

BERICHT

Projekt : ANTIOCKER

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

VERBUNDPROJEKT MIKROBIELLE VEROCKERUNG, TEILPROJEKT 5:

Untersuchung der Abhängigkeit zwischen dem Auftreten mikrobieller Verockerung und den hydrochemischen und betrieblichen Eigenschaften von Trinkwasserbrunnen

Förderkennzeichen 02WT1188

Bearbeiter: Dr. Hella Schwarzmüller

Laufzeit: 01.02.2011 bis 31.01.2014, kostenneutral verlängert bis 31.07.2014

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

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des
Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen
02WT1188 gefördert. Die inhaltliche Verantwortung liegt bei den Autoren.

gefördert von



Berlin, Germany
2014

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.

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.

Impressum

Titel

Abschlussbericht gemäß Anlage 2 zu Nr. 3.2 BNBest - BMBF 98

Verbundprojekt Mikrobielle Verockerung, Teilprojekt 5

"Untersuchung der Abhängigkeit zwischen dem Auftreten mikrobieller Verockerung und den hydrochemischen und betrieblichen Eigenschaften von Trinkwasserbrunnen"

BMBF-Förderkennzeichen

02WT1188

Laufzeit

01.02.2011 - 31.07.2014

Autoren

Hella Schwarzmüller (KWB)

Christian Menz (KWB)

Bodo Weigert (KWB)

Endversion vom 30.10.2014

Danksagung

Die Autoren danken dem BMBF sowie den Berliner Wasserbetrieben und Veolia Eau für die finanzielle Förderung des Projektes und Prof. U. Szewzyk und seinem Team an der TU Berlin für die Projektkoordination. Den Mitarbeitern des Brunnen- und Messstellenservice der BWB und der Brunnenkolonnen vor Ort sei für die technische Unterstützung bei der Versuchsdurchführung gedankt.

Zusammenfassung

Im Fokus des Projektes "Mikrobielle Verockerung in technischen Systemen" standen neutrophile und acidophile Eisenbakterien, die in Leitungen, Brunnen und an und in Pumpen vorkommen und dort Ablagerungen unlöslicher Eisenverbindungen verursachen. In Brunnen, werden diese Ablagerungsprozesse, die den Zuström behindern und damit die Brunnenleistung mindern, auch als Brunnenalterung bezeichnet. Nach derzeitigem Stand des Wissens weisen in Deutschland dabei rund 80% der gealterten Brunnen biochemisch induzierte Eisenablagerungen auf (Houben & Treskatis 2002). Die Wiederherstellung der Brunnenleistung im Rahmen von Regenerierungen und präventiven Instandhaltungsmaßnahmen ist ressourcen- und energieintensiv, so dass ein besseres Verständnis der Schlüsselparameter und Lebensbedingungen der Eisenbakterien hilft, den Brunnenbetrieb und die Instandhaltungsmaßnahmen zu optimieren und die Brunnenalterung zu reduzieren.

Das Kompetenzzentrum Wasser Berlin (KWB) war einer von insgesamt 14 Verbundprojektpartnern in dem interdisziplinären Team aus Wissenschaftlern, Ingenieuren und Technikern. In Teilprojekt 5 standen Probenahmen von Berliner Betriebsbrunnen und das Datenmanagement des Gesamtprojektes im Mittelpunkt der Arbeiten. Inhaltlich knüpften die Felduntersuchungen an das von den Berliner Wasserbetrieben (BWB) initiierte und am KWB koordinierte Forschungsprojekt WELLMA (für 'well management') an.

Wesentliche Aufgabe des KWB war der frühzeitige Transfer der bei den Forschungspartnern erarbeiteten Ergebnisse in die Betriebspraxis bei den Berliner Wasserbetrieben (Teilprojekt 6). Dazu wurden Brunnen und Unterwassermotorpumpen aus der Trinkwassergewinnung der BWB durch die Projektpartner der TU Berlin (Teilprojekte 1a und 1b) hinsichtlich des Vorhandenseins und der Zusammensetzung biochemisch induzierter Eisenablagerungen untersucht. Neben Belagsproben von Pumpen bei Instandhaltungsarbeiten wurden dabei auch tiefenorientierte, zielgerichtete Proben aus dem Innenrohr (Vollrohr und Filterrohr) von Brunnen sowie Ablagerungsproben aus Steig- und Rohwassersammelleitungen entnommen und mikrobiologisch und chemisch untersucht. Eigene Feldarbeiten des KWB umfassten daneben in-situ-Messungen des Redoxpotentials im nahen Umfeld eines Brunnens sowie in-situ-Messungen der Feststofffracht (Trübung) in Abhängigkeit betrieblicher Randbedingungen. Wesentliche Ziele waren die Identifizierung von Schlüsselparametern zum Verständnis der Prozesse der Eisenverockerung und -rücklösung und die Quantifizierung des sich daraus ergebenden Verbesserungspotentials im Betrieb und der Instandhaltung aus dem Bezug der Untersuchungen auf die wasserchemischen, baulichen und betrieblichen Eigenschaften der untersuchten Brunnen.

Im Ergebnis wurden von März 2012 bis September 2013 Pumpen aus 26 von geplanten 30 Brunnen beprobt. Zu deren Auswertung wurden drei Cluster unterschieden:

- 1- Brunnen, bei denen die Pumpen stark eisenverockert waren
- 2- Brunnen ohne sichtbare Eisenverockerung, aber mit Biofilmen
- 3- Brunnen mit sauberen Pumpen

Der Abgleich mit im Rahmen von Instandhaltungsarbeiten erfolgten Kamerabefahrungen bestätigte einen Zusammenhang zwischen der Stärke der Verockerung der Pumpe und dem Vorhandensein und der Stärke von Ablagerungen im Filterrohrbereich.

Schlüsselparameter aus statistisch belastbaren Zusammenhängen zwischen den Eisenbakterien-Gemeinschaften, den chemisch-mineralogischen Ockereigenschaften und den wasserchemischen, baulichen und betrieblichen Parametern konnten jedoch nicht herausgearbeitet werden, da die Diversität der beteiligten Eisenbakterien höher als vermutet war und sich selbst direkt benachbarte Brunnen mit ähnlichen Eigenschaften hinsichtlich der Ocker stark unterschieden. Auch stellten die Probenahmen immer nur Momentaufnahmen der zeitlich hochvariablen Anströmbedingungen dar.

