

BERICHT

Projekt : RIKO-1

Cicerostr. 24
D-10709 Berlin
Germany
Tel +49 (0)30 536 53 800
Fax +49 (0)30 536 53 888
www.kompetenz-wasser.de

RISIKOANALYSE DES EINTRAGS MIKROBIELLER KONTAMINATION IN TRINKWASSERBRUNNEN UND ABLEITUNG VON VERMEIDUNGSSTRATEGIEN – PHASE 1 - Synthesebericht -

von
Christian Menz, Hella Schwarzmüller, Wolfgang Seis

Abteilung "Nachhaltige Nutzung und Schutz der Ressource Grundwasser"
Kompetenzzentrum Wasser Berlin, Cicerostraße 24, 10709 Berlin, Deutschland
Email: hella.schwarzmueller@kompetenz-wasser.de, Tel. ++49 (0)30-536-53814

für die
Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH

Die Erstellung dieses Berichtes wurde finanziell gefördert durch



Berlin, Germany
2013

Important Legal Notice

Disclaimer: The information in this publication was considered technically sound by the consensus of persons engaged in the development and approval of the document at the time it was developed. KWB disclaims liability to the full extent for any personal injury, property, or other damages of any nature whatsoever, whether special, indirect, consequential, or compensatory, directly or indirectly resulting from the publication, use of application, or reliance on this document. KWB disclaims and makes no guaranty or warranty, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of any information published herein. It is expressly pointed out that the information and results given in this publication may be out of date due to subsequent modifications. In addition, KWB disclaims and makes no warranty that the information in this document will fulfil any of your particular purposes or needs. The disclaimer on hand neither seeks to restrict nor to exclude KWB's liability against all relevant national statutory provisions.

Wichtiger rechtlicher Hinweis

Haftungsausschluss: Die in dieser Publikation bereitgestellte Information wurde zum Zeitpunkt der Erstellung im Konsens mit den bei Entwicklung und Anfertigung des Dokumentes beteiligten Personen als technisch einwandfrei befunden. KWB schließt vollumfänglich die Haftung für jegliche Personen-, Sach- oder sonstige Schäden aus, ungeachtet ob diese speziell, indirekt, nachfolgend oder kompensatorisch, mittelbar oder unmittelbar sind oder direkt oder indirekt von dieser Publikation, einer Anwendung oder dem Vertrauen in dieses Dokument herrühren. KWB übernimmt keine Garantie und macht keine Zusicherungen ausdrücklicher oder stillschweigender Art bezüglich der Richtigkeit oder Vollständigkeit jeglicher Information hierin. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die in der Publikation gegebenen Informationen und Ergebnisse aufgrund nachfolgender Änderungen nicht mehr aktuell sein können. Weiterhin lehnt KWB die Haftung ab und übernimmt keine Garantie, dass die in diesem Dokument enthaltenen Informationen der Erfüllung Ihrer besonderen Zwecke oder Ansprüche dienlich sind. Mit der vorliegenden Haftungsausschlussklausel wird weder bezweckt, die Haftung der KWB entgegen den einschlägigen nationalen Rechtsvorschriften einzuschränken noch sie in Fällen auszuschließen, in denen ein Ausschluss nach diesen Rechtsvorschriften nicht möglich ist.

Impressum

Titel

Risikoanalyse des Eintrags mikrobieller Kontamination In Trinkwasserbrunnen und Ableitung von Vermeidungsstrategien – Phase 1

Autoren

Kompetenzzentrum Wasser Berlin (KWB)

Wolfgang Seis, Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Christian Menz, Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Dr. Hella Schwarzmüller, Projektleiterin

mit Beiträgen von

Blue Biolabs GmbH

Oliver Thronicker, Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Berliner Wasserbetriebe (BWB)

Volker Jordan, Brunnenmanager

Gunnar Lorenzen, Ressourcenmanager

Sebastian Schimmelpfennig, Ressourcenmanager

Qualitätskontrolle

Gesche Grützmacher, KWB

Veröffentlichung genehmigt durch das Technische Komitee

Regina Gnirss, BWB F+E

Elke Wittstock, BWB WV

Dietmar Petersohn, BWB WV

Andreas Wicklein, BWB WV

Uta Böckelmann, BWB Labor

Gesche Grützmacher, KWB

Andreas Hartmann, KWB

Leistung

Synthesebericht RIKO-1

Endversion

29.04.2013

Vorbemerkung

Das vorliegende Dokument ist als zusammenfassender Synthesebericht des Forschungsprojektes RIKO-1 konzipiert und ergänzt die fünf Teilberichte zu den Arbeitspaketen aus RIKO-1 mit einer versuchsübergreifenden Betrachtung, Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen zur Risikominimierung.

Ausgehend von den in den Teilberichten dokumentierten Recherchen und Versuchen werden dazu in Kapitel 2 zunächst der Kenntnisstand zu Beginn des Projektes zusammengefasst und ein Überblick über die Untersuchungen gegeben. Kapitel 3 unterzieht die Brunnen einer Gefährdungsanalyse und beschreibt mögliche Eintragspfade und Einflussfaktoren mit einer Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeiten. Die vorliegenden Daten werden in Kapitel 4 dann in eine Risikoanalyse überführt und auf Basis der Priorisierung der Gefährdungseignisse Maßnahmen zur Minimierung von Befunden empfohlen.

Indikatorkeime, ihre Überwachung sowie der Stand von Forschung und Entwicklung neuer (molekularbiologischer) Methoden zur Analyse und Früherkennung bzw. Möglichkeiten der Online-Überwachung werden im Teilbericht "Mikrobiologische Methoden: Stand der Technik" von O. Thronicker behandelt.

Die deskriptive Datenanalyse vorliegender Befunddaten hinsichtlich möglicher Zusammenhänge mit bestimmten Brunneneigenschaften, insbesondere Lage, Baumerkmale und Betriebsparametern wurde im Teilbericht "Deskriptive Datenanalyse" zusammengefasst.

Die Feldversuche im Rahmen der Einzelbrunnenuntersuchung SPAsued10, die Markierungsversuche an zwei Brunnen im Wasserwerk Jungfernheide sowie die Sediment- und Wasserbeprobungen an einer Transekte entlang des Fließpfades des Uferfiltrats von der Havel zur Galerie Tiefwerder-Schildhorn sind in den entsprechenden Teilberichten dokumentiert. Die Teilberichte beschreiben jeweils die Ausgangslage zu Versuchsbeginn, die Methodik und Ergebnisse und enthalten eine ausführliche Diskussion und Schlussfolgerungen aus den Versuchen.

Der hier vorliegende Synthesebericht greift die einzelnen Versuche und Ergebnisse in der Beschreibung des Kenntnisstandes nach dem Konzept eines Water Safety Plans (WSP, WHO 2009) auf. WSPs auf Wasserwerksebene wurden bislang von den BWB für sechs der neun aktiven Wasserwerke im Entwurf erstellt. Sie fokussieren auf die Aufbereitungsschritte vom Rohwasser zum Reinwasser. In RIKO-1 sollte ergänzend vor allem der Einzelbrunnen betrachtet werden. Die Risikobewertung bezieht sich daher auf die Wassergewinnung, d.h. den Weg des Wassers vom zur Uferfiltration genutzten Oberflächengewässer bis zum Eintritt des Rohwassers in die Sammelleitung. Die davor (Ressourcenschutz) und danach (Rohwasseraufbereitung) liegenden Teile des teilgeschlossenen Wasserkreislaufs werden nicht behandelt. Die ganzheitliche Betrachtung und Entwicklung eines WSPs für den gesamten Berliner Wasserkreislaufs ist Ziel im Projekt ASKURIS.

Als weitere Grundlagen der Arbeiten in RIKO-1 und der zusammenfassenden Betrachtung im vorliegenden Bericht dienen u.a. das Wasserversorgungskonzept 2040 (Möller & Burgschweiger 2008), eine Fallstudie der Befunde 2003-2007 in WELLMA-1 (Gräber 2009, unveröffentlicht) sowie Forschungsarbeiten aus NASRI und IC-NASRI (Lopez-Pila & Szewzyk 2006; u.a.).

Alle geplanten Untersuchungen und Zwischenergebnisse wurden regelmäßig im Projektteam diskutiert (vgl. Besprechungsprotokolle) und daraus folgend ggf. Maßnahmen zur direkten Umsetzung abgeleitet oder Versuchskonzepte angepasst. Ein Verzeichnis der in Ergänzung zum Synthesebericht vorliegenden Berichte und Protokolle, auf die im Weiteren verwiesen wird, findet sich in Anhang 1.

Inhalt

KAPITEL 1 PROBLEMSTELLUNG	1
1.1 HINTERGRUND	1
1.2 ZIELSTELLUNG	1
KAPITEL 2 KENNNTNISSTAND UND ABLEITUNG DER VERSUCHSPLANUNG	2
2.1 UMWELT-, FÄKALKEIME UND INDIKATORKEIMPRINZIP	2
2.2 GLOSSAR HYDROGEOLOGISCHER BEGRIFFE	3
2.3 DIE UFERFILTRATION ALS NATÜRLICHE BARRIERE	3
2.4 DICHTIGKEIT DES BRUNNENBAUWERKS ALS TECHNISCHE BARRIERE	5
2.5 ÜBERBLICK ÜBER DIE IN RIKO-1 DURCHGEFÜHRTEN UNTERSUCHUNGEN	7
KAPITEL 3 QUELLEN, EINTRAGSPFADE UND GEFÄHRDUNGSEREIGNISSE	9
3.1 EINTRAG ÜBERS GRUNDWASSER	9
3.1.1 <i>Eintragspfad Uferfiltrat</i>	9
3.1.2 <i>Eintragspfad Sickerwasser</i>	11
3.2 BRUNNENBAUWERK	16
3.2.1 <i>Fremdwasser</i>	16
3.2.2 <i>Direkte Kontamination/ Offener Brunnen</i>	18
3.3 ZUSAMMENFASSUNG DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE	21
KAPITEL 4 SCHLUSSFOLGERUNGEN	24
4.1 RISIKOBEWERTUNG	24
4.2 MAßNAHMEN ZUR RISIKOMINIMIERUNG	27
4.3 KRITISCHE KONTROLLPUNKTE UND VORSCHLÄGE FÜR DEREN ÜBERWACHUNG	28
4.4 OFFENE FRAGEN	28
4.5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	30
REFERENZEN	31
ANHANG 1 ZUSAMMENSTELLUNG ALLER IM RAHMEN VON RIKO-1 VORLIEGENDEN BERICHTE UND PROTOKOLLE IN CHRONOLOGISCHER ORDNUNG	33
ANHANG 2 LITERATURDATEN ZUM ELIMINIERUNGSVERMÖGEN DER UFERFILTRATION	34

Kapitel 1

Problemstellung

1.1 Hintergrund

Der Schutz der menschlichen Gesundheit ist ein zentrales Ziel der Gewinnung, Aufbereitung, und Verteilung von Trinkwasser. Um dieses zu gewährleisten, legt die Trinkwasserverordnung Grenzwerte für chemische und bakteriologische Parameter sowie deren Nachweisverfahren fest (TrinkwV 2011).

Da die direkte Analyse pathogener Keime erst mit neuester Analytik möglich und zudem aufwändig und kostspielig ist, wird zur Kontrolle der einwandfreien, mikrobiellen Trinkwasserqualität in Deutschland auf den Nachweis verschiedener Indikatororganismen durch Kultivierungsmethoden zurückgegriffen.

Ein wesentlicher Nachteil dieser Methode ist, dass zwischen dem Zeitpunkt der Probenahme und dem Erhalt der Untersuchungsergebnisse mehrere Stunden vergehen, so dass es denkbar ist, dass das untersuchte Wasser das Wasserwerk bereits verlassen hat und vom Verbraucher konsumiert bzw. genutzt wurde, bevor im Bedarfsfall entsprechende Maßnahmen ergriffen werden konnten. In einem solchen Fall ist die mikrobielle Sicherheit nicht mehr gegeben.

Ein Ansatz diesem Problem zu begegnen ist es, das Prinzip der Endproduktkontrolle um ein prozessorientiertes, risikobasiertes Management zu ergänzen. Methodische Ansätze hierfür lassen sich im deutschen Kontext im DVGW-Regelwerk in den Hinweisen W 1001 und W 1002 wiederfinden (DVGW 2008a, b). Im internationalen Kontext wird dieser Ansatz als Water Safety Plan (WSP) bezeichnet. Beginnend im Wassereinzugsgebiet und sich über die gesamte Aufbereitungskette fortplantzend werden hierbei alle denkbaren Eintragungspfade (mikrobieller) Gefährdungen ("hazards") systematisch erfasst sowie die Wirksamkeit der getroffenen Gegenmaßnahmen ("control measures") verifiziert.

Mikrobielle Verunreinigungen können auch in Ländern mit hohen Sicherheitsstandards, wie Deutschland, nie zu hundert Prozent ausgeschlossen werden. So kam es im Spätsommer 2011 nach wiederholten Starkregenereignissen in mehreren Wasserwerken zu anhaltenden Befunden von Indikatororganismen im Rohwasser. In diesem Zusammenhang wurde von den Berliner Wasserbetrieben (BWB) u.a. das Forschungsprojekt RIKO-1 initiiert. Im Verlauf des Projektes wurden mikrobielle Befunde im Frühjahr 2012 an Einzelbrunnen und bei Neubohrungen verschiedener Brunnengalerien festgestellt, die im Rahmen des Projektes zusätzlich zu den im Verlauf der Projektentwicklung konzeptionierten Versuchen z.T. intensiv untersucht werden konnten.

1.2 Zielstellung

Zielstellung von RIKO-1 war es, auf Basis belastbarer Daten Empfehlungen und Maßnahmen zur Minimierung von positiven Befunden im Rohwasser Berliner Brunnen abzuleiten. Hierfür sollten bereits bestehende Maßnahmen zur Risikominderung, d.h. zur Kontrolle des Eintrags von Mikroorganismen, auf ihre Wirksamkeit überprüft werden. Darüber hinaus sollten auf Basis von Feld- und Einzelbrunnenuntersuchungen weitere potentielle Eintragungspfade identifiziert werden, die in der Lage sind die mikrobielle Sicherheit des Trinkwassers zu beeinträchtigen.

Die durch die Untersuchungen gewonnenen Ergebnisse sollen darüber hinaus zur Entwicklung eines Water Safety Plans (WSP) für den teilgeschlossenen Berliner Wasserkreislauf beitragen, der im Rahmen des Forschungsprojektes ASKURIS durch die Forschungs- und Entwicklungsabteilung der Berliner Wasserbetriebe erarbeitet wird.

Kapitel 2 Kenntnisstand und Ableitung der Versuchsplanung

2.1 Umwelt-, Fäkalkeime und Indikatorkeimprinzip

Mikroorganismen, zu denen grundsätzlich Bakterien, Viren, Protozoen und kleine Mehrzeller gezählt werden, sind in Oberflächengewässern und in der terrestrischen Umwelt ubiquitär vorhanden. Bis heute ist nur ein Bruchteil der existierenden Organismen bekannt. Die meisten Mikroorganismen sind für Menschen unbedenklich, manche jedoch können Auslöser leichter aber auch schwerster Erkrankungen sein (Pathogene). Die Art der Übertragung (Inhalation, orale Aufnahme, dermalen Kontakt, Vektor etc.) und der Ort der Infektion sind pathogenspezifisch. Der Aufnahmepfad über das Trinkwasser ist bis heute von großer Bedeutung, da im Falle einer vorliegenden Kontamination eine große Zahl an Menschen exponiert wird (WHO 2011). Über die Fäzes gelangen viele Pathogene ins Abwasser und somit direkt oder indirekt ins Oberflächengewässer, da die wenigsten Klärwerke, auch nicht in Deutschland, über eine Desinfektionsstufe verfügen. Von der Anwesenheit von Krankheitserregern im Oberflächenwasser ist daher auszugehen. Tabelle 1 zeigt eine Auswahl von im Abwasser enthaltenen Krankheitserregern.

Tabelle 1: Auswahl an im Abwasser auftretenden Krankheitserregern (WHO 2006)

Erreger	Art der Erkrankung/Symptome
Viren	
Coxsackievirus A and B	Zahorsky-Krankheit, aseptische Meningitis, Atemwegserkrankungen, Fieber, Lähmung, Herz- und Nierenerkrankungen
Norovirus	Gastroenteritis
Rotavirus	Gastroenteritis
Bakterien	
<i>Salmonella</i>	Salmonellose, Gastroenteritis, Durchfall, Langzeitfolgen (z.B. Arthritis)
<i>Shigella</i>	Bakterienruhr, Langzeitfolgen (z.B. Arthritis)
<i>Vibrio cholera</i>	Cholera
Protozoen	
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Cryptosporidiose, Durchfall, Fieber
<i>Giardia intestinalis</i>	Giardiasis

Da die direkte Analyse von Pathogenen im Trinkwasserbereich unter Normalbetrieb nicht praktikabel ist (Vielfalt an Organismen, geringe Anzahl, Analysekosten etc.), wird zur Kontrolle der mikrobiellen Sicherheit auf Indikatororganismen zurückgegriffen. Indikatororganismen sollten die folgenden Eigenschaften erfüllen: Sie sollten

- nur in Wässern nachweisbar sein, wenn eine Verschmutzung durch Krankheitserreger enthaltenen Medien vorliegt
- sich unter Umweltbedingungen nicht vermehren
- in höherer Anzahl vorhanden sein als die Krankheitserreger, die sie anzeigen sollen
- bezüglich Überlebensfähigkeit und Widerstandsfähigkeit gegenüber Aufbereitungsprozessen mit Krankheitserregern vergleichbar sein
- einfach zu isolieren, identifizieren und quantifizieren sein
- selbst keine Krankheitserreger sein.

