-308.

- Tuschewitzki, G.J.; Grubert, L. (1988): Rasterelektronenmikroskopische und kulturelle Untersuchungen zur mikrobiellen Besiedlung von Kies aus dem Grundwasserbereich. Z. dt. Geol. Ges., 139, 321 – 329.
- Viets, K. (1936): Spinnentiere oder Arachnoidea VII: Wassermilben oder Hydracarina (Hydrachnellae und Halacaridae). In: Dahl, M. & H. Bischoff: Die Tierwelt Deutschlands und der angrenzenden Meeresgebiete. Gustav Fischer Verlag Jena: 1-574.
- Viets, K. (1950): Porohalacaridae (Acari) aus der Grundwasserfauna des Maingebietes. Archiv für Hydrobiologie 43: 247-257.
- Vitzthum, H. (1932): Acarinen aus dem Karst (excl. Oribatei). Zoologische Jahrbücher/Abteilung für Systematik, Ökologie und Geographie der Tiere 63 (5): 681-700.
- Wegelin, R. (1966): Beitrag zur Kenntnis der Grundwasserfauna des Saale-Elbe-Einzugsgebietes. Zoologische Jahrbücher/Abteilung für Systematik, Ökologie und Geographie der Tiere 93: 1-117.
- Westheide, W. & Rieger, R. (Hrsg.) (1996): Spezielle Zoologie 1. Einzeller und Wirbellose Tiere. Gustav Fischer Verlag Stuttgart. 909 S.
- Wolf, J. P. (1919): Die Ostracoden der Umgebung von Basel. Archiv für Naturgeschichte. Abt. A. 85 (1-4): 1-100.
- Wolters, N.; Schwartz, W. (1956): Untersuchungen über Vorkommen und Verhalten von Mikroorganismen in reinen Grundwässern. Arch. f. Hydrobiol., 51, 500 – 541.
- Wouters, K. & M. Bless (1986): Ostracoden in Zuid-Limburg (Netherland). Natuurhistorisch Maandblad. 75 (9): 152-154.