Inhalt

TEIL I KURZDARSTELLUNG.....	1
I.1 AUFGABENSTELLUNG.....	2
I.2 VORAUSSETZUNGEN, UNTER DENEN DAS VORHABEN DURCHGEFÜHRT WURDE	3
I.3 PLANUNG UND ABLAUF DES VORHABENS.....	4
I.4 WISSENSCHAFTLICHER UND TECHNISCHER STAND DES WISSENS.....	6
I.5 ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN.....	7
TEIL II EINGEHENDE DARSTELLUNG	8
II.1 VERWENDUNG DER ZUWENDUNG UND ERZIELTE ERGEBNISSE.....	9
II.2 POSITIONEN DES ZAHLENMÄßIGEN NACHWEISES.....	17
II.3 NOTWENDIGKEIT UND ANGEMESSENHEIT DER GELEISTETEN ARBEIT	17
II.4 VORAUSSICHTLICHER NUTZEN UND VERWERTBARKEIT DER ERGEBNISSE	18
II.5 FORTSCHRITT AUF DEM GEBIET DES VORHABENS BEI ANDEREN STELLEN.....	18
II.6 ERFOLGTE UND GEPLANTE VERÖFFENTLICHUNGEN DER ERGEBNISSE	19
TEIL III ERFOLGSKONTROLLBERICHT	20
III.1 BEITRAG ZU DEN FÖRDERPOLITISCHEN ZIELEN	21
III.2 WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHES ERGEBNIS.....	21
III.3 FORTSCHREIBUNG DES VERWERTUNGSPLANS	24
III.4 ARBEITEN, DIE ZU KEINER LÖSUNG GEFÜHRT HABEN	25
III.5 PRÄSENTATIONEN FÜR MÖGLICHE NUTZER.....	26
III.6 EINHALTUNG DER KOSTEN- UND ZEITPLANUNG.....	26
REFERENZEN	27
TEIL IV BERICHTSKONTROLLBLATT	29



Teil I

Kurzdarstellung

I.1 Aufgabenstellung

Ablagerungsprozesse in Brunnen, die den Zustrom behindern und damit die Brunnenleistung mindern, werden auch als Brunnenalterung bezeichnet. In Deutschland weisen rund 80% der gealterten Brunnen biochemisch induzierte Eisenablagerungen auf (Houben & Treskatis 2002; Orlikowski et al. 2010). Die Wiederherstellung der Brunnenleistung im Rahmen von Regenerierungen und präventiven Instandhaltungsmaßnahmen ist ressourcen- und energieintensiv und ein besseres Verständnis der Ablagerungsprozesse hilft, den Brunnenbetrieb und die Instandhaltungsmaßnahmen zu optimieren und die Brunnenalterung zu reduzieren.

Im Rahmen des Projektes Mikrobielle Verockerung in technischen Systemen - kurz ANTIOCKER - wurden Brunnen und Unterwassermotorpumpen aus der Trinkwassergewinnung (BWB) und der Tagebauentwässerung (RWE und Vattenfall) hinsichtlich des Vorhandenseins und der Zusammensetzung biochemisch induzierter Eisenablagerungen untersucht. Neben Belagsproben von Pumpen bei Instandhaltungsarbeiten wurden dabei auch tiefenorientierte, zielgerichtete Proben aus dem Innenrohr (Vollrohr und Filterrohr) von Brunnen sowie Ablagerungsproben aus Steig- und Rohwassersammelleitungen entnommen und mikrobiologisch und chemisch untersucht.

Aufgabe des Kompetenzzentrums Wasser Berlin (KWB) in Teilprojekt 5 war der frühzeitige Transfer der bei allen Verbundpartnern erarbeiteten anwendungsorientierten Ergebnisse zur Reduzierung biochemisch induzierter Eisenablagerungen in die Betriebspraxis v.a. der Berliner Wasserbetriebe (Teilprojekt 6) als Betreiber von ca. 700 Trinkwasserbrunnen. Dazu koordinierte KWB ein Testprogramm an 26 Betriebsbrunnen in Berlin (Abb. 1). Parallel oblag dem KWB die Konzeptionierung des Datenmanagements im Verbundprojekt und dessen Umsetzung in Form einer Datenbank zur Versuchsdokumentation. Diese bildete die Basis für die gemeinsame Auswertung der Versuche, mit dem Ziel, die Schlüsselparameter der mikrobiellen Eisenverwertung zu identifizieren und zur Optimierung der Betriebsbedingungen und Überwachung der Brunnenleistung zu nutzen.



Abb. 1: Schematische Darstellung der Aufgaben des KWB im Verbundprojekt ANTIOCKER: Schnittstelle zwischen anwenderorientierter Forschung und Praxis

I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Eisenbakterien, die in der Lage sind, in Wasser gelöstes Eisen in unlösliche Eisen(III)oxide ("Ocker") zu überführen bzw. diese je nach Bedingungen wieder zu lösen, sind schon lange bekannt (1970; Hässelbarth & Lüdemann 1967; Krems 1972). In technischen Systemen führen die Ablagerungen zu einer Reduzierung der freien Durchlassfläche und dadurch zu Leistungsverlusten. Besonders betroffen sind wasserführende technische Systeme wie Filterbrunnen, Pumpen und Rohrleitungen. Erschwerend für die Untersuchung und Charakterisierung der Eisenbakterien wirkt sich aus, dass sie in komplexen Gemeinschaften in Biofilmen leben, die einerseits Mikromilieus mit bestimmten Lebensbedingungen sowie Schutz bieten und andererseits auch Habitat für z.B. hygienisch relevante Organismen sein können. Hier bieten die kulturunabhängigen mikrobiologischen Methoden neue Möglichkeiten der Identifizierung und Quantifizierung.

Durch die Einbeziehung von insgesamt fünf assoziierten Industriepartnern sowie von forschenden KMUs aus dem Themenfeld Wassergewinnung in das ANTIOCKER-Konsortium (Tab. 1) wurde eine hohe Praxisrelevanz der Arbeiten der universitären Partner und die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Naturwissenschaftlern, Ingenieuren und Technikern sichergestellt. Die Möglichkeit, dabei parallel Trinkwassergewinnungs- und Tagebauentwässerungsbrunnen bearbeiten zu können, zielte einerseits auf die Unterscheidung acidophiler und neutrophiler Bakterien ab und andererseits auf den Vergleich der technischen Systeme. Aufgrund der wasserchemischen und betrieblichen Parameter war davon auszugehen, dass Verockerungsprozesse in Tagebaubrunnen schneller ablaufen als in Trinkwasserbrunnen und erstere dadurch eine schnellere Abfolge der Versuche in realen Systemen statt unter Laborbedingungen ermöglichen, die dann auf letztere Brunnen übertragen werden konnten.

Für das KWB knüpften die Arbeiten in ANTIOCKER an das 2012 abgeschlossene Projekt "Betrieb und Pflege von Trinkwasserbrunnen zur Optimierung der Leistung und der Wasserqualität" (WELLMA) an. In dessen Fokus standen

- die geochemische Modellierung der Eisenausfällung durch die betriebsbedingte Sauerstoffaufnahme (Teilprojekt WELLMA; (Schwarz Müller & Menz 2013; Taute et al. 2013)) sowie
- die Entwicklung eines In-situ-Nachweissystems für verockerungsrelevante Eisenbakterien (Teilprojekt WELLMA-DNA der AG Umweltmikrobiologie der TU Berlin; (Thronicker & Szewzyk 2011)).

Wesentliche Arbeitsgrundlage waren außerdem die Brunnendaten der Berliner Wasserbetriebe (BWB), die im Rahmen der kontinuierlichen Betriebs- und Zustandsüberwachung routinemäßig erhoben und in einer Brunnenmanagement-Datenbank verwaltet werden.

Die Auswahl der Untersuchungsstandorte und Formulierung der Arbeitshypothesen im Teilprojekt 5 knüpfte außerdem wesentlich an eine im Teilprojekt 6 durch BWB extern vergebene Brunnendatenanalyse mittels probabilistischer Statistik an, die zum Ziel hatte, die Datenbestände der BWB-Brunnen zu visualisieren und auf Abhängigkeiten von Betriebsparametern, Hydraulik und Hydrochemie zu prüfen.