Als sehr verlässliche Indikatoren für fäkale Verunreinigungen haben sich insbesondere *Escherichia coli* (*E.coli*) und Enterokokken bewährt. *E.coli* kommt im Darm von Warmblütern mit einem Anteil von 1 – 2 % vor und ist gegenüber Umwelteinflüssen widerstandsfähiger als viele Darmpathogene (z.B. *Salmonella sp.*) (Winfield & Groisman 2004).

E.coli ist ein spezieller Vertreter einer größeren Gruppe von Indikatorbakterien, den sogenannten coliformen Bakterien. Sie stellen keine taxonomische Gruppe dar, sondern sind durch ihre Stoffwechseleigenschaften charakterisiert. Coliforme Bakterien sind stäbchenförmige Bakterien, die vor allem im Darm von Warmblütern vorkommen. Sie können allerdings auch einige Zeit außerhalb ihrer natürlichen Umgebung überleben. Einige coliforme Bakterien kommen jedoch natürlicherweise auch im Boden und in Oberflächenwässern vor.

Während positive *E.coli* Befunde klar auf eine fäkale Kontamination hindeuten, stellen Befunde von Coliformen vor dem Hintergrund ihres natürlichen Auftretens eher ein Indiz für Undichtigkeiten dar.

2.2 Glossar hydrogeologischer Begriffe

Grundwasser ist alles unterirdische Wasser in der Sättigungszone, das in unmittelbarer Berührung mit dem Boden oder dem Untergrund steht (WRRL Art. 2, Abs. 2; zitiert in Hölting & Coldewey 2009). Der Grundwasserkörper beginnt dabei definitionsgemäß dort, wo das Wasser die Hohlräume des Untergrundes zusammenhängend ausfüllt. Dies wird als **wassergesättigte Bodenzone** bezeichnet.

Der Raum zwischen der Erdoberfläche und der Grundwasseroberfläche wird, da er nicht gänzlich mit Wasser ausgefüllt ist, als **wasserungesättigte Bodenzone** bezeichnet. Das in dieser Zone enthaltene Wasser ist definitionsgemäß kein Grundwasser, sondern wird als Sickerwasser bezeichnet. **Sickerwasser** ist unterirdisches Wasser, das sich unter Einwirkung der Schwerkraft im Sickerraum abwärts in Richtung Grundwasser bewegt.

Uferfiltrat ist Wasser aus oberirdischen Gewässern, durch deren Bett es in den Grundwasserleiter eindringt. Voraussetzungen für die Uferfiltration sind i) ein hydraulisches Potentialgefälle vom oberirdischen Gewässer zur Grundwasseroberfläche und ii) die Durchlässigkeit des Gewässerbetts (Hölting & Coldewey 2009).

Im Folgenden werden Uferfiltrat und Sickerwasser als Eintragspfade für mikrobiologische Kontaminationen unterschieden. Dabei wird Uferfiltrat der gesättigten Zone zugeordnet und die Fließzeit vom Infiltrations- zum Entnahmepunkt als Aufenthaltszeit bezeichnet. Das Sickerwasser wird der ungesättigten Zone zugeordnet und die Fließzeit von der Erd- bis zur Grundwasseroberfläche als Verweilzeit bezeichnet.

2.3 Die Uferfiltration als natürliche Barriere

Im Gegensatz zu Oberflächengewässern wird Grundwasser im Allgemeinen als frei von Krankheitserregern angesehen. Die Abwesenheit von Krankheitserregern ist zum einen auf verschiedene Reduktionsmechanismen während der Untergrundpassage zurückzuführen (Filtration, Adsorption, Fraß u.a.), zum anderen auf die im Untergrund und im Grundwasserleiter herrschenden, für die meisten humanpathogenen Keime ungünstigen, Umweltbedingungen (niedrige Temperatur, geringes Nährstoffangebot, Sauerstoff in der ungesättigten Bodenzone; vgl. Teilbericht Tiefwerder).

Durch die Förderung von Grundwasser macht sich die Berliner Trinkwasseraufbereitung die natürlichen Reinigungsmechanismen der Untergrundpassage zunutze. Die Keimfreiheit des Berliner Trinkwassers stützt sich auf die beiden folgenden Grundannahmen:

1. Grundwasser ist aus den oben genannten Gründen frei von Krankheitserregern.
2. Die minimale Zeit, die Wasser im Untergrund verweilen muss, um qualitativ als Grundwasser betrachtet werden zu können, beträgt 50 Tage.

Besonders der zweiten Annahme kommt vor dem Hintergrund, dass der Berliner Wasserverbrauch (Jahresfördermenge 2007: 200 Mio. m³/Jahr; www.bwb.de) die Menge natürlich neugebildeten Grundwassers von ca. 126 Mio. m³ pro Jahr (Umweltatlas Karte 2.17 Stand 2007; SenStadtUm) übersteigt, eine zentrale Rolle zu. Um Trinkwasser in ausreichender Menge zur Verfügung stellen zu können, wird das Grundwasser durch Uferfiltration sowie künstliche Grundwasseranreicherung angereichert. Als Folge werden ca. 37% des Berliner Trinkwassers indirekt aus Oberflächengewässern gewonnen (Zippel & Hannapel 2008).

Nach mindestens 50 Tagen Aufenthalt im Untergrund wird das Wasser hinsichtlich des Vorhandenseins der Indikatorkeime als "keimfrei" angesehen, d.h. es können in 100 mL Wasserprobe keine vermehrungsfähigen Keime nachgewiesen werden (DVGW 2006). Die daraus resultierende, so genannte 50-Tage-Linie beruht auf Erfahrungswerten und wissenschaftlichen Untersuchungen, nach denen Bakterien, Viren und Sporen nach 50 Tagen Aufenthaltszeit im Untergrund um mindestens 5 Größenordnungen reduziert sind (Bild 1), während die Keimbelastung im Oberflächen- bzw. Sickerwasser 10⁵ Keime pro 100 mL in der Regel nicht übersteigt (vgl. auch Teilbericht Tiefwerder).

Die Wirksamkeit der Uferfiltration als natürliche Barriere gegenüber Keimen wurde bereits durch mehrere große Forschungsprojekte bestätigt, u.a.

- Uferfiltration in Berlin (SenStadtUm 1997-1999, zitiert in Ziegler 2001),
- Exportorientierte F+E auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung (BMBF 2002 – 2005, dokumentiert in Obst & Geis 2005) und
- NASRI und IC-NASRI (KWB 2001-2010)

Im Rahmen des Projektes IC-NASRI (KWB 2007-2010) wurden zwischen 2002 und 2009 publizierte Daten zur Eliminationsleistung der Untergrundpassage in Bezug zur Aufenthaltszeit ausgewertet. Die Literaturdaten bestätigten die grundlegende Annahme und zeigten ein Eliminationsvermögen von bis zu 8 Log-Entfernungsstufen gegenüber Viren, 6 Log-Entfernungsstufen gegenüber Bakterien und 5 Log-Entfernungsstufen gegenüber Sporen (Bild 1, Daten siehe Anhang 2). Die Untergrundpassage stellt somit die wichtigste Barriere gegenüber mikrobiellen Verunreinigungen in Berlin dar.

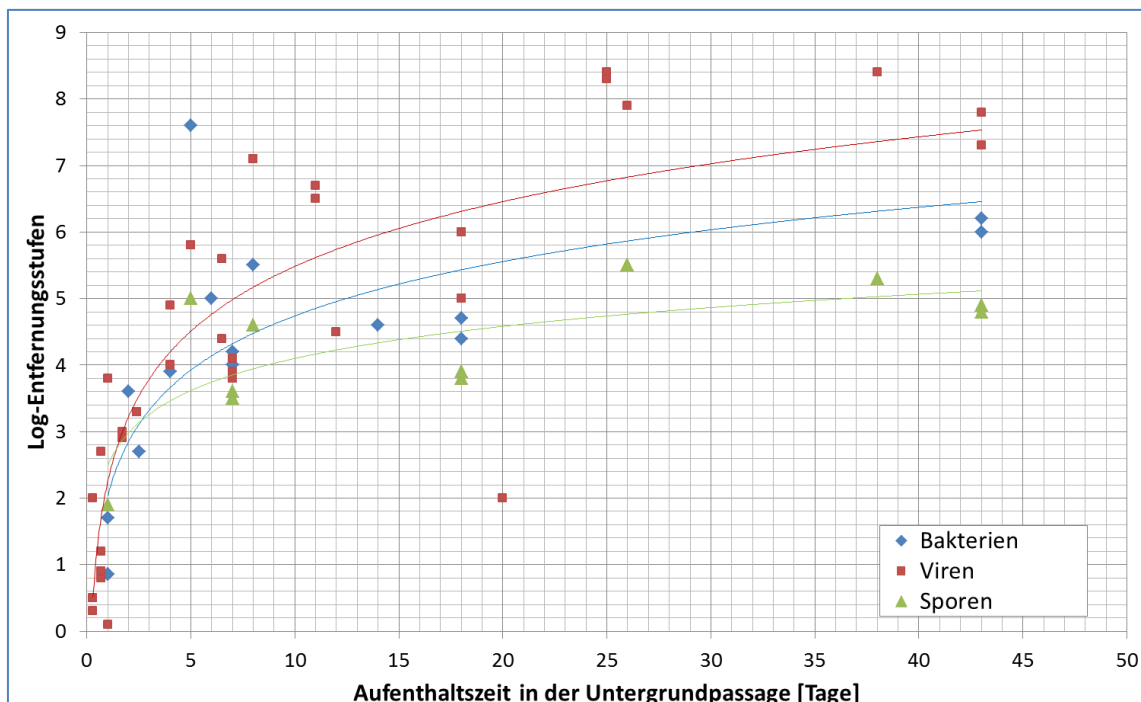


Bild 1: Publizierte Log-Entfernungsstufen bei der Untergrundpassage in Abhängigkeit der Aufenthaltszeit gemäß Literaturwerten für Bakterien, Viren und Sporen (Daten aus IC-NASRI, KWB 2010 – siehe Anhang 2)

Ein weiteres wesentliches Ergebnis der letztgenannten Projekte NASRI und IC-NASRI ist das generelle Schema zu den Fließzeiten an Berliner Brunnen, nach dem nur ein Teil des geförderten Rohwassers „junges“ Uferfiltrat mit einem Alter von wenigen Monate darstellt und ein Großteil älteres, Jahre bis Jahrzehnte altes Uferfiltrat bzw. natürlich gebildetes Grundwasser ist (Bild 2). Die 50-Tage-Linie wird damit i.d.R. eingehalten.

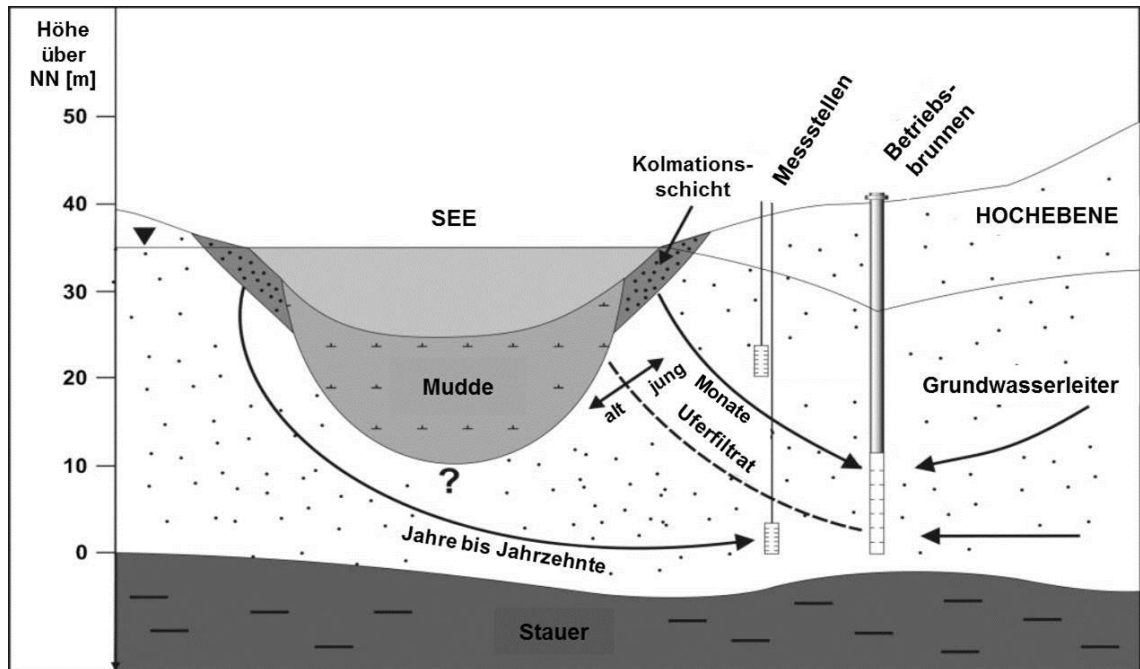


Bild 2: Schematische Darstellung der Uferfiltration in Berlin [Massmann, Sueltenfuß et al. 2007]

Die Reinigungswirkung der Untergrundpassage stellt darüber hinaus die zentrale Barriere der Berliner Wasserversorgung gegenüber mikrobiellen Kontaminationen dar, da i) die nachfolgenden Aufbereitungsschritte (Belüftung, Schnellsandfiltration) nicht geeignet sind, die hygienische Sicherheit zu garantieren und ii) das Wasser ohne Zugabe von Chlor oder Anwendung anderer Desinfektionsmaßnahmen an die Verbraucher abgegeben wird.

Für eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Wasserwerke und deren jeweilige Spezifika sei an dieser Stelle auf die jeweiligen WSP-Entwürfe der BWB und das Wasserversorgungskonzept 2040 verwiesen.

2.4 Dichtigkeit des Brunnenbauwerks als technische Barriere

In Berlin werden überwiegend Vertikalfilterbrunnen betrieben, die in Galerien zusammengeschlossen sind. Die Filterstrecke beginnt i.d.R. mindestens 20m unter Geländeoberkante. Darüber befinden sich der Vollrohrbereich (Vollrohr und Ringraumverfüllung) und das Schachtbauwerk (Abschlussbauwerk). Abhängig vom Baujahr können drei Konstruktionstypen unterschieden werden, die sich vor allem hinsichtlich der Lage und Mächtigkeit der Tonsperre und Tiefenlage der ersten Filteroberkante unterscheiden (Pigadi 2011, vgl. Proposal RIKO-1).

Die Abschlussbauwerke sind grundsätzlich als unterirdische Schachtbauwerke mit Fertigbeton-Teilen ausgeführt. Als sensible Stellen können alle Arten von Öffnungen, d.h. Einstieg, Rohr- und Kabeldurchführungen betrachtet werden (Bild 3). Mit Ausnahme der Brunnenkopfdichtung stellen diese Durchführungen jedoch nur eine erste Barriere dar, deren Undichtigkeit alleine keine Kontamination des Rohwassers zur Folge hätte.

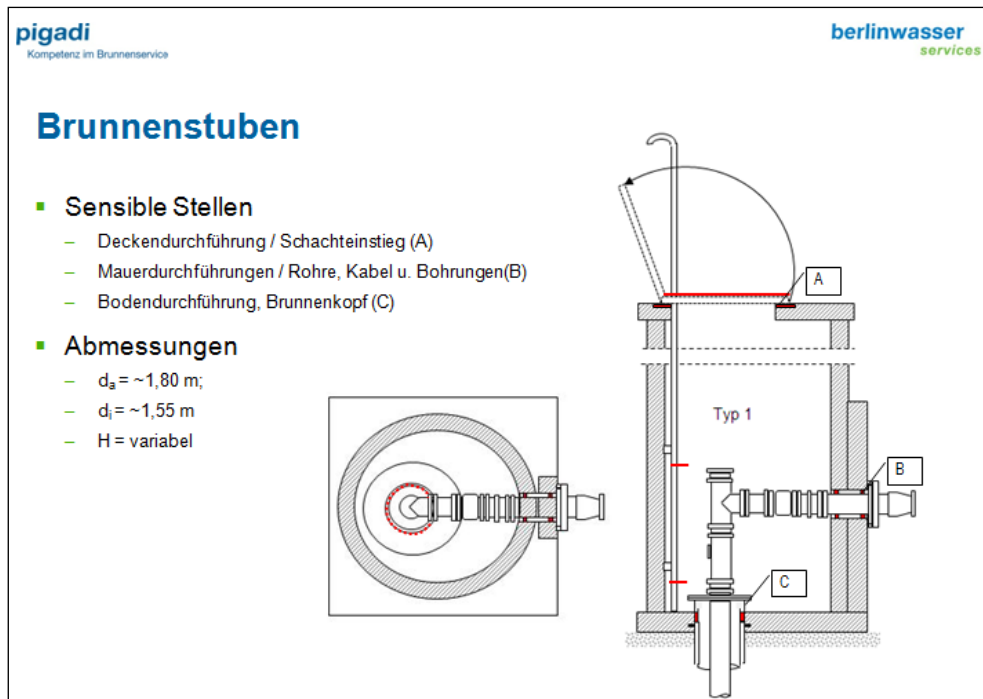


Bild 3: Standard-Konstruktionstyp einer unterirdischen Brunnenstube der BWB mit Kennzeichnung der sensiblen Stellen [Pigadi 2011]

Die Brunnenkopfdichtung

Als Brunnenkopfdichtungen zwischen Vollrohr und Ausbaurohrung kommen chemische, mechanische und kombinierte Dichtstoffe zum Einsatz. Nachdem in den auf die Befunde im Frühjahr 2011 folgenden Untersuchungen der BWB teilweise ein Versagen der Brunnenkopfdichtungen gegen hochstehendes Grundwasser festgestellt wurde (Bild 4 links), wurden alle Brunnen der BWB hinsichtlich ihrer Dichtheit überprüft und chemische (Tangit-Dichtungen) oder kombinierte Dichtungen (z.B. bitumengetränkte Hanfseile in älteren Brunnen) gegen ein mechanisches System der Fa. Hauff (Bild 4 rechts) getauscht. Dieser Dichtungstyp stellt jetzt den Standard bei Brunnenneubau dar.



Bild 4: Links: Brunnen mit Fremdwasserzutritt über undichte Brunnenkopfdichtung im Frühjahr 2011; Rechts: Hauff-Dichtung (mechanisch) als neuer Standard-Dichtungstyp bei den BWB [Wittstock 2012]

Dichtigkeit des Vollrohrs

Je nach Ausbaumaterial des Brunnens ist der Vollrohrabschnitt aus 2 – 4 m langen Teilstücken aufgebaut, die zusammengesteckt oder verschraubt werden. Die Rohrstöße (Muffen, Bild 5) sind i.d.R. mit Gummidichtungen versehen.

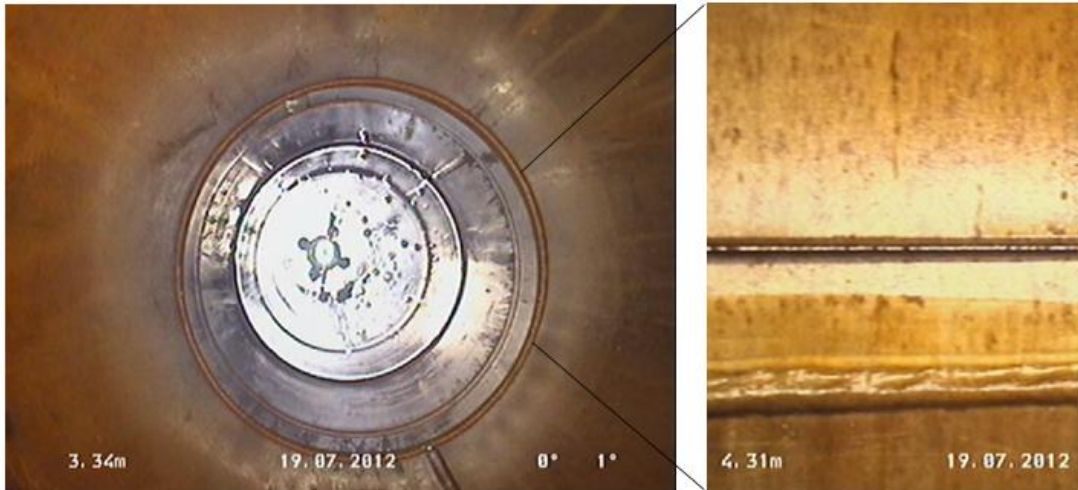


Bild 5: Rohrstoß im Vollrohrbereich oberhalb des Ruhewasserspiegels eines Brunnens mit Wickeldrahtfilter (Beispielaufnahme Pigadi 2012 im Rahmen des Projektes WELLMA-2)

Der bauliche Zustand des Brunnenausbaus und seine Dichtheit werden regelmäßig geprüft. Wenn dabei Undichtigkeiten im Vollrohrbereich oder Schäden am gesamten Ausbau festgestellt werden, kommen Manschetten oder Inliner zur Rohrrinnensanierung zum Einsatz. Diese Prüfung und ggf. Herstellung der Dichtheit oberhalb der Filterstrecke, d.h. im Vollrohr und am Brunnenkopf, ist in den Entwürfen zur Risikoanalyse entsprechend HACCP-Konzept als Sicherungsmaßnahme für die Betriebsbrunnen dokumentiert.

Die Tonsperre

Unterhalb der Brunnenstube schützt eine Ringraumsperre aus Ton (Tonsperre) das Bohrloch gegen den unerwünschten Zutritt von versickerndem Oberflächenwasser. Während diese in den vor 2005 gebauten BWB-Brunnen auf Stauer-Lagen und eine 2m mächtige Abdichtung direkt über dem Filterbereich beschränkt war, sind alle seit 2005 gebauten Brunnen mit einer den kompletten Ringraum füllenden, durchgehenden Tonsperre versehen. Dieser Standard geht auf eine Empfehlung des Technologiezentrums Wasser (TZW) nach Untersuchung auffälliger Befundlagen aus dem Jahr 2004 zurück. Damals waren nach der Schneeschmelze vermehrt Enterokokken im Rohwasser nachgewiesen worden (pers. Kommunikation E. Wittstock 2007; neben der Festlegung dieser baulichen Änderung wurden außerdem alle Brunnen hinsichtlich ihrer Dichtheit im Vollrohrbereich geprüft, die Schaltheufigkeiten reduziert und einzelne Galerien eingezäunt).

2.5 Überblick über die in RIKO-1 durchgeführten Untersuchungen

Im Rahmen des Projektes RIKO-1 wurden sowohl das Brunnenbauwerk als auch die Uferfiltration bezüglich ihrer Barrierewirkung untersucht. Darüber hinaus wurden Eintragspfade untersucht, die im Normalbetrieb zwar nicht auftreten, aufgrund der Umgehung der technischen Barrieren aber relevant sind, z. B. die Öffnung des Brunnens zu Wartungszwecken. Diese werden als „direkte Kontamination“ bezeichnet.

Tabelle 2 zeigt eine Zusammenstellung der Untersuchungen, mit denen im Verlauf von RIKO-1 durch das KWB und durch BWB-interne Untersuchungen potentielle Eintragspfade mikrobieller Verunreinigungen ins Rohwasser auf ihre Wahrscheinlichkeit hin geprüft wurden.

Tabelle 2: Zusammenstellung potentieller Eintragspfade, Gefährdungereignisse und Kontaminationsquellen und Bezug zu den Untersuchungen innerhalb von RIKO-1

Eintragspfad		Gefährdungereignisse	Kontaminationsquellen	Untersuchungen in RIKO-1
1	Mit dem Grundwasser (Externe Faktoren)			
1.1	Uferfiltrat	Hochwasser - Aufreißen der Kolmationsschicht - Erhöhter hydraulischer Gradient - Erhöhte Ausgangskonzentration (z.B. Mischwasserüberläufe)	- Klarwasseranteil in den Oberflächengewässern - Abschwemmung - Mischwasserüberläufe - Mobilisierung aus Sediment	- Uferfiltrat-Transecte TIEschi03 ⁰³
1.2	Sickerwasser	Starkregen/ Hochwasser - Aufsättigung der Bodenzone Präferentielle Fließwege - Tiergänge/ Grabbauten - Schachtbauten/ Altbrunnen	- Mobilisierung aus lokalen Quellen im Brunnenumfeld - Oberirdischer Abfluss (Regen, Pfützen usw.) - Entwässerungskanäle	- Infiltrationsversuche JUNost-06 & JUNost-12 ⁰² - Abschlagsbereich SPAsued10 ⁰¹ - Alte Heberleitung SPAsued10 ⁰¹ - Bodenproben SPAsued10 ⁰¹ und TIEschi03 ⁰³
2	Über das Brunnenbauwerk (Interne Faktoren)			
2.1	Fremdwasser* / Hydraulischer Kurzschluss	- Undichte Brunnenkopfdichtung - Undichtiges Vollrohr - Keine/ undichte Tonsperre	- Uferfiltrat (siehe 1.1) - Sickerwasser (siehe 1.2)	- BWB-intern: Brunnenkopfdichtung in Tiefwerder und folgend alle Brunnen - BWB-intern: Vollrohrdichtheit, alle Brunnen - Infiltrations- und Markierungsversuche JUNost-06 & JUNost-12 ⁰²
2.2	Direkte Kontamination	- Einbringen von nichtdesinfiziertem Gerät oder Material - Offener Brunnen - Druckausgleichsöffnung - Außenpegel - Offener oder undichter Brunnenkopf	- Fremdmaterial - Kleintiere - Schmutzeintrag - Kontaminiertes Baumaterial (z.B. Manschetten)	- Außenpegel SPAsued10 ⁰¹ - Manschetten SPAsued10 ⁰¹ - Brunnenkopf JUNost-06 & JUNost-12 ⁰²

*Als Fremdwasser wird Wasser bezeichnet welches außerhalb des Filterbereichs unerwünscht ins Rohwasser gelangt

Für die detaillierte Dokumentation der Versuche (Methodik, Ergebnisse, Diskussion wird verwiesen auf:

⁰¹ Teilbericht Spandau

⁰² Teilbericht Jungfernheide

⁰³ Teilbereich Tiefwerder

Kapitel 3

Quellen, Eintragspfade und Gefährdungsereignisse

Analog zum Water-Safety-Plan-Konzept werden die Ergebnisse der Feldversuche und die im Projektverlauf mit der BWB-internen Arbeitsgruppe diskutierten Hypothesen im Folgenden hinsichtlich ihres Gefährdungspotentials einer mikrobiellen Kontamination von Trinkwasserbrunnen bewertet. Dazu werden jeweils der Kenntnisstand und die Untersuchungsergebnisse kurz zusammengefasst und unter folgenden Fragestellungen betrachtet:

1. Wie können Keime in das Brunnenwasser von Vertikalfilterbrunnen gelangen (Quelle, Pfad & Gefährdungsereignis)?
2. Wie ist die Eintrittswahrscheinlichkeit zu bewerten?

3.1 Eintrag übers Grundwasser

Die Grundwasserneubildung erfolgt natürlich über die Versickerung von Niederschlägen und künstlich angereichert durch die Uferfiltration von Oberflächenwasser oder die Anreicherung aus Infiltrationsbecken (GWA). Dementsprechend wird im Folgenden zwischen den für den Eintrag von mikrobiellen Kontaminationen relevanten Eintragspfaden Uferfiltrat und Sickerwasser unterschieden.

3.1.1 Eintragspfad Uferfiltrat

Kenntnisstand

Das Reinigungsvermögen der Uferfiltratpassage gegenüber hygienisch relevanten Bakterien hängt im Wesentlichen von der Aufenthaltszeit im Untergrund, der Fließgeschwindigkeit, den Redoxbedingungen und dem Rückhaltevermögen des Sediments ab. Vor allem erstgenannte Faktoren werden wesentlich von den klimatischen Bedingungen mitbestimmt.

Auf Erfahrungswerten und wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhend, geht man bei der Trinkwassergewinnung davon aus, dass nach 50 Tagen Aufenthaltszeit keine Keime in 100 mL Probe nachgewiesen werden können (vgl. Abschnitt 2.3 und Teilbericht Tiefwerder). Bei einer Unterschreitung dieses Richtwertes ist eine mikrobielle Verunreinigung nicht auszuschließen. Das Reinigungsvermögen für Bakterien während der Uferfiltratpassage liegt dabei gemäß im Rahmen des Projektes IC-NASRI ausgewerteter Literaturdaten im Bereich von 5 bis 8 Log-Entfernungsstufen (vgl. Bild 1 und Anhang 2).

Untersuchungen zu möglichen Kontaminationsquellen

Als Standort für die Untersuchungen der Uferfiltratpassage wurde Brunnen TIEschi03 gewählt, der zum Zeitpunkt des Havelhochwassers im Sommer 2011 positive bakteriologische Befunde aufwies. Die Feldversuche beinhalteten eine bakteriologische Beprobung des Oberflächenwassers im infiltrationswirksamen Uferbereich der Havel, des Uferfiltrats zwischen Infiltration und Entnahme über eine Grundwassermessstelle, sowie des Rohwassers am Brunnen.

Als Quellen für eine mögliche Kontamination des Rohwassers über den Eintragspfad der Uferfiltratpassage konnten coliforme Keime in der Gewässersohle und im Havelwasser identifiziert werden. Die zum Zeitpunkt der Untersuchungen im November 2012 gemessenen Keimgehalte in der Gewässersohle lagen bei 10^5 KBE/ m² (für die oberen 0,1m der Kolmationsschicht), die des infiltrierenden Havelwassers bei mindestens 10^6 KBE/ m³ (berechnet aus dem Ergebnis für 100 mL unverdünnte Probe). Befunde der Badegewässerkontrollen an der Unterhavel zeigten im Zeitraum von April bis Oktober 2011 maximale Coliformengehalte von bis zu 10^8 KBE/ m³.

Die Ergebnisse der Wasserbeprobungen entlang der Uferfiltratpassage von der Havel bis zum Brunnen TIEschi03 im November 2012 zeigten eine Eliminierung coliformer Keime während der gesättigten Uferfiltratpassage bis unter die Nachweisgrenze von 0 KBE/ 100mL. Die im Oberflächenwasser der Havel gemessene bakterielle Belastung (>200 KBE/ 100 mL ohne Verdünnung) war weder im Uferfiltrat noch im Brunnen nachweisbar. Die Reduktion steht damit nicht im Widerspruch zu publizierten Werten von 5-8 Log-Entfernungsstufen (vgl. Anhang 2).

Gefährdungseignisse

Die zum Zeitpunkt der Probenahme im November 2012 vorliegenden klimatischen und hydraulischen Bedingungen wie auch die Keimbelastung des Oberflächengewässers entsprachen vermutlich den für Berlin saisonal-typischen Werten. Im Vergleich zum Spätherbst 2012 wurden im Zeitraum April bis Oktober 2011 bei Badegewässeruntersuchungen der Unterhavel coliforme Bakterien im Bereich von <30 bis >11.000 KBE/ 100mL und *E.coli* von <15 bis 20.000 KBE/ 100mL nachgewiesen. Unter Annahme der aus der Literaturstudie im Rahmen von IC-NASRI ermittelten Entfernungsrates von minimal 5 und maximal 8 Log-Entfernungsstufen (vgl. Bild 2) könnte es demnach ausgehend von den oben beschriebenen, für Berlin saisonal-typischen Bedingungen bei einer Aufenthaltszeit von weniger als 16 Tagen vom Oberflächengewässer zum Brunnen zum Eintrag von coliformen Keimen ins Rohwasser kommen (Bild 6, vgl. auch Teilbericht Tiefwerder). Die minimale Aufenthaltszeit des Uferfiltrats beträgt bei allen Brunnen der BWB ein Vielfaches dieser 16 Tage.

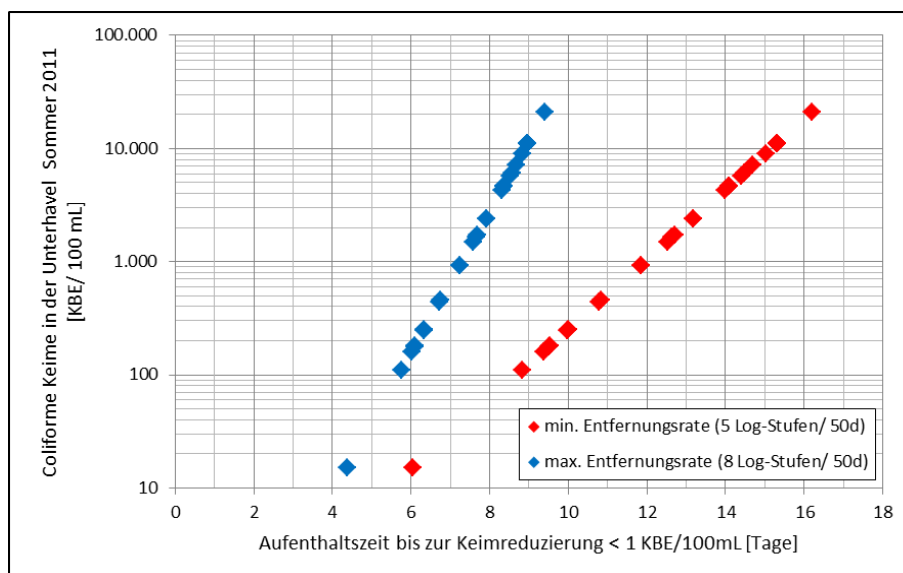


Bild 6: Aufenthaltszeiten von coliformen Keimen bis zur vollständigen Elimination (<1 KBE/ 100mL) während der Uferfiltratpassage in Abhängigkeit der Ausgangsbelastung im Oberflächenwasser (Badegewässerdaten der Unterhavel; Quelle: BWB). Grundlage für die Berechnung der unterschiedlichen Eliminierungsrates bilden IC-NASRI-Daten (vgl. Teilbericht Tiefwerder).

Eine signifikante Verringerung der Aufenthaltszeit kann i) aus einer Erhöhung der hydraulischen Gradienten durch eine Verkürzung der Fließstrecke oder einem Pegelanstieg des Oberflächengewässers, sowie ii) aus der Erhöhung der Durchlässigkeiten durch die Entfernung der Kolmationsschicht resultieren. Diese Faktoren können sich infolge von Extremwetterereignissen in relevanten Größenordnungen ändern. Ausgehend von den Hoch- und Niedrigwasserständen der Havel (maximale Schwankungsbreite 1,5 m) können sich am untersuchten Standort die minimalen Aufenthaltszeiten um bis zu 25 % reduzieren. Ausgehend von einer minimalen Aufenthaltszeit von 50 Tagen verringert sich demnach die Aufenthaltszeit des Uferfiltrats im ungünstigsten Fall auf 38,5 Tage.