Tab. 1: Konsortium der beteiligten wissenschaftlichen Partner (Teilprojekte) und Industriepartner

Zuwendungsempfänger		
Teilprojekt	Fachgebiet	Universität/ Organisation
1a	Umweltmikrobiologie	Technische Universität Berlin
1b	Wasserreinigung	
1c	Fluidsystemdynamik	
2	Aquatische Geomikrobiologie	Friedrich-Schiller-Universität Jena
3	Biofilm-Center/ Aquatische Mikrobiologie	Universität Duisburg-Essen
4	Wasserwesen	HTW Dresden
5	Nutzung und Schutz der Ressource Grundwasser	Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH
6	Forschung & Entwicklung	Berliner Wasserbetriebe
7	Institut für wissenschaftliche Fotografie Kage	
8	Hamann GmbH	
Assoziierte Partner		
1	Wasserversorgung	Arcadis
2	Automation & Software	Aucoteam
3	Unterwassermotorpumpen	KSB
4	Tagebauentwässerung	RWE
6	Tagebauentwässerung	Vattenfall

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Bearbeitung der Aufgaben in Teilprojekt 5 gliederte sich in zwei Arbeitspakete (AP):

- 1- Datenmanagement und Korrelation der Eisenbakterien mit physiko-chemischen und betrieblichen Brunneneigenschaften
- 2- Koordination und Dokumentation von Felduntersuchungen an Betriebsbrunnen der BWB

AP 1 beinhaltete dabei das Datenmanagement für das gesamte Verbundvorhaben, während AP 2 nur die Berliner Projektpartner - TU Berlin und BWB - direkt einbezog. Insbesondere AP 1 war daher stark von Beteiligung und Zuarbeit durch die Projektpartner abhängig. Wesentliche Schritte in den ersten Monaten waren Treffen mit allen beteiligten Partnern zur Festlegung der Inhalte, Auswahlparameter usw.

Die Bearbeitung der Aufgaben in den Arbeitspaketen gliederte sich wie folgt:

3.1 Arbeitspaket 1 - Datenmanagement

	Arbeitsschritt	Beteiligte Projektpartner	Zeitraum / Meilenstein
1.	Entwurf der Datenbank-Beziehungen	TUB - TP1a	Präsentation beim ersten Statustreffen 07.10.2011

2.	Entwurf der Protokolle: Parameterumfang und Feldzuordnungen zu Analysetyp, Versuchsart usw.	TUB - TP1a BWB Feedback alle Partner	Präsentation beim zweiten Statustreffen 30.03.2012
3.	Umsetzung in MS Access: Erstellung der Formulare zur Datenerfassung Einarbeitung der vorgegebenen Probenahme-Parameter Erstellung von Berichten		Bereitstellung V01 auf dem internen Projektserver 31.10.2012
4.	Dokumentation der Datenbankerstellung		
5.	Füllen der Datenbank / Versuchsdokumentation	entgegen der ursprünglichen Planung durch KWB; Datenbereitstellung: TP1a; TP2; TP3	Bereitstellung V02 auf dem internen Projektserver 28.10.2013
6.	Überarbeitung v1: Anpassung der Berichtslayouts, ...		Abschluss der Arbeiten 15.01.2014

Folgende Dokumente lagen nach Abschluss der Arbeiten allen Projektpartnern vor:

- 20140115_ANTIOCKER_Datenbank.mdb
- 20130610_ANTIOCKER_Dokumentation der Projektdatenbank v1.pdf

3.2 Arbeitspaket 2 - Feldversuche Berlin

	Arbeitsschritt	Beteiligte Projektpartner	Zeitraum / Meilenstein
1.	Festlegung des Umfangs der Brunnen- Datenbank	BWB	01.02.2011 Treffen mit BWB-FE und datenmeer 16.05.2011 Treffen BWB
2.	Übergabe der Brunnendaten an die Fa. datenmeer (TP6)	BWB	07.10.2011 Präsentation der Zwischenergebnisse beim ersten Statustreffen 04.11.2011 Treffen KWB-datenmeer
3.	Formulierung der Arbeitshypothesen und Ableitung der Auswahlparameter zur Festlegung der Versuchsstandorte	BWB, datenmeer	12.12.2011 Ergebnispräsentation datenmeer 30.03.2012 Präsentation beim zweiten Statustreffen
4.	Bedarfsanalyse BWB und Brunnenauswahl	BWB, TUB	Präsentation beim zweiten Statustreffen 30.03.2012

5.	Felduntersuchungen: <ul style="list-style-type: none"> - Entnahme von Ockerproben - Entnahme von Wasserproben - kontinuierliche Redoxmessungen - Trübungsmessungen - Probenahme aus dem Brunneninneren 	BWB, TUB, HTW, Biofilm-Center, Kage	regelmäßige Treffen "AG Berlin" 21.06.2012 23.08.2012 08.10.2012 22.01.2013 21.03.2013 15.05.2013 06.08.2013 27.01.2014
6.	Dokumentation und Auswertung	TUB - TP 1a, 1b BWB	fortlaufende Präsentation bei den Statustreffen 12.04.2013 30.10.2013 11.04.2014

Folgende Dokumente lagen nach Abschluss den beteiligten Projektpartnern vor:

- 20120210_ANTIOCKER_Abschlussbericht Datenmeer.pdf
- 20131001_ANTIOCKER_Doku_Redox TEGhzk-18.pdf
- 20131120_ANTIOCKER_Doku_TSS Tegsaat.pdf
- 20140926_ANTIOCKER_Doku_Probenahme HTW.pdf
- 20140929_ANTIOCKER_Doku_Probenahme Pumpen.pdf

I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand des Wissens

Zwei Drittel des Trinkwassers in Deutschland werden mittels Brunnen aus dem Grundwasser gewonnen (Wicklein & Steußloff 2006). Dabei greifen Brunnen in das natürliche System von Grundwasserleitern und Grundwasser ein, so dass Auswirkungen auf das System Wasser-Boden sehr wahrscheinlich sind. Sie führen zu so genannten Brunnenalterungsprozessen, die physikalisch, chemisch oder mikrobiologisch induziert sein können. Die Geologie des genutzten Grundwasserleiters, die qualitative Beschaffenheit des Grundwassers, die Dimensionierung des Brunnens, die Bauweise und der Betrieb sind wesentliche Faktoren, die Art, Ausdehnung und Ort der Ablagerungen bestimmen. Ihre Funktion als Schlüsselparameter der Brunnenalterung wurde am KWB im Rahmen des Forschungsprojektes WELLMA (2007-2012) in Berlin intensiv untersucht.

In WELLMA erarbeiteten die BWB, der französische Umweltdienstleister Veolia, die AG Mikrobiologie der TU Berlin (Teilprojekt WELLMA-DNA), die AG Hydrogeologie der Freien Universität Berlin sowie das Brunnenservice-Unternehmen pigadi GmbH unter Koordination des KWB aus der Untersuchung der hydro- und biochemischen Prozesse beim Schalten von Brunnen Empfehlungen für einen optimierten Betrieb und die verbesserte Überwachung des Brunnenzustandes (Schwarz Müller & Menz 2013). Diese stellten den wissenschaftlichen und technischen Stand des Wissens dar, an den im Rahmen von ANTIOCKER angeknüpft wurde.