Bei einer Entfernung der Kolmationsschicht könnte sich durch die Erhöhung der hydraulischen Durchlässigkeit die Aufenthaltszeit signifikant um bis zu 60% verkürzen, bei einem gleichzeitigen Havelhochwasser sogar um bis zu 70 %.

Diese Abschätzung erfolgte unter Annahme eines homogenen Grundwasserleiters mit für Berlin typischen Durchlässigkeiten, Abständen und Förderraten für einen Brunnen (vgl. Teilbericht Tiefwerder). Bezogen auf Tiefwerder müssen diese Ergebnisse jedoch mit Vorsicht betrachtet werden, da der abdichtende Geschiebemergel in den Berechnungen noch nicht berücksichtigt werden konnte. Im Vergleich zur Untergrundpassage können somit vor allem Undichtigkeiten des Brunnenbauwerks (Brunnenkopfdichtung am Brunnen TIEschi03, vgl. Teilbericht Tiefwerder) die minimalen Aufenthaltszeiten je nach Standort durch Herstellen eines hydraulischen Kurzschlusses und direkten Zutritt des Wassers zum Brunnen deutlich verkürzen (< 50 Tage).

Bewertung

Die Untersuchungen zur mikrobiellen Reinigungswirkung bei der Untergrundpassage am Standort Tiefwerder ergaben keine Hinweise auf eine eingeschränkte Wirksamkeit der naturnahen Aufbereitung des Oberflächenwassers durch die Uferfiltration unter den vorliegenden Versuchsbedingungen. Auf Basis der vorliegenden Daten (vgl. Abschnitt 2.2 und Teilbericht Tiefwerder) und der geologischen und baulichen Eigenschaften am untersuchten Brunnenstandort (Bedeckung mit Geschiebemergel, Tiefenlage der ersten Filterstrecke) kann unter für Berlin typischen klimatischen und betrieblichen Bedingungen von einer ausreichenden Verzögerung der Aufenthaltszeit ausgegangen werden. Selbst bei einer signifikanten Änderung der Infiltrationsbedingungen aufgrund fehlender Kolmation der Gewässersohle, Hochwasser oder erhöhter Förderleistungen der Brunnen ist ein Unterschreiten der minimal nötigen Aufenthaltszeit unwahrscheinlich.

Generell kann an Standorten ohne überlagernde Geschiebemergel ein Aufreißen der Kolmationsschicht bei Hochwasser oder ein grundsätzliches Fehlen der Kolmation zu einer Unterschreitung der minimalen Verweildauer führen. Da unter Berliner Verhältnissen mit sehr langsamen Fließgeschwindigkeiten in uferfiltratrelevanten Gewässerabschnitten weder Hochwasserereignisse noch andere Umwelteinflüsse eine Ausräumung der Kolmationsschicht verursachen können, ist auch unter den prognostizierten klimatischen Veränderungen nicht von diesem Szenario auszugehen.

Solange das Brunnenbauwerk als Barriere intakt ist und ein Fremdwasserzutritt vermieden wird, kann damit von einer ausreichenden Elimination ausgegangen werden. Anthropogene Aktivitäten die zu einer Störung der Kolmationsschicht führen, sollten trotzdem vermieden werden, um die ausreichende Aufenthaltszeit bei der Untergrundpassage zu gewährleisten. Sollten Hochwasser- oder Überflutungsereignisse auftreten wird dennoch empfohlen, die Förderung im Bereich der betroffenen Galerieabschnitte zu reduzieren, um den hydraulischen Fließgradienten nicht zusätzlich zu erhöhen.

3.1.2 Eintragspfad Sickerwasser

Kenntnisstand

Der vertikale Transport des Sickerwassers in der ungesättigten Bodenzone erfolgt rein gravitativ und ist damit im Gegensatz zum konvektiven Transport in der gesättigten Zone um bis zu mehrere Größenordnungen langsamer. Die Verweilzeiten von Sickerwasser in Berlin liegen in den Trinkwasserschutzgebieten i.d.R. im Bereich von Jahren bis Jahrzehnten (Umweltatlas 2004). Die Überlebensdauer von Bakterien im ungesättigten Oberboden liegt bei ca. 50 Tagen (Nennich, Harrison et al. 2005; Sun, Luo et al. 2006). Eine kontinuierliche Beaufschlagung des Bodens mit Wasser, wie es bei Überflutungen durch Hochwasser oder Starkregen der Fall ist, kann die Überlebensdauer coliformer Keime im Oberboden jedoch erheblich erhöhen (>100 Tage) (García-Orenes, Roldán et al. 2007).

Desweiteren führt eine Aufsättigung des Bodens durch ansteigendes Grund- oder versickerndes Oberflächenwasser und den daraus resultierenden erhöhten hydraulischen Gradienten, bzw. erhöhten Versickerungsraten zu verkürzten Verweilzeiten in der vertikalen Bodenpassage, die das Reinigungsvermögens der ungesättigten Bodenzone beeinträchtigen. Aufgrund der inhomogenen Schichtenabfolge mit lokal geringdurchlässigen Ablagerungen kann auch das (saisonale) Vorhandensein von Schichtenwasser die Verweilzeit des Wassers in der ungesättigten Zone verkürzen. Zusammen mit potentiell vorhandenen Undichtigkeiten des Brunnenbauwerks entlang der vertikalen Bodenpassage kann daraus ein kritisches Unterschreiten der minimal notwendigen Fließzeit des Wassers im Untergrund resultieren.

Untersuchungen zu möglichen Kontaminationsquellen

Boden

Für die Untersuchung des Bodens als Kontaminationsquelle wurden Sediment-Bohrkerne aus der ungesättigten Bodenzone gewonnen und mikrobiologisch analysiert. Dazu wurden an zwei Brunnenstandorten, an denen es zu bakteriologischen Auffälligkeiten kam, insgesamt fünf Sondierungen durchgeführt.

In Tiefwerder-Schildhorn wurden im Rahmen der Beprobungskampagne im November 2012 Sedimentproben von der Gelände- bis zur Grundwasseroberfläche entlang eines Profils vom Havelufer bis zum Brunnen (TIEschi03) entnommen und Keimzahlen für Coliforme und *E.coli* bestimmt. In Spandau-Süd wurden im näheren Umfeld eines Brunnens (SPAsued10) im Mai 2012 Sedimentproben aus dem Oberboden entnommen und auf ihre Coliformengehalte analysiert (vgl. Teilberichte Spandau und Tiefwerder).

An beiden Standorten konnten coliforme Bakterien im Oberboden mit Konzentrationen bis >200 KBE/ 0,5 g identifiziert werden. Zudem wurden auf der Bodenoberfläche vereinzelt *E.coli* festgestellt (Bild 7). In den tiefer gelegenen Bodenbereichen lagen die Keimzahlen unterhalb der Nachweisgrenze bei 0 KBE/ 0,5 g. Lediglich im Waldboden konnten bis in Tiefen von 0,8 Meter geringste Vorkommen (1 KBE/ 0,5 g) von Coliformen nachgewiesen werden.

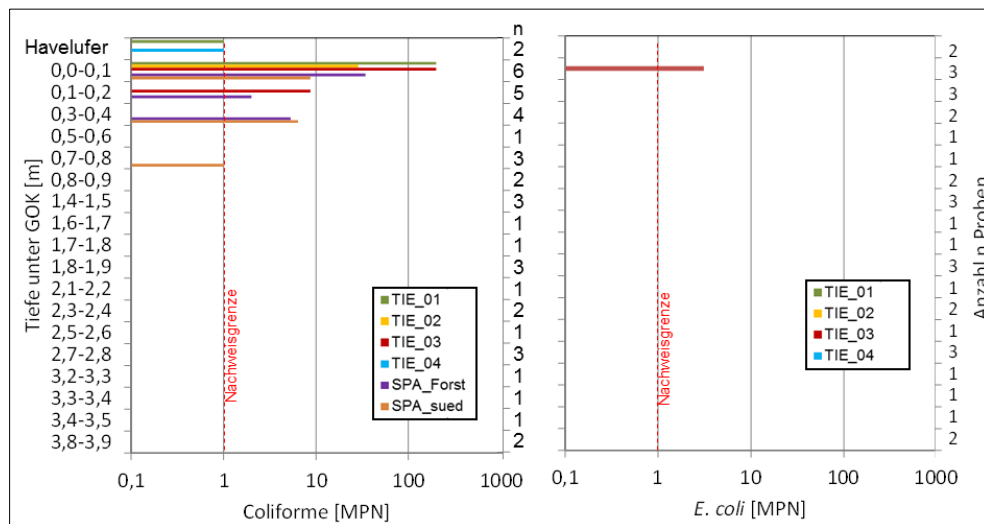


Bild 7: Coliforme Bakterien (links) und *E.coli* (rechts) in Abhängigkeit von der Entnahmetiefe an den Standorten Tiefwerder Schildhorn (TIE) und Spandau Süd (SPA). Die Analyse erfolgte mittels Colilert®-18 mit 0,5 g Sedimentprobe.

Die oberflächennahen Befunde können auf die natürliche Belastung des Oberbodens mit Umweltkeimen zurückgeführt werden. Die Keimreduktion mit zunehmender Tiefe entspricht den Abbauprozessen im Boden mit der aktivsten Zone in den oberen Bodenmetern (Malkawi and Mohammad 2003, Sun et al. 2006, Marino and Gannon 1991).

Da die Kernbohrungen nur Stichproben darstellen, ist nicht völlig auszuschließen, dass eine unbekannte Punktquelle im Boden nahe den betroffenen Brunnen bei einem hydraulischen Kurzschluss Keime in die z.T. unbedeckten Grundwasserleiter freisetzen können. Batch-Versuchen zufolge können bei der Verwesung einer Schnecke coliforme Keime in einer Größenordnung von 10^{12} KBE freigesetzt werden (vgl. Bild 12, hier bezogen auf 1 L Wasserprobe). Damit könnte 1 Million Kubikmeter Wasser mit bis zu 100 Keimen pro 100 ml kontaminiert werden.

Für den Befund am untersuchten Standort Spandau-Süd erwies sich dieses Szenario als relativ unwahrscheinlich, da ergänzende Untersuchungen an weiter entfernten Brunnen ebenfalls bakteriologische Belastungen nachweisen konnten (vgl. Teilbericht Spandau).

Regenentwässerung/ Abwasserleitungen

Unterirdische Regenentwässerungen und Abwasserleitungen stellen eine mögliche Quelle für bakterielle Belastungen der Bodenzone dar, da es sich um offene Systeme handelt und an deren Eintrittsstellen zusammen mit dem Regenwasser auch Kot von Tieren usw. eindringen kann. So verlaufen am Standort Spandau alte Heberleitungen entlang des betroffenen Galerieabschnittes von denen eine zur Regenentwässerung genutzt wird.

Inwieweit die alten Heberleitungen als Quelle der coliformen Keime am Standort Spandau in Frage kommen, wurde durch Kamerabefahrungen, Dichtigkeitsprüfungen und die bakteriologische Beprobung beider Leitungen abgeklärt (vgl. Teilbericht Spandau). Die als Regenentwässerungskanal genutzte obere Heberleitung wies bis auf einen hinter dem Brunnen SPAsued10 gelegenen Wurzelschaden keine Undichtigkeiten auf. Die mikrobiologische Untersuchung mit dem Colilert®-18 ergab mit $>200,5$ KBE/ 100 mL coliforme Keimzahlen, wie sie für Regenentwässerungen nicht ungewöhnlich sind. Die Keimzusammensetzung entsprach jedoch nicht derjenigen des betroffenen Brunnens. In den Proben aus der unterhalb des Regenentwässerungskanals verlaufenden tieferen Heberleitung wurden keine vermehrungsfähigen coliformen Keime nachgewiesen. Die bakteriologische Analyse von Boden- und Wasserproben, die aus einer zwischen Heberleitung und Brunnen errichteten Bohrung entnommen wurden, konnte weder in den Bodenschichten noch im Grundwasser vermehrungsfähige coliforme Keime nachweisen. Dies stützt die Annahme, dass die Heberleitungen nicht Quelle der coliformen Keime im betroffenen Brunnen sind.

Bekannte anthropogene Belastungen

Das parallele Auftreten von bakteriologischen und chemischen Kontaminationen kann als Hinweis auf eine anthropogene Quelle der Belastungen gesehen werden. In der Galerie Spandau-Süd sind Brunnen in Spuren mit dem Lösungsmittel 1,2-Dichlorpropan (1,2-DCP) belastet, welches in Kleingärten u. a. in Pestiziden verwendet wurde bzw. vielleicht noch wird.

Inwieweit ein Zusammenhang zu den bakteriologischen Befunden in Form einer gemeinsamen Quelle bestand, wurde von den BWB in einer weiteren Bohrung in östlicher Richtung untersucht. Des Weiteren wurden die Wasserproben aus den Heberleitungen sowie der Dachablauf des Wasserwerksgebäudes parallel zur bakteriologischen Analyse auf 1,2-DCP untersucht. 1,2-DCP wurde in keiner der analysierten Proben nachgewiesen. Auch die betroffenen Brunnen zeigten in nachfolgenden chemischen Untersuchungen keine auffällig hohen Werte mehr. Coliforme Keime wurden wie in den anderen Analysen nur in den oberen Bodenschichten der Bohrung nachgewiesen.

Untersuchungen zu den Gefährdungsereignissen

Starkregen/Überflutung

Eine systematische Überprüfung von verkürzten vertikalen Fließwegen zu Brunnen wurde anhand von Infiltrationsversuchen an Brunnen im Wasserwerk Jungfernheide durchgeführt.

Dazu wurden an zwei repräsentativen Vertikalfilterbrunnen die Infiltrationsraten mit einem Ringinfiltrometer im direkten Brunnenumfeld ermittelt (vgl. Teilbericht Jungfernheide).

Unter der Annahme einer vollständigen Aufsättigung errechneten sich für die beiden Brunnen mit einem Flurabstand von etwa 5 m aus den Infiltrationsversuchen theoretische minimale Verweilzeiten von 4,3 bzw. 0,8 Stunden. Berücksichtigt man eine für den Standort mit glazio-fluviatilen Ablagerungen typische Durchlässigkeitsanisotropie im Bereich einer Größenordnung ergeben sich Verweilzeiten von 8 bis 40 Stunden. Damit ist die Verweilzeit unter gesättigten Verhältnissen deutlich kürzer als unter ungesättigten Verhältnissen (>1 Jahr).

Aus den durchgeführten Markierungsversuchen konnten ferner Verdünnungsfaktoren für unterschiedliche Eintrittspfade berechnet werden (vgl. Teilbericht Jungfernheide). Demnach kann unter bestimmten Bedingungen, wie

- (i) einer Aufsättigung der Bodenzone,
- (ii) dem Fehlen einer Ringraumabdichtung und/oder
- (iii) undichten Außenpegeln

eine punktuelle Kontamination im Oberboden des Brunnennahbereichs für einen positiven Befund im Rohwasser des Brunnens ausreichen (Bild 8).

Ausgehend von der Keimfreisetzung infolge der Zersetzung einer Schnecke im Oberboden im Größenordnungsbereich von 10^{11} (vgl. Bild 12, hier bezogen auf 100 mL), kommt es bei der vertikalen Verlagerung in der Bodenzone über infiltrierendes Regenwasser zur Verdünnung und zum Abbau der Kontamination. Bei ungesättigten Infiltrationsverhältnissen (Bild 8 links) werden die Keime aufgrund langer Verweilzeiten (>1 Jahr) bereits im Oberboden nahezu vollständig zurückgehalten. Bei gesättigten Verhältnissen (Bild 8 rechts) führen stark verkürzte Verweilzeiten (<1 Tag) zur Verlagerung von Keimen ins Grundwasser.

Infolge von hydraulischen Kurzschlüssen, beispielsweise über einen ungeschützten Ringraum (fehlende Tonsperre), kann es innerhalb von Tagen zum Eintrag bakteriologisch belasteter Sickerwässer in den Brunnen kommen. Im Rohwasser selbst sind aufgrund der zusätzlichen Verdünnung im Grundwasser und Brunnen nur sehr geringe Keimgehalte zu erwarten.

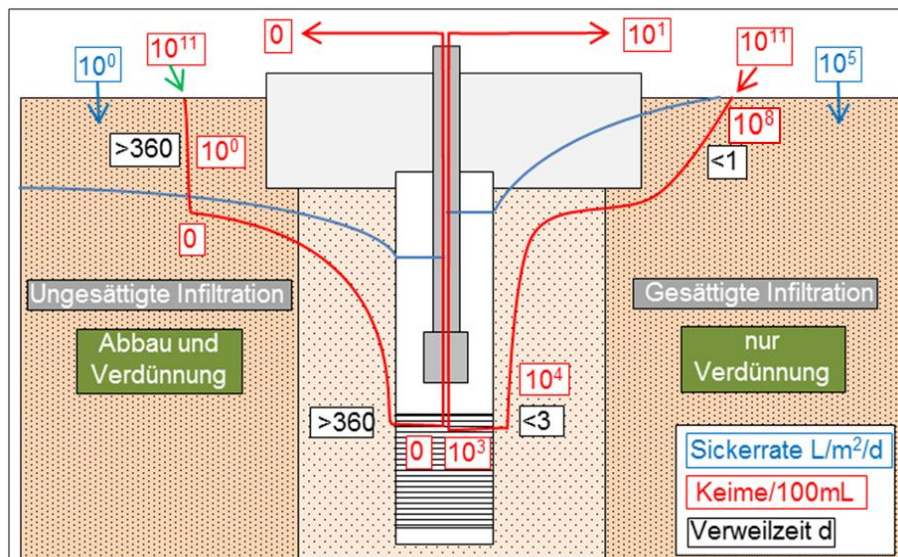


Bild 8: Verweilzeiten und Keimbelastungen in Sicker-, Grund- und Rohwasser unter gesättigten (links) und ungesättigten (rechts) Infiltrationsbedingungen ausgehend von einer Kontaminationsquelle im Oberboden des Versuchsstandortes JUNost-06 (ohne Tonsperre). Die Sickeraten wurden aus Versuchen abgeleitet. Die angegebenen Keimzahlen beruhen auf der Freisetzung von Keimen bei der Zersetzung einer Schnecke im Oberboden (vgl. Teilbericht Spandau) und der Verdünnung entlang des Fließpfades berechnet aus den Ergebnissen der Markierungsversuche (vgl. Teilbericht Jungfernheide).

Tiergänge

Anhand der Infiltrationsversuche am Standort Jungfernheide konnte auch der Einfluss von tierischen Grabgängen auf die Verweildauer untersucht werden. Maßgeblichen Anteil an der Differenz der Infiltrationsraten zwischen beiden Brunnenstandorten hatten Tiergänge, die sich auf der Infiltrationsfläche des Standortes ohne Tonsperre befanden. Dies führte zu stark verkürzten Infiltrationszeiten unter anfangs ungesättigten Versuchsbedingungen. Die Wiederholung des Infiltrationsversuches unter gesättigten Bedingungen nach tagelanger Beaufschlagung mit Wasser ergab eine deutlich verzögerte Infiltrationszeit von 2,5 Stunden (Bild 9). Die höhere Verweilzeit kann aus der Aufsättigung der Tiergänge und/oder ihrer Zerstörung durch die Infiltration resultieren. Da die höheren Infiltrationsraten an dem Standort mit den aus der Korngrößenverteilung ermittelten geringeren hydraulischen Durchlässigkeiten auftraten, kann durchaus von einer relevanten Beeinflussung der Verweilzeiten durch vorhandene Tiergänge ausgegangen werden.

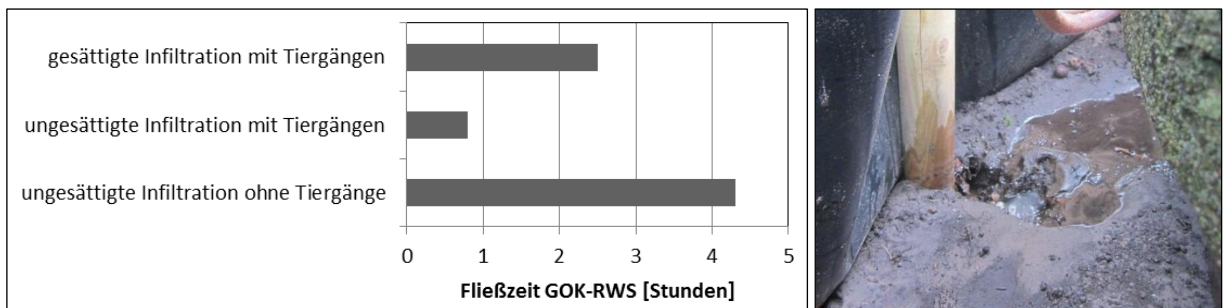


Bild 9: Minimale Fließzeiten von infiltrierendem Oberflächenabfluß bis zum Erreichen des Ruhewasserspiegels am Standort Jungfernheide basierend auf dem Kolben-Fluß-Modell unter Annahme eines gesättigten Transports (links). Beispiel der ungesättigten Infiltration mit Tiergängen auf der Infiltrationsfläche (rechts).

Altbrunnen

Nach DVGW-Arbeitsblatt W 135 sind Brunnen, die nicht mehr betrieben und gewartet werden zur Vermeidung von Wasserwegsamkeiten entsprechend den wasserrechtlichen Bestimmungen zurückzubauen. Dies umfasst den grundwasserleitergerechten Rückbau oder das komplette Verfüllen der Altbrunnen. Der sachgemäße Rückbau von Altbrunnen dient dabei vor allem der Sicherung des Grundwasserschutzes. Durch Wegsamkeiten in Altbrunnen kann die Verweilzeit von Sickerwasser bei der Bodenpassage deutlich herabgesetzt werden. Insbesondere um Kontaminationen bei Hochwasserereignissen auszuschließen ist der sachgemäße Rückbau von Altbrunnen essentiell, um den Eintrag bakteriologisch belasteter Wässer ins Grundwasser zu verhindern.

Am Standort Spandau-Süd befindet sich ein rückgebauter Heberbrunnen in unmittelbarer Umgebung des betroffenen Brunnens. Um einen potentiellen hydraulischen Kurzschluss über den Altbrunnen zu ermitteln, wurde ähnlich wie zum Zeitpunkt der positiven Befunde der relevante Bereich der Brunnengalerie über einen Zeitraum von 14 Tagen kontinuierlich mit Rohwasser geflutet. Da jedoch in der Folge keine weiteren positiven Befunde auftraten, kann ein Eintrag belasteter Wässer über den alten Heberbrunnen weitgehend ausgeschlossen werden.

Schachtbau

Beim Schachtbau von Brunnen wird die natürliche Lagerung des Bodens im direkt angrenzenden Bereich um den Schacht gestört. Durch eine Auffüllung mit Bohrgut erhöht sich insbesondere die vertikale Durchlässigkeit entlang des Schachtes, wodurch die Verweilzeiten bei der Bodenpassage verringert werden. Im Falle einer Aufsättigung des Bodens bestehen präferierte Fließwege, die den Eintrag von bakteriologisch belasteten Wässern ins Grundwasser beschleunigen können. In Verbindung mit Fremdwassereintritten können sich so die verkürzten Verweilzeiten erheblich auf die Rohwasserqualität auswirken.

Bewertung

Durch eine Aufsättigung der ungesättigten Bodenzone infolge eines Überflutungsereignisses, wie im Frühjahr 2011 am Standort Tiefwerder, können bakteriologische Belastungen aus dem Oberboden in relativ kurzen Zeiträumen konvektiv nach unten verlagert werden. Die Verweilzeiten können sich von mehreren Monaten bis zu mehreren Jahren unter ungesättigten Bedingungen auf nur noch mehrere Stunden unter gesättigten Bedingungen verkürzen. Dies trifft vor allem dort zu, wo Flurabstände gering sind und hydraulische Barrieren, wie geringleitende Sedimentschichten, im Untergrund fehlen.

Die anhand der Infiltrationsversuche ermittelten Versickerungsraten lassen den kurzfristigen Zutritt von infiltrierendem Regenwasser ins Grundwasser möglich erscheinen, insbesondere wenn Tiergänge im direkten Brunnumfeld vorhanden sind.

Dies gilt jedoch unter der Annahme einer vollständigen Aufsättigung des Bodens oberhalb des Grundwasserspiegels, welches kaum durch lang anhaltende Starkregenereignisse, sondern höchstens durch längerfristige Überflutungsszenarien verursacht werden kann. Unter den am Standort Berlin gegebenen klimatischen Bedingungen erscheint ein Fremdwasserzutritt in den Filterbereich des Brunnens aus zu schnell infiltrierendem Sickerwasser daher als wenig plausibel. Auch eine Aufleitung von Abschlagswasser im Rahmen von Baumaßnahmen an den Brunnen ist nicht als alleiniger Faktor für ein grundsätzlich erhöhtes Risiko anzusehen, sofern die Filterlagen der Brunnen in ausreichendem Abstand zur Grundwasseroberfläche liegen und eine Verkürzung der Fließwege durch Grabbauten sowie eine unsachgemäße oder alterungsbedingt veränderte Verfüllung von Altbrunnen und den Schachtgruben der Brunnen ausgeschlossen werden können.

Grundsätzlich wird eine Anböschung der Brunnen empfohlen, um sich im direkten Brunnumfeld stauendes (aufgeleitetes) Wasser von den Brunnen wegzuführen.

3.2 Brunnenbauwerk

3.2.1 Fremdwasser

Kenntnisstand

Um das Rohwasser und somit das Berliner Trinkwasser vor mikrobiellen Verunreinigungen zu schützen, müssen Brunnendichtigkeit und die Wirksamkeit der Untergrundpassage gewährleistet sein. Versagt eine der beiden Barrieren ist die hygienische Unbedenklichkeit nicht mehr gegeben. Der Term "Rohwasser" bezeichnet dabei das im Filterbereich eines Brunnens erwünscht, aus dem Grundwasserleiter, eingetretene Grundwasser. Zutritte in den darüber liegenden Bereichen (Vollrohr, Schachtbauwerk) sind unerwünschte Fremdwasserzutritte, denen ein Versagen der technischen Barrieren zugrunde liegt.

Untersuchungen zu den Gefährdungsereignissen

Bauliche Eigenschaften

Die Auswertung der Befundquote bei Jahresuntersuchungen und nach Baumaßnahmen zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen Brunnen verschiedener Bauformen oder verschiedenen Brunnenalters. Obwohl das Brunnenalter der Berliner Brunnen mit 60 Jahren einen relativ großen Zeitraum umfasst und die Brunneneigenschaften zahlreiche technische Entwicklungen und Verbesserungen der technischen Barrieren (Vollrohr-/ Filterrohrmaterial, Art und Mächtigkeit der Tonsperre, Tiefe der ersten Filteroberkante) widerspiegeln, konnte kein bestimmter Bautyp als besonders anfällig für bakteriologische Kontaminationen identifiziert werden (vgl. Teilbericht Datenanalyse).

Brunnenkopfdichtung

Am Standort Tiefwerder Schildhorn (Brunnen TIEschi03, vgl. Teilbericht Tiefwerder) kam es bei Hochwasser nachweislich zu einem Fremdwassereintritt über eine defekte Brunnenkopfdichtung. Der Defekt wurde jedoch erst relevant nachdem sich durch erhöhte Fließgeschwindigkeiten die Fließzeiten bei der Untergrundpassage deutlich verkürzten und so coliforme Keime über die defekte Brunnenkopfdichtung in den Brunnen eingetragen wurden.

In den nachfolgenden BWB-internen Untersuchungen wurden alle Brunnen geprüft und ggf. die Dichtheit der Vollrohrverbindungen und/ oder des Brunnenkopfes hergestellt sowie ein neuer Standard der Brunnenkopfdichtung festgelegt.

Tonsperre

Die Tonsperre übernimmt eine wesentliche Barrierewirkung beim Zutritt von Fremdwasser in den Brunnen und das Rohwasser. Durch die Abdichtung des Ringraums oberhalb des Brunnenfilters wird einer Verkürzung der Fließzeit durch ein präferiertes Fließen im Ringraum entgegengewirkt. Der Einfluss der Tonsperre auf die Fließzeiten wurde mithilfe von Markierungsversuchen am Standort Jungfernheide untersucht (vgl. Teilbericht Jungfernheide).

Unter gesättigten Infiltrationsbedingungen konnte am Brunnen ohne Tonsperre der Markierungsstoff bereits nach 3 Tagen im Grundwasser an der Filteroberkante nachgewiesen werden. Die Verdünnung des Markierungsstoffes entsprach dabei 7 Log-Stufen. Im Rohwasser des Brunnens mit Tonsperre konnte in einem Zeitraum von 50 Tagen nach der Zugabe des Markierungsstoffes kein Durchbruch gemessen werden.

Durch eine durchgehende Abdichtung kann der Zutritt von Fremdwasser über undichte Vollrohre verhindert werden. Abdichtungen, die direkt unterhalb des Brunnenschachtes abschließen, könnten auch die Gefährdung eines Fremdwassereintrittes über eine defekte Brunnenkopfdichtung stark verringern. Dies zeigten vergleichende Modellrechnungen (Bild 10).

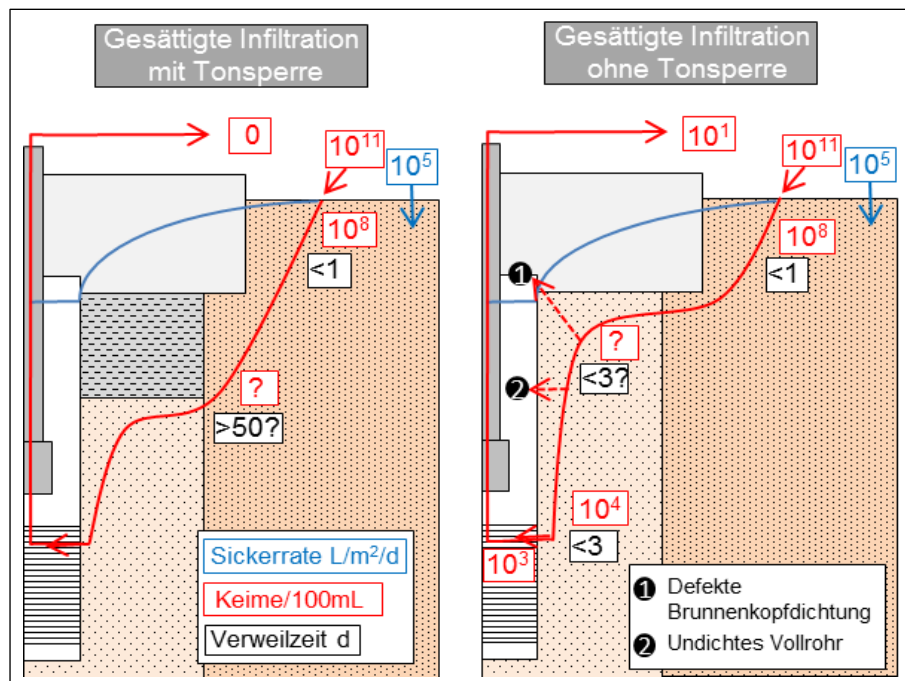


Bild 10: Vergleich von Verweilzeiten und Keimgehalten bei der Untergrundpassage in Abhängigkeit der Ringraumabdichtung unter gesättigten Infiltrationsbedingungen („worst case“).

Außenpegel

Auch undichte Pegelaufsatzohre können zu einem hydraulischen Kurzschluss in der Ringraumschüttung führen und so die Ringraumabdichtungen unwirksam machen. Zur qualitativen Abschätzung möglicher unerwünschter Fremdwasserzutritten entlang der Pegelrohre in die Brunnen und das Rohwasser dienten ebenfalls die Markierungsversuche an zwei repräsentativen Vertikalfilterbrunnen mit verschiedenen baulichen Merkmalen (Tonsperre, mechanische oder chemische Dichtung zwischen Brunnenkopf und Brunnenschacht).

Die Versuchsergebnisse zeigten während des beobachteten Zeitraumes von 14 bzw. 50 Tagen keinen eindeutigen Durchbruch des Markierungsstoffes Uranin im Rohwasser der Brunnen. Jedoch zeigten sich erhöhte Uraningehalte im Außenpegel, die auf ein Eindringen des Markierungsstoffes über undichte Stellen im Pegelaufsatzrohr deuten. Berechnungen zur Folge wären bei einer mikrobiellen Kontamination (10^8 KBE/100mL) über diesen Eintragspfad geringe Keimzahlen im Rohwasser nachzuweisen (Verdünnungsfaktor 10^8).

Da es sich bei den Vertikalfilterbrunnen am Standort Jungfernheide-Ost um veraltete Standardkonstruktionstypen der BWB handelt, ist die Übertragung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen nur bedingt auf andere Brunnen in Berlin möglich. Insbesondere das Fehlen der Ringraumabdichtung ist ein wesentlicher Unterschied zu den später errichteten Brunnen.

Bewertung

Die generelle Abwesenheit einer Ringraumabdichtung oder deren Undichtigkeit kann zu verkürzten Fließzeiten bei der Brunnenanströmung führen. Dagegen könnten im Fall von Fremdwasserzutritten über undichte Vollrohre oder defekte Brunnenkopfdichtungen durchgezogene Tonsperren eine zusätzliche Barriere für mikrobielle Kontaminationen darstellen. Dies ist vor allem relevant, wenn durch Überflutungen bei Hochwasser oder Starkregen die Verweilzeit in der Bodenpassage durch die Aufsättigung und einen Grundwasseraufstieg herabgesetzt wird. Die regelmäßige Kontrolle der Dichtheit des Vollrohrs und des Brunnenkopfes sowie der Nachweis der gegenüber dem Neubau unveränderten Lage und Mächtigkeit der Tonsperre wird empfohlen.

Undichtigkeiten des Außenpegels sowohl innerhalb, als auch außerhalb des Brunnenschachtes können zusätzliche Wegsamkeiten für infiltrierendes Regen- oder Oberflächenwasser bieten, und damit als Eintragspfad für bakteriologische Kontaminationen dienen. Die Art und Bauweise der verbauten Pegelrohre stellt somit ein erhöhtes Risiko für die Sicherung der Trinkwasserqualität dar. Daher kann der Beschluss der BWB zum Rückbau, respektive zur Verfüllung bestehender Außenpegel aus Sicht der Qualitätssicherung befürwortet werden.