Eine umfassende Erarbeitung des Standes von Technik und Forschung auf Basis der deutsch- und englischsprachigen Literatur war dabei Teil des Projektes WELLMA (Schwarz Müller et al. 2011a). Ebenso konnte in ANTIOCKER auf eine im Rahmen von WELLMA erstellte Brunnendatenbank zurückgegriffen werden, die Stamm- und Betriebsdaten der Betriebsbrunnen der BWB enthielt. Messstellen sowie in WELLMA installierte Datenlogger wurden in ANTIOCKER weitergenutzt.

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

5.1 Intern

Teilprojekt 5 beinhaltete das Datenmanagement für die Versuchsdokumentation des gesamten Verbundvorhabens. Mit allen Projektpartnern wurden die Datenbankstruktur und der Parameterumfang fortlaufend diskutiert und abgestimmt.

Im Rahmen der Versuchskoordination an den Betriebsbrunnen der BWB waren vor allem die Projektpartner der TU Berlin (im wesentlichen Teilprojekte 1a und 1b) stark eingebunden. Die fortlaufende Koordinierung der Versuche, Daten und Ergebnisse erfolgte im Rahmen einer "AG Berlin" in regelmäßigen Treffen. Dazu wurden auch die Mitarbeiter der Wasserwerke sowie, wenn erforderlich des Brunnenservice eingeladen. Aus der engen Anbindung des KWB an die Fachabteilungen der BWB ergaben sich Synergien hinsichtlich der Koordination des Testprogramms mit den regulären Instandhaltungsmaßnahmen an den Trinkwasserbrunnen. Dies half, Doppelanalysen zu vermeiden und die Auswirkungen der Forschungsarbeiten auf den Routinebetrieb der Brunnen gering zu halten.

Aus dem Verbundvorhaben resultierte für KWB außerdem für 2014 ein Auftrag durch den assoziierten Partner RWE zur gemeinsamen Bearbeitung weiterer Fragestellungen zur Optimierung des Brunnenbaus und -betriebs spezifisch für die Tagebauentwässerungsbrunnen der RWE.

5.2 Extern

Wie bereits im Antrag erläutert, betreute das KWB fachlich die in Teilprojekt 6 (BWB) vergebene Auswertung aller Betriebsdaten der BWB mittels probabilistischer Statistik. Diese diente als Basis zur Formulierung von Arbeitshypothesen und zur Auswahl besonders zu untersuchender Brunnen zur Bewertung der Hypothesen. Die Datenauswertung wurde im Auftrag der BWB durch das Berliner Start-Up Unternehmen Datenmeer GmbH durchgeführt, einer Ausgründung des FB Maschinelles Lernen der TU Berlin. Im Rahmen der fachlichen Betreuung organisierte KWB die Datenbereitstellung und stand den Datenmeer-Ingenieuren als Ansprechpartner während der gesamten Bearbeitung zur fortlaufenden Abstimmung der Vorgehensweise zur Verfügung, um alle Fragen hinsichtlich des Brunnenbetriebs und/ oder der Eignung bestimmter Werte als Überwachungs- oder Schlüsselparameter zu diskutieren.

Aus der zeitlichen Überschneidung zu Anfang des Projektes ANTIOCKER mit dem im Juni 2012 abgeschlossenen Projekt WELLMA ergaben sich außerdem Zusammenarbeiten mit den WELLMA-Partnern FU Berlin und pigadi GmbH für die Durchführung gemeinsamer Untersuchungen an ausgewählten Brunnen und Messstellen, an denen in WELLMA begonnene in-situ-Messungen in ANTIOCKER fortgesetzt wurden.

Aus dem Teilprojekt WELLMA-DNA ging die Blue Biolabs GmbH als Ausgründung hervor. Auch hier wurden in WELLMA begonnene Arbeiten zum Monitoring von Eisenbakterien in Betriebsbrunnen der BWB in ANTIOCKER bzw. für Blue Biolabs im Rahmen einer EXIST-Förderung gemeinsam fortgesetzt.



Teil II

Eingehende Darstellung

II.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

An der Schnittstelle zwischen der Erforschung der Lebensbedingungen von Eisenbakterien unter kontrollierten Versuchsbedingungen in Labor- und Pilotversuchen im Rahmen der universitären Teilprojekte und den Anforderungen aus der betrieblichen Praxis der beteiligten Brunnenbetreiber waren das Datenmanagement (AP 1) und die Versuchskoordination und -dokumentation an den Berliner Trinkwasserbrunnen (AP 2) die Hauptaufgaben des KWB. Wesentliche Ziele in Teilprojekt 5 waren die Identifizierung von Schlüsselparametern zum Verständnis der Prozesse der Eisenverockerung und -rücklösung und die Quantifizierung des sich daraus ergebenden Verbesserungspotentials im Betrieb und der Instandhaltung von Trinkwasserbrunnen.

1.1 AP 1 - Datenmanagement

Aufgabenstellung gemäß Antrag

1. Konzeptionierung und Umsetzung einer Datenbank zur Versuchsdokumentation
2. Hauptkomponentenanalyse der durch die Partner dokumentierten Daten zur Ableitung von Korrelationen der Eisenbakterien mit physiko-chemischen und betrieblichen Brunneneigenschaften
3. *gemeinsam mit TP6*: Vorbereitung und fachliche Begleitung der (in Teilprojekt 6 extern vergebenen) Brunnendaten-Analyse mittels probabilistischer Statistik

1.1.1 Datenbank zur Versuchsdokumentation

Methodik

Als Grundlage zur Erstellung der Datenbank diente ein gemeinsames Probenahme-Protokoll, das basierend auf dem Gesamtantrag und den Vorarbeiten in den Teilprojekten TP1a und TP5 entwickelt wurde. Es umfasste insgesamt vier Abschnitte auf drei Seiten, die möglichst bei der Probenahme vor Ort ausgefüllt werden sollten.

Die Datenbank wurde als relationale Datenbank konzeptioniert. Zur Dateneingabe und Berichtsabfrage sollte eine grafische Benutzeroberfläche integriert sein, die sich wiederum am Protokoll orientierte. Als zentrales Element der Datenerfassung wurde die Probe definiert, die mikrobiologisch, chemisch und/ oder physikalisch untersucht werden konnte. Proben konnten Wasser- oder Ockerproben aus den Brunnen oder aus der Exponierung von Aufwuchsträgern sein. Auch In-situ-Messungen sollten dokumentiert werden können (Abb. 2).

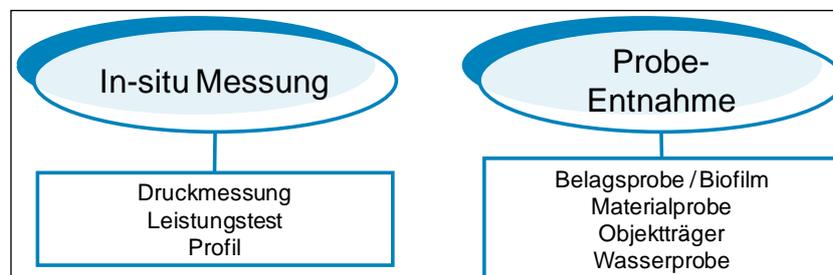


Abb. 2: Versuchstyp und zugeordnete Probenarten

Im ersten Schritt wurden die Anforderungen an die einzelnen Komponenten der Datenbank beschrieben. Entsprechend der Zielstellung, alle Versuche der Projektpartner zu dokumentieren, wurden folgende Anforderungen an den Funktionsumfang festgelegt.