3.2.2 Direkte Kontamination/ Offener Brunnen

Kenntnisstand

Öffnungen an den Brunneninstallationen und jedes Arbeiten an Brunnen, bei dem Material von außen mit dem Rohwasser in Kontakt kommt, bergen das Risiko bakteriologischer Kontaminationen des Brunnens von außen.

BWB-interne Auswertungen und die deskriptive Datenanalyse in RIKO-1 zeigten, dass trotz hoher hygienischer Standards, die die Desinfektion von Gerätschaften und Lagerung von Materialien betreffen, die Befundquote nach Baumaßnahmen grundsätzlich mindestens 50% über der Befundquote bei Untersuchungen im Routinebetrieb liegt (vgl. Teilbericht Datenanalyse).

Untersuchungen zu den Kontaminationsquellen

Einbringen von Gerät oder Material am Beispiel der Manschetten

In Forschungsprojekten zum Kontaminationspotential von Biofilmen im Trinkwasserverteilungsnetz (Flemming, Grobe et al. 2009) konnte gezeigt werden, dass EPDM (Ethylen-Propylen-Dien-Monomer), ein Material, welches als Kompressionsdichtung in Manschetten eingesetzt wird, mikrobiell verwertbare Substanzen abgibt. Bei Instandhaltungsmaßnahmen wurden an Brunnen in Spandau mit späteren Coliformen-Befunden Manschetten dieses Bautyps gesetzt.

Inwieweit von den Manschetten ein erhöhtes Kontaminationspotential ausgeht, wurde durch Aufwuchsversuche mit Manschettenmaterial mit einem aus Spandau isoliertem Keim in Roh- und Leitungswasser untersucht (vgl. Teilbericht Spandau). Lediglich in unsterilem Rohwasser konnte eine deutliche Besiedlung mit Mikroorganismen nachgewiesen werden (Bild 11 links eine alte, rechts eine neue Manschette). Die Ergebnisse deuten an, dass unter den gegebenen aeroben Versuchsbedingungen der untersuchte Keim die Manschette nicht als Nährstoffquelle nutzen konnte.

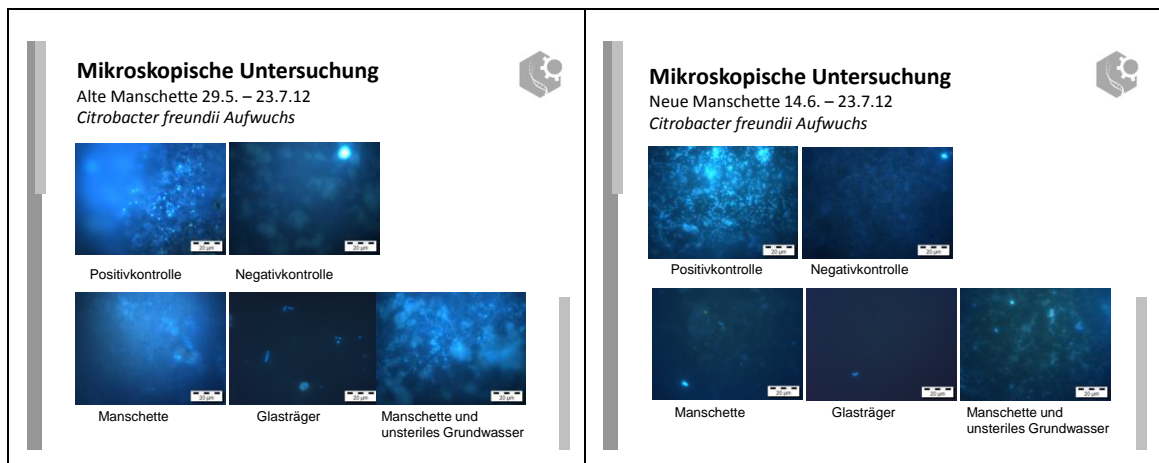


Bild 11: Ergebnis der Batchversuche mit Manschettenmaterial (links: gelagerte, rechts: fabrikneue Manschette) und sterilem und unsterilem Wasser [aus: Präsentation Oliver Thronicker, 09.08.2012]

Da die Manschetten selbst keine Keimquelle darstellen sondern nur ein Potential haben, eine bestehende oder anderweitig eingetragene Kontamination über die Bereitstellung von Nährstoffen zu fördern, wurden die zuvor in den Brunnen eingebauten Manschetten geborgen und im Labor auf eine Besiedlung mit coliformen Keimen untersucht (vgl. Teilbericht Spandau). An Stichproben des Manschettenmaterials konnten mittels Colilert®-18 keine vermehrungsfähigen coliformen Keime nachgewiesen werden. Mit den molekularbiologischen Tests auf den speziellen Keim konnten an der unteren Manschette, die sich auf Höhe des Filterbereichs befand, DNA-Spuren in geringer Menge nachgewiesen werden. Aufgrund der Abwesenheit vermehrungsfähiger Keime auf den untersuchten Manschetten wurden die Manschetten jedoch als Ursache der Positivbefunde am Standort Spandau ausgeschlossen.

Bei der deskriptiven Datenanalyse zeigten 21% der Brunnen bakteriologische Auffälligkeiten direkt nach dem Setzen der Manschette (vgl. Teilbericht Datenanalyse). Im Vergleich zu dem untersuchten Brunnen in Spandau wies die Mehrzahl der Brunnen jedoch weder so hohe Keimzahlen auf, noch hielten die Befunde so lange an.

Kleintiere im Brunnenschacht

Verwesende Kleintiere können über einen längeren Zeitraum als Quelle coliformer Keime im Trinkwasser dienen, wenn sie an sensiblen Stellen ins Versorgungsnetz eindringen (Fischer 2011). Dies gilt vor allem für Reinwasserbehälter, aber auch Brunnen können durch eindringende Kleintiere kontaminiert werden.

Da bei Undichtigkeiten des Brunnendeckels Kleintiere, wie Schnecken und Insekten, in die Brunnenstube gelangen können, wurden im Rahmen der Untersuchungen in Spandau vor Ort Proben genommen und mit dem Colilert®-18 sowie der PCR-Methode analysiert. Den Ergebnissen zufolge kommen insbesondere Asseln und Schnecken als Träger für die im Rohwasser identifizierten Keime in Frage (vgl. Teilbericht Spandau).

Weitere Laborversuche mit einer Schnecke bestätigten das massive Auftreten coliformer Keime innerhalb weniger Tage sowie Enterokokken-Befunde parallel zum Abklingen der coliformen Keime (Bild 12), wie sie z. B. auch an Brunnen SPAsued10 beobachtet wurden.

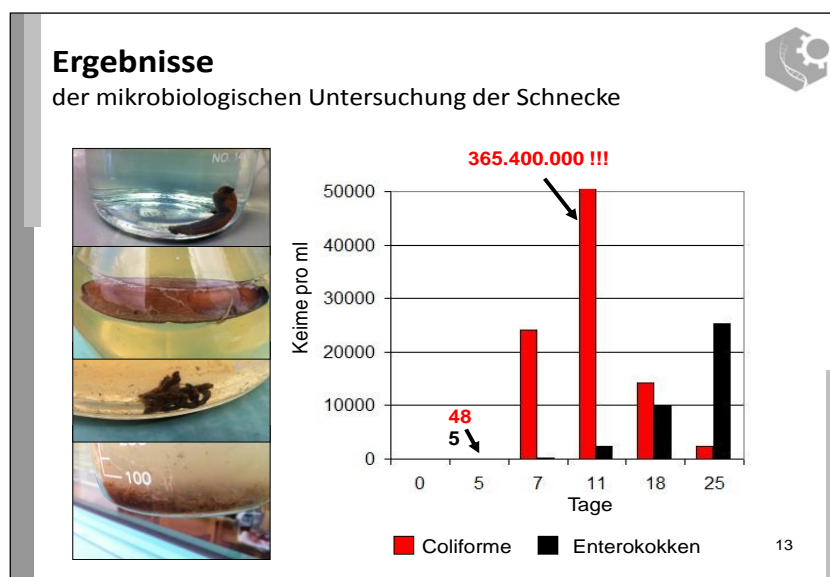


Bild 12: Ergebnisse des Laborversuchs zur Keimfreisetzung bei der Zersetzung einer Schnecke in Wasser [aus: Präsentation O. Thronicker, 09.08.2012]

Eigene Untersuchungen zu möglichen Gefährdungsereignissen

Offener Außenpegel am Beispiel der Druckausgleichsöffnung

Einen möglichen Eintragspfad ins Rohwasser stellen Durchlässe am Innen- und Außenpegel dar, über die Tiere oder ihre Exkremente in den Brunnen gelangen können. Da z.B. bei Untersuchungen der Kontamination des Brunnens SPAsued10 insbesondere der Außenpegel eine sehr hohe Anzahl Keime aufwies und der zeitliche Verlauf des Auftretens coliformer Keime und Enterokokken dem der Zersetzung im Laborversuch ähnelte, kann die Kontamination eines Brunnens oder Pegelrohres mit z. B. einer Schnecke als eine mögliche Ursache für bakteriologische Befunde an Brunnen angesehen werden. Die Druckausgleichsöffnung am oberen Ende der Pegelrohre stellt einen möglichen Eintrittspfad dar und macht den Verschluss (Kappe) unwirksam.

Wasser im Schacht

Der Brunnenschacht nimmt als hydraulische Barriere eine zentrale Rolle ein, jedoch sind bei einem Versagen aufgrund undichter Decken- oder Mauerdurchführungen weitere Barrieren in Form der Rohwasserinstallationen vorhanden. Bei Flutungen der Brunnenschächte im Rahmen der Vorversuche zu den Markierungsversuchen konnten keine relevanten Wasserverluste (Übertritt des Wassers aus dem Schacht in den Brunnen) festgestellt werden, die auf Undichtigkeiten der Installationen zurückzuführen waren. Jedoch deuteten Verluste in einem begrenzten Höhenbereich ca. 1 m über der Schachtsohle den Übertritt von Standwasser in ein undichtes Aufsatzrohr der installierten Pegel an (vgl. Teilbericht Jungfernheide).

Bewertung

Arbeiten an den Brunnen bergen grundsätzlich das Gefahr bakteriologischer Kontamination über den direkten Kontakt von nichtdesinfizierten Gerätschaften und aus dem Brunnenumfeld stammenden Verunreinigungen mit dem Rohwasser dar. Dies gilt z. B. für das Setzen von Manschetten, wobei die Manschetten selbst eine mögliche Kontaminationsquelle darstellen und eine erhöhte Nährstoffverfügbarkeit bedingen.

Alle mit dem Rohwasser in Kontakt gebrachten Geräte und Materialien sollten daher vor Ort vor Verwendung flächendesinfiziert werden, wie es auch bereits in Arbeitsanweisungen festgeschrieben ist.

Die Wirksamkeit der technischen Barriere (Dichtheit des Vollrohrs) wird durch die Manschetten vermutlich wiederhergestellt. So zeigte der Vergleich der Befundquote der mit Manschetten instandgehaltenen Brunnen vor und nach dem Setzen einen allgemeinen Rückgang der Befundquote in den betroffenen Brunnen nach der Instandhaltung (vgl. Teilbericht Datenanalyse). Die (wiederhergestellte) Dichtheit sollte im Rahmen der Brunnenzustandsbewertungen regelmäßig überprüft werden.

Bei einer räumlich klar begrenzten Kontamination eines Einzelbrunnens oder Außenpegels können Kleingetiere (Schnecken, Würmer, Insekten usw.) eine plausible Ursache für die Befunde darstellen. Da der Brunnenschacht bereits eine Abdichtung gegen das Eindringen von Wasser und höheren Organismen besitzt, sollte das Risiko einer Kontamination über die Pegelrohre grundsätzlich gering sein. Fehlen jedoch Verschlusskappen auf Pegelrohren oder bestehen Perforationen der Aufsatzrohre, ist eine lokale Kontamination durch Verwesungsprodukte wie am untersuchten Brunnen realistisch (vgl. Teilbericht Spandau). Auch hier wird die regelmäßige Kontrolle der Dichtheit aller Decken- und Mauerdurchführungen, der Pegelaufsatzrohre und Flansche empfohlen.

3.3 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse

Die in RIKO-1 durchgeführten Felduntersuchungen bestätigten grundsätzlich die ausreichende Eliminationsleistung der Untergrundpassage in der ungesättigten und gesättigten Zone und zeigten, dass unter Einhaltung der 50-Tage-Linie in Oberflächengewässern oder Punktquellen im Oberboden vorhandene Keimbelastungen hygienisch relevanter Indikatorkeime im Grund- und Rohwasser der untersuchten Standorte nicht mehr nachweisbar waren. Vereinfachte Simulationsrechnungen unter Annahme der für Berlin typischen hydrogeologischen, klimatischen und brunnenbaulichen Gegebenheiten zeigten weiterhin, dass bereits eine Aufenthaltszeit in der Untergrundpassage von mindestens 16 Tagen ausreichend ist (vgl. Teilbericht Tiefwerder).

Treten unter den für Berlin typischen Bedingungen bakteriologische Kontaminationen der Betriebsbrunnen bzw. des Rohwassers auf, muss davon ausgegangen werden, dass die für die effektive Eliminationsleistung nötige Aufenthaltszeit des Wassers im Untergrund zwischen der Kontaminationsquelle und dem Entnahmepunkt unterschritten wurde. Gemäß den durchgeführten Untersuchungen sind die Ursachen i.d.R. in einer Verkürzung der Fließzeiten zu suchen, die bedingt ist durch:

1. Schaffen präferentieller Fließwege durch
 - a) die Schachtarbeiten beim Brunnenbau,
 - b) das Vorhandensein von Tiergängen und Grabbauten im direkten Brunnumfeld, und
 - c) den fehlerhaften Rückbau oder zeitlichen Änderungen unterliegenden Verfüllungen von Altbrunnen (auch Messstellen, Leitungsgräben usw.)

oder

2. Undichtigkeiten des Brunnenbauwerkes im Bereich der Tonsperre, des Vollrohrs oder des Brunnenkopfes

Daneben können Arbeiten am Brunnen und der direkte Kontakt zwischen Kontaminationsquellen und dem Rohwasser bakteriologische Kontaminationen bedingen.

Die im vorherigen Kapitel beschriebenen Untersuchungsergebnisse und darauf basierenden Empfehlungen sind in nachfolgender Tabelle 3 nochmals zusammengefasst.

Tabelle 3: Tabellarische Zusammenstellung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse hinsichtlich der Eintragspfade und Gefährdungsereignisse

Eintragspfad		Gefährdungsereignis	Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse	Empfehlungen
1	Mit dem Grundwasser (Externe Faktoren)			
1.1	Uferfiltrat	<p>Hochwasser</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aufreißen der Kolmationsschicht - Erhöhter hydraulischer Gradient - Erhöhte Ausgangskonzentration (z.B. Mischwasserüberläufe) 	<ul style="list-style-type: none"> - Aufreißen der Kolmationsschicht unwahrscheinlich unter den aktuellen und prognostizierten klimatischen Bedingungen - Verkürzung der Aufenthaltszeit durch erhöhte Gradienten wahrscheinlich, aber nur für unbedeckte Grundwasserleiter relevant - Reinigungsvermögen der Untergrundpassage auch bei erhöhten Belastungen der Oberflächengewässer ausreichend 	<ul style="list-style-type: none"> - Keine zusätzliche Erhöhung des hydraulischen Gradienten bei Hochwasser (Verringerung der Förderraten) - Anthropogene Störung (Ausräumung) der Gewässersohle vermeiden
1.2	Sickerwasser	<p>Starkregen/ Hochwasser</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aufsättigung der Bodenzone - Schaffen präferentieller Fließwege - Tiergänge/ Grabbauten - Altbrunnen 	<ul style="list-style-type: none"> - Bei vollständiger Sättigung stark verkürzte Verweilzeiten in der Bodenzone - Vollständige Sättigung bei anhaltender Überflutungen möglich, unter den aktuellen und prognostizierten klimatischen Bedingungen durch Niederschläge aber unwahrscheinlich - Säugetiere/ Wirbellose können Keime in relevanter Größenordnung freisetzen (Punktquelle) - Gefährdung nur in Kombination mit präferentiellen Fließwegen und/ oder undichtem Brunnenbauwerk 	<ul style="list-style-type: none"> - Anböschung der Fassungsbereiche - Rückbau und Verfüllung von Brunnen und Baugruben entsprechend der natürlichen Ablagerungsverhältnisse bzw. zusätzlicher Einbau von Tonsperren
2	Über das Brunnenbauwerk (Interne Faktoren)			
2.1	Fremdwasser / Hydraulischer Kurzschluss	<ul style="list-style-type: none"> - Undichte Brunnenkopfdichtung - Undichtes Vollrohr - Undichte Tonsperre 	<ul style="list-style-type: none"> - Stellt bei einem Versagen der Barriere Boden (Überflutung/Starkregen) die ausschlaggebende Barriere dar - Speziell bei Fehlen oder Versagen der Tonsperre deutlich verkürzte Fließzeiten durch hohe Durchlässigkeiten in der Filterschüttung 	<ul style="list-style-type: none"> - Einbau einer zusätzlichen Ringraumabdichtung direkt unterhalb Schacht - Sicherstellung der Brunnenkopfdichtheit - Überprüfung der Vollrohrdichtheit - Überprüfung der Tonsperren
2.2	Direkte Kontamination	<ul style="list-style-type: none"> - Einbringen von nichtdesinfiziertem Gerät oder Material - Offener Brunnen - Druckausgleichsöffnung - Außenpegel - Offener oder undichter Brunnenkopf 	<ul style="list-style-type: none"> - Manschetten sind keine systematische Quelle - Pegel stellen Wegsamkeit dar - Kleintiere im Pegel reichen für eine andauernde Kontamination mit hoher Keimzahl 	<ul style="list-style-type: none"> - Flächendesinfektion aller eingebrachten Geräte und Materialien (bereits in Arbeitsanweisungen festgeschrieben) - Abdichtung vorhandener Öffnungen - Überprüfung des Zustandes des Schachtes und Brunnenkopfes

Kapitel 4 Schlussfolgerungen

Die in RIKO-1 durchgeführten Untersuchungen bestätigten grundsätzlich die Wirksamkeit der existierenden Barrieren gegen bakteriologische Kontaminationen im Normalbetrieb. Normalbetrieb bedeutet in diesem Zusammenhang den Betrieb der Brunnen bei

1. Wasserständen der zur Uferfiltration genutzten Oberflächengewässer im Normalbereich (+/- ca. 50 cm),
2. einer ausreichend langen Verweilzeit in der vertikalen, ungesättigten Untergrundpassage und
3. nach den anerkannten Regeln der Technik gebauten und gewarteten Brunnen.