In der Datenbank enthalten sein sollten:

- das Erstellen einheitlicher Protokolle für die Probenahme (Feld), In-situ-Messungen (Feld) sowie die weitere Untersuchung der Proben (Laboranalysen)
- die zentrale Speicherung aller in den Protokollen erfassten Daten und Werte zu den Proben
- die Abfrage von Probedaten und Messwerten
- das Erstellen einheitlicher Berichte zu den Proben
- der Export von Berichts- und Messdaten nach Excel zur weiteren (arbeitsgruppeninternen) Auswertung durch die Projektpartner.

Nach der grundsätzlichen Diskussion der Inhalte des Probenahmeprotokolls, des Konzeptes und der Hauptfunktionen der Datenbank während des ersten Statustreffens des Projektes im November 2011 wurde die Datenbank in 2012 im Rahmen eines Praktikums des Studiengangs Biomathematik der Hochschule Zittau-Görlitz in MS Access 2002 und MS Visual Basic 6.5 erstellt. Die Verwendung von MS Access wurde vorgeschlagen, da es

- die Installation spezieller Software seitens der Nutzer unnötig macht,
- eine komfortable Umgebung für die Entwicklung grafischer Benutzeroberflächen bietet,
- durch VBA modular aufgebaut und daher gut erweiterbar ist.

Zur inhaltlichen Konzeption wurden die möglichen Probenahmeorte und -stellen sowie die Untersuchungsmethoden von den Partnern abgefragt. Für letztere waren insbesondere auch die Bestimmungsgrenzen und Gültigkeitsgrenzen anzugeben, um die Dateneingabe auf Plausibilität prüfen zu können. Da eine Probe i.d.R. im Rahmen verschiedener Teilprojekte mit unterschiedlichen Methoden untersucht, dann aber gemeinsam ausgewertet werden sollte, wurden außerdem folgende Festlegungen getroffen:

- Derjenige, der die Probe nimmt, legt sie in der Datenbank an.
- Vor der Probenahme wird aus der Datenbank das Feldprotokoll erzeugt. Dabei wird automatisch eine (fortlaufende) Probenummer vergeben, die von der Datenbank dann auf allen weiteren Protokollen automatisch eingetragen wird.
- Vor Versand einer Probe werden die Protokolle zu den gewünschten Laboruntersuchungen aus der Datenbank erzeugt und zusammen mit einer Kopie des Probenahme-Protokolls der Probe beigelegt.
- Die Eingabe der Ergebnisse der Laboruntersuchungen erfolgt durch das die Untersuchungen durchführende Teilprojekt. Die Zuordnung erfolgt über die Auswahl der entsprechenden Probenummer.

Die wesentlichen Geschäftsprozesse für die Erstellung der Datenbank waren daher die Erzeugung der Protokolle, die Datenerfassung und die Erstellung von Berichten. Zusätzlich wurde ein Geschäftsprozess Datenpflege definiert, da der volle Umfang insbesondere der Probenahmestandorte und analysierten Parameter aller Teilprojekte zum Zeitpunkt der Erstellung der Datenbank nicht vorlag. Back-end und Front-end wurden in einer gemeinsamen Datei integriert.

Ergebnisse

Wesentliches Element der Datenbank sind insgesamt 17 Tabellen, von denen die meisten als Schlüsseltabellen dienen. Alle besitzen eine ID vom Felddatentyp "Autowert", der als Primärschlüssel mitgeführt wird. Das ID-Feld steht immer an erster Stelle. Die Haupttabellen zur Datenerfassung und -speicherung sind

- *tblProbe* mit allen Angaben zur Probenahme und
- *tblErgebnis* mit allen Messwerten aller ermittelten Parameter einer Probe.

Die Zuordnung der Parameter und den Methoden zu den vordefinierten Analyse- und Versuchstypen erfolgte über die Vergabe von IDs in den Schlüsseltabellen. Die Inhalte der Schlüsseltabellen konnten jederzeit durch die Projektpartner selbständig ergänzt werden, sollten z.B. im Projektverlauf weitere Probenahmeorte, Analysetypen usw. hinzukommen.

Die Benutzeroberfläche wurde in Form von Registerkarten mit einem fest stehenden Kopfbereich gestaltet. Deren Layout wurde in Formularen entworfen, die i.d.R. Textfelder und Kombinationsfelder enthalten. Nach Aufruf eines Formulars können sofort neue Daten eingetragen werden. Um fehlerhafte Einträge weitest möglich auszuschließen, wurden bevorzugt Auswahllisten möglicher Antwort-Optionen angelegt. Vorhandene Daten konnten eingesehen, jedoch nicht bearbeitet oder gelöscht werden. Die Gliederung der Datenerfassung (Register "Probenahme" und "Ergebnis") orientierten sich an den Probenahmeprotokollen (vgl. Abb. 3).

Die Programmierung einschließlich Programm-Code wurde in einem Praxissemesterbericht dokumentiert (Linge 2012, unveröffentlicht) sowie mit Hinweisen zur Bedienung der Datenbank in einer Technischen Dokumentation zusammengefasst. Letztere wurde zusammen mit der Datenbank allen Projektpartnern auf dem internen Teil der Projekthomepage zur Verfügung gestellt.



Abb. 3: Hauptfenster - Aufbau entsprechende der Konzeption der erforderlichen Geschäftsprozesse

1.1.2 Hauptkomponentenanalyse

Methodik

Analog zur erweiterten statistischen Analyse der Brunnendatenbank der BWB im Rahmen von WELLMA-1 (Orlikowski & Schwarzmüller 2009) sollte basierend auf den in der Versuchsdokumentation erfassten chemischen, hydraulischen und mikrobiologischen Untersuchungen der in ANTIOCKER genommenen Proben eine multivariate lineare Regressionsanalyse zur Ableitung von Korrelationen zwischen dem Auftreten bestimmter Eisenbakterien und den chemisch-hydrologischen Lebensbedingungen in den Brunnen erfolgen.

Ergebnisse

Zu Abschluss des Projektes lagen in der Datenbank zur Versuchsdokumentation Daten von 381 Proben mit insgesamt 1608 Werten vor. Proben, von denen sowohl Vor-Ort-Parameter als auch chemische und mikrobiologische Parameter umfassend bestimmt wurden, waren jedoch nicht verfügbar, so dass sich die Untersuchung auf Korrelationen auf die bei den BWB erhobenen Daten beschränkte (vgl. AP 2).

1.1.3 Fachliche Begleitung der Datenanalyse mittels probabilistischer Statistik

Methodik

In der Datenanalyse mittels probabilistischer Statistik erfolgte eine multikriterielle Clusteranalyse aller verfügbaren Parameter der Betriebsbrunnen der BWB.