Treten dennoch bakteriologische Kontaminationen auf, muss gemäß den Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen meist von einem Zusammenwirken verschiedener ungünstiger Faktoren ausgegangen werden. Am Standort Tiefwerder beispielsweise hätte ein hoher Havelwasserstand allein vermutlich nicht zum Auftreten bakterieller Kontaminationen geführt. Erst zusammen mit dem Vorliegen undichter Brunnenköpfe stellte der hohe Wasserstand ein Problem dar, da Wasser bereits nach kurzem Aufenthalt in der Untergrundpassage in die Brunnen gelangte. Aus diesem Grund ist auch die fehlende Einzäunung der Schutzzone 1 bei einem Großteil der Berliner Brunnen im Sinne der Risikobewertung als unkritisch zu bewerten. Solange das Vorhandensein einer ungesättigten Zone im unmittelbaren Brunnenumfeld und die Dichtheit des Brunnenbauwerkes gegeben sind, würde eine Einzäunung der Brunnen das Risiko bakteriologischer Kontaminationen nicht vermindern.

4.1 Risikobewertung

Tabelle 4 fasst die im Rahmen von RIKO-1 untersuchten Kontaminationsquellen und Gefährdungsereignisse in einer Risikobewertungsmatrix analog zum WSP-Konzept zusammen. Grundlage waren die zuvor identifizierten und in Kapitel 2 und Kapitel 3 beschriebenen Eintragungspfade über das Uferfiltrat, das Sickerwasser, als Fremdwasser oder als direkte Kontamination.

Für jeden Eintragungspfad wird zunächst auf Basis der in den Versuchen erarbeiteten Ergebnisse die Wahrscheinlichkeit bewertet, mit welcher Mikroorganismen über den genannten Eintragungspfad ins Rohwasser von Betriebsbrunnen gelangen können. Dies schließt die Bewertung der existierenden Barrieren bezüglich ihrer Zuverlässigkeit ein, jedoch nicht die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Gefährdungsereignis eintritt. Anschließend wird mit Blick auf die im Rahmen von ASKURIS geplante ganzheitliche Risikobewertung für den teilgeschlossenen Berliner Wasserkreislauf eine Empfehlung zur Risikobewertung für die betrachteten Eintragungspfade gegeben.

Als Risiko wird dabei gemäß dem WSP-Konzept die Kombination aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß bezeichnet. Da bakterielle Kontaminationen des Rohwassers aufgrund der naturnahen Aufbereitung in Berlin ohne Desinfektion zu hygienisch belastetem Trinkwasser führen können und damit eine potentielle Gefährdung für die menschliche Gesundheit darstellen, ist das Schadensausmaß grundsätzlich als "hoch" einzustufen (DVGW 2008b). Die Empfehlung zur Risikobewertung beinhaltet damit die Eintragungswahrscheinlichkeit entlang der betrachteten Pfade unter Bewertung der existierenden Barrieren, eine Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit der betrachteten Gefährdungsereignisse und das Schadensausmaß (grundsätzlich "hoch").

Die Bewertung der Eintragungswahrscheinlichkeiten bzw. des Risikos erlaubt parallel eine Priorisierung der abzuleitenden Maßnahmen zur Risikominimierung, die im Folgenden detailliert werden.

Tabelle 4: Bewertung der untersuchten Eintragspfade und Gefährdungsereignisse hinsichtlich ihrer Eintragswahrscheinlichkeit

Eintragspfad		Bewertung der Eintragswahrscheinlichkeit [Existierende Barrieren]	Empfehlung für die Risikobewertung	Begründung
1	Mit dem Grundwasser (Externe Faktoren)			
1.1	Uferfiltrat	gering [Geologische Verhältnisse; Hydrologische Verhältnisse; 50-Tage-Linie]	gering	<ul style="list-style-type: none"> + Wirksamkeit der Uferfiltration in jahrzehntelanger Praxis, internationalen Richtlinien und vorausgegangenen Forschungsprojekten (D und international) dokumentiert und bestätigt + Eigene Untersuchungen am Standort Tiefwerder: selbst bei nur 16 Tagen Aufenthaltszeit ausreichende Eliminationsleistung unter für Berlin typischen geologischen und hydrologischen Bedingungen bezogen auf die Ausgangskonzentration coliformer Bakterien in der Havel + Auftreten von Hochwasser mit Überflutung der Schutzzonen selten und/ oder Aufreißen der Kolmationsschicht unter typischen Berliner Fließverhältnissen unwahrscheinlich
1.2	Sickerwasser	mittel [Anisotropie des GWL; 50-Tage-Linie]	mittel	<ul style="list-style-type: none"> + Untersuchungen Spandau-Süd & Tiefwerder: Keine Verlagerung der hohen mikrobiellen Belastung des Oberbodens in tiefere Bodenschichten - Komplette Aufsättigung der Bodenzone (wiederkehrende, langandauernde Überflutungsereignisse der Fassungsbereiche) ist selten, verkürzt die Verweilzeit jedoch signifikant - Schaffen präferentieller Fließwege durch a) Schachtarbeiten beim Brunnenbau und b) Tiergänge unter typischen Berliner Verhältnissen häufig - Lokale Kontaminationsquellen im Untergrund können nicht ausgeschlossen werden, da Probenahmen immer nur stichprobenartig erfolgen
2	Über das Brunnenbauwerk (Interne Faktoren)			
2.1	Fremdwasser / Hydraulischer Kurzschluss	mittel [Brunnenbauwerk nach anerkannten Regeln der Technik]	mittel – hoch	<ul style="list-style-type: none"> + Standardkonstruktionstyp seit 2005 mit durchgezogener Tonsperre + 2011 Überprüfung der Vollrohr- und Brunnenkopfdichtheit aller Brunnen - Datenanalyse: ca. 83% der Brunnen sind älter als 2005 - Stand der Praxis der Brunnenzustandsbewertung auf die Ergiebigkeit ausgerichtet, Dichtheitskontrollen war bis vor wenigen Jahren nicht regulär vorgesehen - Brunnenzustandsbewertung erfolgt im Durchschnitt nur alle 2-7 Jahre

Eintragspfad		Bewertung der Eintragswahrscheinlichkeit [Existierende Barrieren]	Empfehlung für die Risikobewertung	Begründung
2.2	Direkte Kontamination	hoch [Arbeitsanweisungen; Bakteriologische Freigabe nach Baumaßnahmen]	mittel	<ul style="list-style-type: none"> + Arbeitsanweisungen schreiben hohen hygienischen Standard vor und beinhalten Anweisung zur Desinfektion aller eingebrachten Gerätschaften + Datenanalyse: Befundquote coliformer Bakterien nach Baumaßnahmen (gesamt) bei ca. 7% - Befundquote nach Baumaßnahmen 50% über Befundquote bei Jahresuntersuchungen - Arbeiten an offenen Brunnen/ Einbringen von Gerätschaften häufig - Schachtdeckel häufig undicht (Zugang für Kleintiere) - Druckausgleichsöffnungen der Aussatzrohre des Innen- und Außenpegels nicht geschützt

4.2 Maßnahmen zur Risikominimierung

Zur Risikominimierung sieht das WSP-Konzept zwei wesentliche Komponenten vor: i) präventive Maßnahmen zur Vermeidung des Eintritts einer Gefährdung (Risikominimierung) und ii) regelmäßige Kontrollen der Wirksamkeit der Barrieren (Kritische Kontrollpunkte). Ziel ist das frühzeitige Erkennen und Vermeiden negativer Einflüsse und Veränderungen der Wasserqualität.

Für die Rohwasseraufbereitung ab Werkseingang fand dies bereits Berücksichtigung in den Entwürfen der WSPs für die einzelnen Wasserwerke. Darin dokumentiert sind Sicherungsmaßnahmen durch BWB und den Senat bzw. das Gesundheitsamt gegen die zuvor identifizierten Risiken, die die Qualität des Trinkwassers beeinträchtigen können. Genannt sind als präventive Maßnahmen vor allem regelmäßige Schutzzonen-Begehungen, sofern vorhanden Kontrolle und ggf. Reparatur der Zäune zur Sicherung der Galerien, die Beseitigung von Unrat usw. Mit Bezug zu den Brunnen ist die Überprüfung und ggf. Herstellung der Dichtheit der Vollrohre dokumentiert.

Basierend auf der Bewertung der Eintragspfade in Kapitel 3 werden zusätzlich zu den in den Teilberichten dokumentierten, schon bestehenden und in Umsetzung befindlichen Maßnahmen folgende Empfehlungen ausgesprochen. Gemäß der in Tabelle 4 dokumentierten Risikobewertung sollten bevorzugt die das Bauwerk und die Instandhaltung betreffenden Maßnahmen umgesetzt werden.

1) das Brunnenbauwerk betreffend

In Umsetzung befindlich:

- Brunnenneubau ohne Außenpegel bzw. Rückbau der vorhandenen Außenpegel durch Verfüllung

Zusätzlich empfohlene Maßnahmen:

- Anböschung der Brunnen
- Einbau einer zusätzlichen Tonsperre im Bereich der Baugrube (Boden und seitlich) beim Schachtbau
- Einbau von Gitterdraht im Bereich der Baugrube des Schachtbaus gegen Grabbauten von Tieren

2) den Brunnenbetrieb betreffend

- Verringerung der Förderraten während hoher Grundwasserstände bzw. während Überflutungen im Bereich der Schutzzone 1, um den hydraulischen Gradienten nicht zusätzlich zu erhöhen

3) die Brunneninstandhaltung betreffend

In Umsetzung befindlich:

- Bakteriologische Beprobung vor Baumaßnahmen
- Verbesserte Ableitung von Abschlagswasser vom Brunnen weg (vgl. Teilbericht Spandau: Nutzung der Regenentwässerungsleitung)
- Verbesserte Lagerung der Brunneninstallationen vor Ort
- Flächendesinfektion aller Bauteile, die eingebaut werden vor Ort vor dem Einbau

Zusätzlich empfohlene Maßnahmen:

- Regelmäßige Kontrolle der Abdichtung der Deckel und Pegelöffnungen (gegen den Zutritt von Kleingetier)

4.3 Kritische Kontrollpunkte und Vorschläge für deren Überwachung

Die Risikobewertung nach dem WSP-Konzept sieht die Identifikation so genannter kritischer Kontrollpunkte und Definition der dazu gehörigen Kontrollverfahren vor. Kritische Kontrollpunkte wurden bei den BWB bisher für die Rohwasseraufbereitung (ab Werkseingang) definiert.

Auf Grundlage der in RIKO-1 durchgeführten Untersuchungen und theoretischen Betrachtungen werden mit Bezug zur Rohwassergewinnung aus Einzelbrunnen folgende kritische Kontrollpunkte vorgeschlagen:

1) Qualität des zur Uferfiltration genutzten Oberflächenwassers

Die Überwachung der bakteriologischen Gewässergüte beschränkt sich bisher auf 14-tägige Beprobungen während der Sommermonate im Rahmen der Badegewässer-Überwachung. Zur Identifizierung der Quellen und maximal zu erwartenden Keimkonzentrationen wird jedoch ein zeitlich befristetes Monitoringprogramm vorgeschlagen, um typische Jahresgänge der Standorte zu erheben und damit die Schwankungsbreiten der betrieblichen Randbedingungen festzustellen. Dazu sollte die bakteriologische Gewässergüte der zur Uferfiltration genutzten Oberflächengewässer zeitlich befristet regelmäßig beprobt werden. Mindestens während Perioden mit zu erwartenden erhöhten Grundwasserständen (Schneesmelze, Starkregen, Hochwasser) sollten zusätzlich Vorfeldmessstellen regelmäßig hinsichtlich bakteriologischer Parameter beprobt werden.

Ein entsprechendes Monitoring-Programm wurde im Rahmen des BMBF-Projektes ASKURIS initiiert und befindet sich derzeit in Umsetzung.

2) Aufenthaltszeit des Wassers im Untergrund

Im Normalbetrieb wird die zur vollständigen Elimination der bakteriologischen Belastungen erforderliche kritische Fließzeit i.d.R. nicht unterschritten. Änderungen des Fließgradienten können mit Wasserstandsmessungen in den Oberflächengewässern (und ggf. Vorfeldmessstellen) einfach und kostengünstig überwacht werden.

Direkt im Rohwasser bieten sich die Parameter gelöster Sauerstoffgehalt oder Redox-Spannung (vgl. Teilbericht Datenanalyse) zur Überwachung potentieller Oberflächenwasserzutritte an.

3) Dichtheit der Brunnen (Brunnenkopf und Vollrohr)

Es wird empfohlen, die Dichtigkeitsprüfung (Vollrohr und Brunnenkopf) in die regelmäßige Zustandsbewertung der Brunnen zu integrieren.

4.4 Offene Fragen

Die Untersuchungen im Rahmen von RIKO-1 fokussierten auf die bakteriologische Kontamination des Rohwassers von Brunnen. Der Schwerpunkt lag auf der systematischen Beprobung entlang des Weges des Wassers. Dazu wurden die Uferfiltratpassage, die Sickerwasserpassage und potentielle Wegsamkeiten für Fremdwasserzutritte untersucht.

Neben der etablierten Methodik zur Wasserprobenahme und Bestimmung der vermehrungsfähigen Keime mittels Colilert®-18/ QuantiTray (coliforme Bakterien, *E.coli*) kamen molekularbiologische Methoden zum Einsatz, die die Bestimmung bakterienspezifischer DNA-Sequenzen nutzt. Die Etablierung der dazu notwendigen Teilschritte der (An)Sequenzierung coliformer Bakterien und ihrer Quantifizierung auf DNA-Basis (mittels qPCR) ermöglicht den schnelleren Nachweis bakteriologischer Kontaminationen und das Erkennen räumlich-zeitlicher Zusammenhänge aus der Verwandtschaft identifizierter Keime (vgl. Teilbericht Mikrobiologische Methoden). Gleichzeitig wirft der Einsatz molekularbiologischer Methoden zwei Fragen auf:

1. Wie ist der Bezug zwischen einer Quantifizierung der Ziel-DNA mittels qPCR und den tatsächlich vermehrungsfähigen Keimen in der Probe (Kalibrierung der qPCR gegen das Colilert®-18-Verfahren)?
2. Von welcher Hintergrundbelastung coliformer Keime im Grund- bzw. Rohwasser ist auszugehen, die mit der Bestimmung vermehrungsfähiger Keime in 100mL Probe bisher nicht erfasst wurden?

Hierzu sind weitere vergleichende Untersuchungen und systematische Beprobungen des Gesamtsystems vom Oberflächengewässer, über das Uferfiltrat bzw. Sickerwasser bis zum direkten Umfeld der Brunnen erforderlich. Die molekularbiologischen Methoden erlauben dabei im Fall von Positivbefunden die Bestimmung der Keimherkunft und räumlich-zeitliche Korrelation (vgl. Teilbericht Mikrobiologische Methoden).

Methodisch war die Entnahme von Sedimentproben und Keimbestimmung im Bodeneluat geeignet, die Sickerwasserpassage zu untersuchen. Der zeit- und kostengünstige Ansatz tiefenorientierter Kernprobenahmen, wie er im Rahmen von RIKO-1 zum Einsatz kam, ermöglicht damit (vorbehaltlich wasserrechtlicher Erlaubnis) die kurzfristige Durchführung von Versuchen im direkten Anschluss an spontan auftretende Überflutungsereignisse sowie Umfeldbeprobungen. Die Untersuchung der bakteriellen Belastung von der Geländeoberfläche über die ungesättigte bis hin zur gesättigten Zone unter stark veränderten Infiltrationsbedingungen würde die bisherigen Befunde ergänzen und absichern.