Dazu wurde zunächst der Parameterumfang der zu übergebenden Daten abgestimmt. Nach Festlegung des Datenumfangs wurde im Rahmen des Teilprojekts 5 die aus dem Projekt WELLMA vorliegende Brunnendatenbank ergänzt und validiert. Danach wurde die Methode des Auftragnehmers an den Daten einer einzelnen Brunnengalerie getestet. Nach Auftrag durch BWB im Teilprojekt 6 oblag dem KWB die Datenbereitstellung. Dazu wurde die ergänzte Brunnendatenbank (mdb) an den Auftragnehmer, die Datenmeer GmbH übergeben. Nach der Grundvisualisierung der Datengesamtheit durch Datenmeer wurden in gemeinsamer Diskussion Zusammenhänge als relevant herausgearbeitet. Dabei oblag dem KWB die fachliche Expertise im Bereich Brunnenbau, Hydrochemie und Brunnenbetrieb.

Ergebnisse

Datenumfang und Zuverlässigkeit der Messung aus der kontinuierlichen Aufzeichnung der Tagesfördermenge der Galerien und Einzelbrunnen erlaubten den Bezug zur Überwachung des Brunnenzustandes. Normiert auf die Nennleistung der installierten Betriebspumpe ist die Tagesfördermenge trotz gegenseitiger Beeinflussung der Brunnen im Galeriebetrieb geeignet, das Vorhandensein von Ablagerungen aus der kontinuierlichen Abnahme des Volumenstroms (Tagesdifferenz der Fördermengen) ableiten zu können. Da die Fördermenge eines Brunnens zunehmend kontinuierlich erfasst und fernübertragen wird, bietet sich zukünftig die Erstellung automatisierter Auswertelgorithmen zur Klassifizierung des Alterungszustandes der Brunnen an.

Von den vorliegenden wasserchemischen Daten zeigte ein bestimmter Bereich der elektrischen Leitfähigkeit als einziger Parameter eine doppelt so hohe Wahrscheinlichkeit der Verockerung.

Alle Verfahrensschritte und Ergebnisse wurden durch Datenmeer in einem Abschlussbericht dokumentiert (Stanski & Trenner 2012, unveröffentlicht).

1.2 AP 2 - Feldversuche Berlin

Aufgabenstellung gemäß Antrag

1. Vorauswahl der Versuchsbrunnen basierend auf den Schlussfolgerungen aus der Datenmeer-Analyse
2. Aufstellen des Versuchsplans für die Betriebsbrunnen der BWB
3. Koordinierung, Betreuung und Dokumentation der Versuche
4. Quantifizierung der Ergebnisse und Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Reduzierung des Verockerungspotentials im Routinebetrieb

Methodik

Aufbauend auf den Erkenntnissen der Vorläufer-Projekte WELLMA und der gemeinsamen Diskussion der Ergebnisse der Datenanalyse mittels probabilistischer Statistik (vgl. Teil II 1.1.3) wurden zunächst Faktoren der Rohwasserchemie, des Brunnenausbaus und -betriebs zur Brunnenauswahl festgelegt (Abb. 4a). Um Doppelanalysen und unnötige Störungen der Betriebsabläufe bei den BWB zu vermeiden, wurde anschließend die Instandhaltungsplanung der BWB für die Projektlaufzeit abgefragt (Abb. 4b) und eine Matrix aus Brunnen in der Instandhaltungsplanung und deren Eigenschaften hinsichtlich der festgelegten Faktoren aufgestellt (Abb. 4c). Aus dieser Liste wurden Brunnen ausgewählt, die in einem oder mehreren Schlüsselparametern Auffälligkeiten aufwiesen und in 2012/2013 instandgehalten wurden. Die Instandhaltungsarbeiten boten dabei die Möglichkeit bei der Deinstallation der Betriebspumpe Zugang zu Eisenablagerungen aus den Brunnen zu bekommen. Die Proben werden im Folgenden als "Pumpenocker" bezeichnet.

Parameter / Ziel		mögliche Brunnen		
		niedrig	mittel	hoch
<u>Indikatoren Statistik WELLMA1</u>				
Kamerabefahrung: verockert				
H2O2				
Qs				
<u>Schlüsselfaktoren Statistik WELLMA 1</u>				
Eisengehalt Rohwasser				
Mangengehalt Rohwasser				
Nitratgehalt Rohwasser		TEGost01	TEGost02	TEGost03

1	NB_NAME_PEGEL	BRU_PLAN_JAHR	BRU_PLAN_PW	BR
1	WUHwest79-/75U			0
2	TEG Horizontalfilterbrunnen	2009		0
3	WUHost-01-/74V	2009		0
4	JUNwest18-/64V	2010		0
5	JUNwest17-/64V	2010		0
6	JUNwest16-/65V	2010		0
7	JUNwest19-/64V	2010		0
8	JUNwest21-/64V	2010		0
9	STOnord27-/01V	2011		0
10	SPAKuhl03-/78V	2011		0
11	SPAKuhl04-/78V	2011		0
12	SPAKuhl11-/77V	2011		0

1	D	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Name des Brunnens	Material	Durchmesser	Tiefe	FOK [u GOK]	anzahl Filte	OKE [u OKS]	Q Nenn	LF	Redox	NO3	Fe
2	BEGrfe14-/2003V	Edelstahl-Wickeldrahtfilter	400	69,14	59,14	1	12,16	60,00	879	87,00	0,10	2,10
3	BEGrfe15-/2004V	Edelstahl-Wickeldrahtfilter	400	78,25	56,25	3	9,34	100,00	1088	91,00	0,10	2,20
4	BEGrfe17-/2004V	Edelstahl-Wickeldrahtfilter	400	79,14	57,14	1	8,30	100,00	530	105,00	0,10	1,60
5	BEGrfe19-/2003V	Edelstahl-Wickeldrahtfilter	400	81,07	59,07	1	9,77	80,00	608	106,30	0,10	2,10
6	BEEInd21-/2002V	Edelstahl-Wickeldrahtfilter	400	72,62	51,62	1		150,00	513	161,50	0,10	2,10
7	BEEInd22-/2002V	Edelstahl-Wickeldrahtfilter	400	74,79	51,79	1		150,00	535	89,20	0,10	2,40
8	BEEInd23-/2002V	Edelstahl-Wickeldrahtfilter	400	79,43	55,43	2		150,00	726	164,70	0,10	2,80
9	BEEInd24-/2002V	Edelstahl-Wickeldrahtfilter	400	78,82	59,82	1		140,00	639	86,50	0,10	2,30
10	BEEInd25-/2002V	Edelstahl-Wickeldrahtfilter	400	81,00	52,00	2		120,00	595	174,20	0,10	3,00
11	BEWies01-/1966V	Brückenschlitzf., Kupfer	200	87,58	19,68	3	16,33	150,00	671	135,20	0,10	2,20
12	BEWies03-/1967V	Brückenschlitzf., Kupfer	200	85,88	23,98	4		100,00	1460	102,20	0,10	2,00
13	FRIF-04-/1981V	Steinzeug	350	32,50	23,50	1	18,56	70,00	772	94,60	0,10	1,30
14	FRIF-05-/1981V	Steinzeug	350	35,10	27,10	1	18,02	50,00	764	113,00	0,10	1,30
15	FRIF-06-/1981V	Steinzeug	350	33,00	25,00	1	16,87	50,00	758	100,40	0,10	0,85
16	FRIF-07-/1981V	Steinzeug	350	35,00	27,00	1	16,92	50,00	756	92,30	0,10	1,60
17	FRIF-08-/1992V	Brückenschlitzf., Stahl mit Hag	400	48,78	23,20	3	17,13	50,00	777	15,70	0,10	1,50
18	FRIF-09-/1981V	Steinzeug	350	31,00	21,00	1	17,00	50,00	746	95,10	0,10	1,10
19	FRIF-10-/1981V	Steinzeug	250	34,90	24,90	1	20,46	50,00	783	95,20	0,10	1,40
20	FRIF-11-/1992V	Brückenschlitzf., Stahl mit Hag	400	36,58	22,08	2	16,72	100,00	754	130,40	0,10	0,98
21	FRIF-12-/1981V	Steinzeug	350	30,60	20,60	1	17,12	80,00	785	29,00	0,10	1,20
22	FRIF-13-/1981V	Steinzeug	350	32,60	24,90	1	16,49	80,00	743	39,70	0,10	1,40
23	FRIF-14-/1981V	Steinzeug	350	29,20	20,20	1	17,27	80,00	741	130,70	0,10	1,00
24	FRIF-15-/1981V	Steinzeug	350	33,30	25,30	1	16,54	80,00	774	48,60	0,10	1,20
25	FRIF-16-/1981V	Edelstahl-Wickeldrahtfilter, le	250	29,90	23,90	1	18,59	75,00	798	90,00	0,10	2,50
26	FRIF-17-/1981V	Edelstahl-Wickeldrahtfilter, le	300	19,10	12,30	1	25,36	50,00	867	70,00	0,10	2,70
27	FRIF-18-/1981V	Steinzeug	250	35,00	27,10	1		80,00	656	44,60	0,10	1,10
28	FRIF-19-/1992V	Brückenschlitzf., Stahl mit Hag	400	39,30	22,30	1	16,93	80,00	806	115,00	0,10	1,30

Abb. 4: Auszug aus der Vorauswahl Betriebsbrunnen der BWB basierend auf a) den identifizierten Faktoren und b) der Instandhaltungsplanung der BWB, zusammengefasst in c) einer Auswahlmatrix; farblich hinterlegt sind die im Verlauf von ANTIOCKER untersuchten Brunnen

Für die weitere Koordination der Feldarbeiten fanden regelmäßige Arbeitsgruppentreffen der Berliner Partner statt, bei denen Daten ausgetauscht, Ergebnisse diskutiert und die nächsten Versuche geplant wurden. Die Beiträge der einzelnen Teilprojekte zeigt schematisch Abb. 5.

Alle Teilarbeiten flossen in eine fortlaufend aktualisierte Übersicht der Probenahme ein, auf deren Grundlage die Zusammenstellung der weiteren betrieblichen Daten vorgenommen wurden. Die Übersicht enthielt:

- i) Datum und optischer Befund der Probenahme von Pumpenockern
- ii) Anzahl Proben, Bearbeiter vor Ort
- iii) Verteiler Probematerial
- iv) Datum der Beprobung des Rohwassers
- v) Ergebnis der TV-Untersuchung vor Instandhaltung und Ergebnis der Instandhaltung

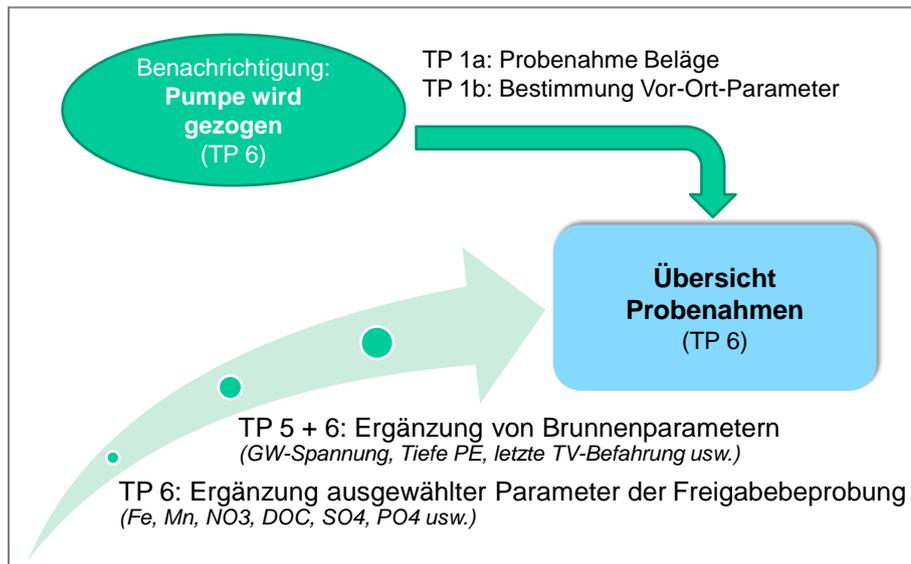


Abb. 5: Koordination der Versuche und Austausch der Ergebnisse in der "AG Berlin", betreut im Rahmen von Teilprojekt 5, AP 2

Alle rohwasserchemischen und betrieblichen Daten wurden zusammen mit den Ergebnissen der mineralogisch-chemischen Untersuchungen in einer Auswertungstabelle zusammengefasst, die

1. zur Prüfung der Korrelationen verwendet und
2. in die Datenbank zur Versuchsdokumentation integriert wurde.

Ergänzend erfolgten in Teilprojekt 5 eigene Feldversuche mit dem Ziel, den Einfluss des Ablagerungsortes der Eisenverockerungen auf den Leistungsverlauf der Brunnen durch in-situ-Untersuchungen in Fortführung der WELLMA-Arbeiten zu charakterisieren. Dazu wurden Redoxmessungen im Brunnenumfeld und Trübungsmessungen im Routinebetrieb durchgeführt. Außerdem wurde gemeinsam mit Teilprojekt 4 (HTW Dresden) der Einsatz des speziell zur Belagsprobennahme im Filterbereich entwickelten Gerätes an Betriebsbrunnen der BWB geplant, um die Belagsproben von Pumpen mit Verockerungen im Filterbereich von Brunnen korrelieren zu können. KWB koordiniert dabei die Vorab-Planung und Brunnenauswahl mit dem Brunnen- und Messtellenservice der BWB sowie die Festlegung des Beprobungsplans mit den Partnern.

Die Quantifizierung und Ableitung von Handlungsempfehlungen basierte auf den technischen Dokumentationen der einzelnen Versuche, in denen die aufgestellten Hypothesen bewertet wurden. Insbesondere die Auswertung der Probenahmen von Pumpenockern und aus dem Brunneninneren sowie die Redoxuntersuchungen im nahen Umfeld eines Brunnen wurden zur Identifizierung der Schlüsselparameter herangezogen. Datenbasis war die o.g. Auswertungstabelle. Von anderen im Rahmen der ANTIOCKER-Teilprojekte untersuchten Standorten lagen keine ausreichenden Daten vor.