In diesem Zusammenhang sollte auch die Oberflächenwasser-Grundwasser-Interaktion hinsichtlich bakteriologischer Kontaminationen untersucht werden. Dies erlaubt gleichzeitig die Vertiefung der Ursachenanalyse bakteriologischer Belastungen von Brunnen. Im KWB-BWB-Projekt MIA-CSO wurde die Auswirkung von Mischwasserüberläufen auf die Oberflächenwasserqualität detailliert untersucht, jedoch nur chemische Parameter herangezogen. Stichprobenartige Probenahmen aus der Spree nach Mischwasserüberläufen im Rahmen des Projektes RIKO-1 (vgl. Teilbericht Tiefwerder) zeigten Belastungsspitzen coliformer Bakterien nach Starkregenereignissen. Fließzeiten und Abbauraten der bakteriologischen Fracht sowie die Interaktion mit dem Grundwasser wurden bisher jedoch nicht systematisch betrachtet.

Auch die durchgeführten Markierungsversuche haben gezeigt, dass sie grundsätzlich als Methode zur Feststellung von Undichtigkeiten dienen können. Die Ursache des Zutritts von Markierungsmittel zum Brunnen innerhalb von vier Tagen konnte auf "Undichte Rohrverbindungen im Außenpegel" und "Fehlende Ringraumabdichtung" eingegrenzt werden. Die Versuche waren jedoch schwierig eindeutig zu interpretieren und auf Brunnen außerhalb von Trinkwasserschutzonen begrenzt. Potentiellen Wasserzutritte in oder aus Pegel- und Brunnenvollrohren sollten sich allerdings auch über die hochauflösende Messung von Tiefenprofilen der Temperatur oder der elektrischen Leitfähigkeit verlässlich detektieren lassen. Testmessungen in den im Rahmen von RIKO-1 untersuchten beiden Brunnen des Wasserwerks Jungfernheide und eine Ausweitung der Versuche auf Brunnen mit durchgezogener Tonsperre werden empfohlen.

In diesem Zusammenhang sollten auch zeitliche Änderungen des Grundwasserspiegels sowie evtl. saisonal in Abhängigkeit des geologischen Aufbaus auftretendes Schichtenwasser fokussiert untersucht werden. Zur Schichtenwasser-Kartierung bieten sich beispielsweise geoelektrische Messungen an, während die Grundwasserspiegeländerungen in Abhängigkeit des Wasserstandes der Oberflächengewässer und des Brunnenbetriebs hydrogeologisch modelliert werden sollten. Damit könnte auch quantifiziert werden, wie schnell es bei einer Überflutung zur vertikalen Zusickerung kommt.

Zusammen könnten die Untersuchungen die Entwicklung eines Entscheidungsbaums erlauben, auf dessen Basis die Einzelbrunnen der BWB hinsichtlich ihrer Anfälligkeit und potentiellen Schwachstellen gegenüber bakteriologischen Kontaminationen analysiert und entsprechende Handlungsempfehlungen im Gefährdungsfall gegeben werden können.

4.5 Zusammenfassung und Ausblick

Neben der Bestätigung der Wirksamkeit der existierenden natürlichen und Empfehlungen zur Verbesserung der technischen Barrieren zeigte das Projekt RIKO-1 weiteres Verbesserungspotential und offene Fragen hinsichtlich der systematischen Untersuchung der Keimbelastung des gesamten Wasserkreislaufs und der potentiellen Schwachstellen von Vertikalfilterbrunnen.

Zukünftige Herausforderungen bezüglich der Sicherung der Eliminationsleistung der Untergrundpassage stellen ein prognostizierter Anstieg von Starkregenereignissen, evtl. häufigere Hochwässer und Änderungen des Klarwasser-Anteils in den Oberflächengewässern aufgrund saisonal stärker schwankender Wasserführung dar. Die Auswirkungen auf die Oberflächenwasser-Grundwasser-Interaktion speziell im Hinblick auf die bakteriologische Wassergüte sollte daher weiter untersucht werden. Hier bietet das im Rahmen von ASKURIS geplante und in Umsetzung befindliche Monitoring-Programm zur ganzheitlichen Betrachtung des Berliner Wasserkreislaufs die Basis für die Betrachtung kritischer betrieblicher Randbedingungen.

Aufbauend auf den in RIKO-1 erarbeiteten Eintragspfaden und den identifizierten offenen Fragen ergeben sich folgende Kriterien, die für eine zu erarbeitende Systematik zur Vulnerabilitätsbewertung der Einzelbrunnen zu berücksichtigen wären:

- Kartierung des Uferfiltratanteils der Brunnen in Abhängigkeit der Entfernung zum Oberflächengewässer, usw.
- Geologischer Aufbau oberhalb der Filteroberkante (Vorhandensein von Stauern usw.)
- Schichtenwasserkartierung
- Hydrogeologische Modellierung der Brunnenanströmung in Abhängigkeit der Oberflächenwasserstände, der Kolmationsbedingungen und des Brunnenbetriebs
- Hintergrundbelastung mit coliformen Bakterien (Umfeldbeprobung)
- Räumlich-zeitliche Verteilung bestimmter Keime im Fall von Positivbefunden (Sequenzierung und geographische Visualisierung)
- Verifizierung der vorgeschlagenen kritischen Kontrollpunkte und deren Überwachung (Eignung T, O₂, Redox-Spannung zur Überwachung der Fließzeit sowie T- oder LF-Logs zur Dichtheitskontrolle am Brunnenbauwerk)

Zusammen erlauben sie eine systematische Ableitung standortbezogener Rahmenbedingungen und daraus folgend vertiefter brunnenpezifischer Gegenmaßnahmen zur Vermeidung bakteriologischer Kontaminationen im Gefährdungsfall.

Danksagung

Das Projektteam dankt den BWB für die finanzielle Förderung der Forschungsarbeiten in RIKO-1.

Insbesondere den Mitarbeitern an den untersuchten Standorten und den Brunnen- und Ressourcenmanagern der Abteilung WV sei gedankt für die fortwährende technische und praktische Unterstützung der Versuche, die zahlreichen fachlichen Anregungen und praktischen Hilfestellungen.

Vielen Dank!

Referenzen

- Dash (2008). "Lake bank filtration at Nainital, India: water-quality evaluation". Springer-Verlag, published online.
- DVGW (2006). Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete; Teil 1: Schutzgebiete für Grundwasser. Arbeitsblatt W 101.
- DVGW (2008a). Sicherheit in der Trinkwasserversorgung - Organisation und Management im Krisenfall. Hinweis W 1002.
- DVGW (2008b). Sicherheit in der Trinkwasserversorgung - Risikomanagement im Normalbetrieb. Hinweis W 1001: 23p.
- Flemming, H.-C., et al. (2009). "Biofilme in der Trinkwasser-Installation - Konsequenzen für die Risikoeinschätzung". IWW-Journal(05): 10-12.
- García-Orenes, F., et al. (2007). "Effect of irrigation on the survival of total coliforms in three semiarid soils after amendment with sewage sludge". Waste Management 27(12): 1815-1819.
- Höltling, B. & Coldewey, W. G. (2009). Hydrogeologie – Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie.
- Lopez-Pila, J. & Szewzyk, R. (2006). Using bacteriophages, indicator bacteria, and viral pathogens for assessing the health risk of drinking water obtained by bank filtration. Berlin. Federal Environmental Agency of Germany (UBA).
- Massmann, G., et al. (2007). "Investigation of groundwater residence times during bank filtration in Berlin - a multi-tracer approach". Hydrological Processes 22: 788-801.
- Medema, G. J. & Stuyfzand, P. J. (2002). Removal of micro-organisms upon basin recharge, deep well injection and river bank filtration in the Netherlands. ISAR-4 - Proceedings of the 4th international Symposium on artificial recharge of groundwater: Management of Aquifer Recharge for Sustainability. Dillon, P. Adelaide, SA. Balkema: p. 125-131.
- Möller, K. & Burgschweiger, J. (2008). Wasserversorgungskonzept für Berlin und für das von den BWB versorgte Umland (Entwicklung bis 2040). Berlin. Umweltvorhaben Dr Klaus Möller GmbH / Berliner Wasserbetriebe,.
- Nennich, T. D., et al. (2005). "Survivability of Fecal Coliform in Soil after Winter Application of Dairy Slurry on a Transitional-organic, Grazing Based Dairy. ". Sustaining the Pacific Northwest Food, Farm, & Natural Resource Systems 3(4).
- Obst, U. & Geis, M. (2005). Typisierung der Uferfiltration anhand mikrobieller Einflussgrößen sowie optimierte Kontrolle pathogener Bakterien und Parasiten.
- Pigadi (2011). Konstruktionstypen BWB-Brunnen. G. Scharl: RIKO-1-Vorbereitungstreffen 17.10.2011.
- Schijven, J. F., et al. (2002). Removal of Pathogens, Surrogates, Indicators and Toxins using Riverbank Filtration. Riverbank Filtration - Improving Source-Water Quality. Ray, C. et al. Dordrecht. Kluwer Academic Press. Vol 43: p. 73-116.
- Schijven, J. F., et al. (1999). "Modeling removal of bacteriophages MS2 and PRD1 by dune recharge at Castricum, Netherlands". Water Resources Research 35(4): 1101-1111.
- Sprenger, C., et al. (2009). The Potential Of River Bank Filtration For Reducing Chemical Pollutants And Pathogens From River Water In Mega-Cities: The New Delhi Experience. IWA Development Congress. Mexico City. IWA.
- Sun, Y. H., et al. (2006). "Survival of faecal coliforms and hygiene risks in soils treated with municipal sewage sludges". Environmental Geochemistry and Health 28(1-2): 97-101.
- TrinkwV (2011). Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung -TrinkwV 2001).
- Weiss, W. J., et al. (2005). "Riverbank filtration for control of microorganisms: Results from field monitoring". Water Research 39(10): 1990-2001.
- WHO (2006). WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater [vol. I – IV].
- WHO (2009). Water safety plan manual : step-by-step risk management for drinking-water suppliers. Geneva. World Health Organization.

- WHO (2011). Guidelines for drinking-water quality.
- Winfield, M. D. & Groisman, E. A. (2004). "Phenotypic differences between *Salmonella* and *Escherichia coli* resulting from the disparate regulation of homologous genes". *Proc Natl Acad Sci U.S.A.* 101(49): 17162-17167.
- Wittstock, E. (2012). Fremdwasserzufluss an Brunnenstuben: ein Problem? - Ein Erfahrungsbericht der BWB - Brunnentage 2012. Pigadi 2012.
- Ziegler, D. H. (2001). Untersuchungen zur nachhaltigen Wirkung der Uferfiltration im Wasserkreislauf Berlins. TU Berlin. Berlin.
- Zippel, M. & Hannapel, S. (2008). "Ermittlung des Grundwasserdargebotes der Berliner Wasserwerke mittels regionaler numerischer Grundwasserströmungsmodelle". *Grundwasser* 13: 13.

Anhang 1

Zusammenstellung aller im Rahmen von RIKO-1 vorliegenden Berichte und Protokolle in chronologischer Ordnung

Ifd. Nr.	Dokument	Hauptautor	Datum
Besprechungsprotokolle			
1	Kick-off	H. Schwarzmüller	06.02.2012
2	2. Arbeitsgruppen-Treffen RIKO-1	H. Schwarzmüller	27.03.2012
3	1. Arbeitsgruppen-Treffen Spandau-Süd	G. Lorenzen	09.05.2012
4	2. Arbeitsgruppen-Treffen Spandau-Süd/	G. Lorenzen	11.06.2012
5	3. Arbeitsgruppen-Treffen RIKO-1	H. Schwarzmüller	28.06.2012
6	3. Arbeitsgruppen-Treffen Spandau-Süd (zusammengelegt mit Team RIKO-1)	G. Lorenzen	09.08.2012
7	Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse Spandau-Süd im Wasserwerk Spandau	V. Jordan	13.08.2012
8	4. Arbeitsgruppen-Treffen RIKO-1	H. Schwarzmüller	21.08.2012
9	5. Arbeitsgruppen-Treffen RIKO-1	H. Schwarzmüller	25.10.2012
10	Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse in der WV- Ressourcenrunde	G. Lorenzen	03.12.2012
Teilberichte			
01	Ergebnisse der Feld- und Laborarbeiten an Brunnen SPAsued10-/1983V	H. Schwarzmüller, Oliver Thronicker	14.11.2012
02	Durchführung und Ergebnisse der Tracerversuche an Brunnen im Wasserwerk Jungfernheide	Christian Menz	25.02.2012
03	Mikrobiologische Methoden: Stand der Technik	Oliver Thronicker	26.02.2013 (Entwurf)
04	Durchführung und Ergebnisse der Felduntersuchungen zur Uferfiltrat- Passage an Brunnen im Wasserwerk Tiefwerder	Christian Menz, Oliver Thronicker	28.02.2013 (Entwurf)
05	Ergebnisse der deskriptiven Datenanalyse	H. Schwarzmüller	01.03.2013 (Entwurf)
06	Synthesebericht		

Anhang 2

Literaturdaten zum Eliminierungsvermögen der Uferfiltration

Pathogene oder Indikatoren	Aufenthaltszeit (d) oder Entfernung (m) zum OW	Standort	Eliminierungsvermögen (gemessen oder abgeschätzt)	Referenz
BAKTERIEN				
Gesamtcoliforme	11-19 d (84 m)	UF (Lake Naintal)	5- \log_{10}	Dash 2008
Gesamtcoliforme	35 m	UF (Missouri River)	5,5 bis 6,1- \log_{10}	Weiss, Bouwer et al. 2005
Gesamtcoliforme	15 d (30 m) 63 d (25 m)	2 UF-Standorte (River Meuse and River Rhine)	>5- \log_{10}	Schijven, Berger et al. 2002
Fäkalcoliforme	11-19 d (84 m)	UF (Lake Naintal)	4- \log_{10}	Dash 2008
Thermotolerante (fäkal) Coliforme	<15m	UF River Meuse, Sandiger Kies-GWL	4- \log_{10}	Medema & Stuyfzand 2002
Fäkal-Streptokokken	15 d (30 m)	UF River Rhine	>3,2- \log_{10}	Schijven, Berger et al. 2002
Fäkal-Streptokokken	63 d (25 m)	UF River Meuse	>3,5- \log_{10}	Schijven, Berger et al. 2002
<i>Bacillus</i> sp. (aerobischer Sporenbildner)	27-177 m	3 UF-Standorte (Ohio, Wabash & Missouri River)	0,8- \log_{10} bis >3,1- \log_{10}	Weiss, Bouwer et al. 2005
<i>Clostridium</i> sp. (aerobischer Sporenbildner)	27-177 m	3 UF-Standorte (Ohio, Wabash & Missouri River)	0,4- \log_{10} bis >4,9- \log_{10}	Weiss, Bouwer et al. 2005
Sporen von Sulfitreduzierenden Clostridien (SSRC)	13 m 18 d (25 m) 43 d (150 m)	UF River Meuse, Sandiger Kies-GWL	3,3- \log_{10} 3,9- \log_{10} 5,0- \log_{10}	Medema & Stuyfzand 2002
SSRC	63 d (25 m)	UF River Rhine	3,1- \log_{10}	Schijven, Berger et al. 2002
SSRC	15 d (30 m)	UF River Meuse	3,6- \log_{10}	Schijven, Berger et al. 2002
VIREN				
Bakteriophage	13 m 18 d (25 m)	UF River Meuse, sandy gravel aquifer	3,9- \log_{10} 6,0- \log_{10}	Medema & Stuyfzand 2002
Bakteriophage	37 bis 177 m	3 UF-Standorte (Ohio, Wabash & Missouri River)	2,1- \log_{10} bis >2,6- \log_{10}	Weiss, Bouwer et al. 2005
Bakteriophage	15 d (30 m)	UF River Rhine	6,2- \log_{10}	Schijven, Berger et al. 2002
Bakteriophage (somatisch)	13 m 18 d (25 m) 43 d (150 m)	UF River Meuse, Sandiger Kies-GWL	3,8- \log_{10} 5,1- \log_{10} 7,8- \log_{10}	Medema & Stuyfzand 2002
Bakteriophage (somatisch)	37 bis 177 m	3 UF-Standorte (Ohio, Wabash & Missouri River)	4,0- \log_{10} bis >4,4- \log_{10}	Weiss, Bouwer et al. 2005
Bakteriophage (somatisch)	1 m 4 m	UF (Yamuna River)	3,3- \log_{10} 4,6- \log_{10}	Sprenger, Lorenzen et al. 2009
Bakteriophage MS2 & PRD1 (male-specific)	2,4 m 29,4 m	Düneninfiltration	3- \log_{10} (2,4m) 8- \log_{10} (29,4m)	Schijven, Hoogenboezem et al. 1999
Adenovirus	50 m	UF (Yamuna river)	>4- \log_{10}	Sprenger, Lorenzen et al. 2009
Norovirus	50 m	UF (Yamuna river)	>4- \log_{10}	Sprenger, Lorenzen et al. 2009
Reoviridae	13 m	UF Meuse River, Sandiger Kies-GWL	3,7- \log_{10}	Medema & Stuyfzand 2002
PROTOZOEN				
<i>Giardia</i> cysts		UF City of Kearney	2- \log_{10}	Schijven, Berger et al. 2002
<i>Giardia</i> cysts		UF Sonoma County	2,5- \log_{10}	Schijven, Berger et al. 2002
<i>Giardia</i> cysts	27-177 m	3 UF-Standorte (Ohio, Wabash & Missouri River)	1,3- \log_{10} bis >1,9- \log_{10}	Weiss, Bouwer et al. 2005
<i>Cryptosporidium</i> oocysts	27-177 m	3 UF-Standorte (Ohio, Wabash & Missouri River)	0,9- \log_{10} bis >1,5- \log_{10}	Weiss, Bouwer et al. 2005