Ergebnisse

Auswertung der Probenahmen von Pumpenockern

Die Brunnen zur Untersuchung der Eisenbakterien-Besiedlung in Abhängigkeit rohwasserchemischer Parameter wurden für folgende, bereits aus WELLMA geschlussfolgerte sowie der aus der probabilistischen Statistik abgeleiteten Faktoren geplant:

- das Redoxpotential,
- die Leitfähigkeit,
- Eisen-, Mangan- und Nitratgehalte des Brunnenwassers,
- die Fördermenge Q,
- die Brunnentiefe sowie
- die Tiefe des ersten Filters,
- das Ausbaumaterial.

Im Rahmen der Instandhaltungsmaßnahmen konnten innerhalb des Probenahmezeitraums von März 2012 bis September 2013 26 von geplanten 30 Brunnen beprobt werden. Zu deren Auswertung wurden drei Cluster unterschieden:

- 4- Brunnen, bei denen die Pumpen stark eisenverockert waren
- 5- Brunnen ohne sichtbare Eisenverockerung, aber mit Biofilmen
- 6- Brunnen mit sauberen Pumpen

Der Abgleich mit den Ergebnissen der im Rahmen der Instandhaltungsarbeiten erfolgten Kamerabefahrungen zur Feststellung des Brunnenzustandes bestätigte einen Zusammenhang zwischen der Stärke der Verockerung der Pumpe und dem Vorhandensein und der Stärke von Ablagerungen im Filterrohrbereich. Die Belagsproben von Pumpen waren damit geeignet, die Ablagerungsprozesse im Brunninneren gut zu repräsentieren, so dass Rückschlüsse auf die Lebensbedingungen der Eisenbakterien aus dem Vergleich der Pumpenablagerungen mit rohwasserchemischen Parametern grundsätzlich möglich waren.

Die Ockerproben aus Cluster 1 wurden im Rahmen von Teilprojekt 1a mittels DGGE-Fingerprinting mikrobiologisch und mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) chemisch-mineralogisch charakterisiert, die Proben aus Cluster 2 wurden nur mittels DGGE untersucht, und die Ergebnisse anschließend unter Einbezug der Wasserchemie und betrieblicher Daten gemeinsam ausgewertet. Dabei zeigten die Brunnen jedoch keine linearen Abhängigkeiten und Korrelationen (vgl. auch Schröder et al. 2014 für die DGGE-Ergebnisse).

Trotz der geringen Schwankungsbreiten wasserchemischer Parameter (vgl. Abb. 6 links) aufgrund der hydrogeologischen Gegebenheiten Berlins und der Lage aller untersuchten Brunnen im selben Grundwasserleiter wiesen die Pumpenocker erhebliche Unterschiede in der Zusammensetzung der Eisenbakterien-Gemeinschaften auf. Die Brunnen der drei Cluster ließen sich hinsichtlich der Parameter pH, Eh, Leitfähigkeit, Nitrat-, Ammonium-, DOC-, Phosphat-, Eisen(II)- und Mangankonzentration sowie der betrieblichen Parameter spezifische Ergiebigkeit, Betriebsstunden seit letztem Pumpenwechsel und präventiver Behandlung mit H₂O₂ (ja/ nein) hinsichtlich Mittelwerten, Minima und Maxima nicht klar voneinander abgrenzen. Die wasserchemischen Parameter ähnelten sich für alle Proben unabhängig vom Verockerungsgrad der Pumpen. Abb. 6 zeigt dazu beispielhaft Boxplots für die getesteten Parameter pH-Wert und Betriebsstunden seit letztem Pumpenwechsel. In den Boxplots entspricht die untere Begrenzung der Box dem 25%-Quartil der Werte und die obere dem 75%-Quartil, der Median (50%-Quartil) wird durch die waagerechte Linie repräsentiert und der Mittelwert durch das °-Symbol. Die "Whisker" genannten Bereiche außerhalb der Box umfassen das 1,5-fache des Interquartilabstandes bzw. den kleinsten und größten gemessenen Wert. Werte außerhalb dieses Bereiches gelten als Ausreißer und sind durch ein "x" repräsentiert.

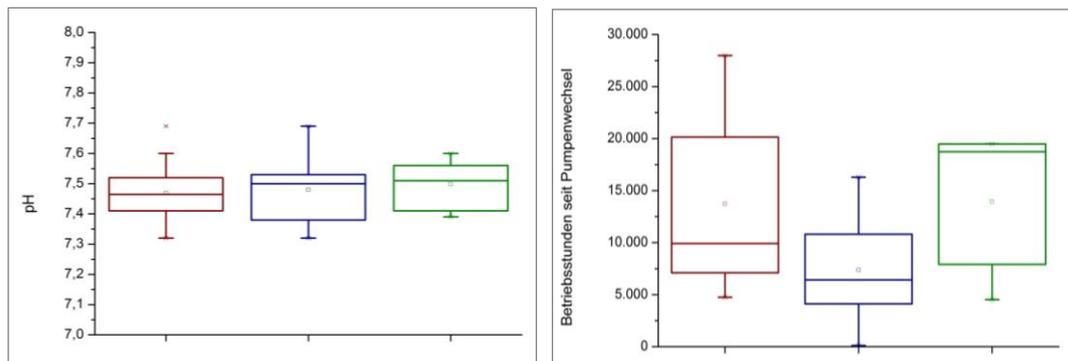


Abb. 6: Beispielhafte Auswertung der drei Brunnen-Cluster (rot = verockert, blau = nur Biofilme, grün = saubere Pumpe) für die getesteten Parameter 'pH-Wert' (links) und 'Betriebsstunden seit letztem Pumpenwechsel' (rechts)

Die Gegenüberstellung der RFA-Ergebnisse gegen die wasserchemischen Parameter Eisen, Mangan, Phosphat, Sulfat und Glühverlust zeigte ebenfalls keine statistisch belastbaren linearen Korrelationen. Insgesamt war der Probenumfang auch zu gering und die Probenahmen stellten nur statische Momentaufnahmen dar. Für folgende Arbeiten sollte daher angepasst an die Dynamik der Brunnen-Parameter die zeitliche und räumliche Auflösung der Beprobungen z.B. durch Installation und regelmäßige Entnahme von Aufwuchsträgern und/ oder in-situ Sensoren erhöht werden.

Eigene Feldversuche

Die biochemische Oxidation gelösten Eisens findet insbesondere bei geringen Sauerstoffkonzentrationen statt. Unter diesen Bedingungen ist die rein chemische Oxidation stark verlangsamt, so dass es den Eisenbakterien möglich ist, aus der Oxidation des Eisens Energie zu gewinnen. Im neutralen pH-Bereich werden insbesondere die Gattungen *Leptothrix* und *Gallionella* beschrieben. Sie bevorzugen Umgebungen mit Sauerstoffkonzentrationen unter 1 mg/L und Redoxpotentialen zwischen 200 und 300 mV ((Driscoll 1986), zitiert in (Walter 1997)). Cullimore (1999) beschreibt mikroaerophile Arten, die bei Redoxpotentialen zwischen 150 und -50 mV die höchste Aktivität zeigen. Das Redoxpotential beschreibt dabei das Potential für Elektronenübergänge zwischen einem Redoxpaar, von denen ein Partner reduziert (Elektronen aufnimmt) und der andere oxidiert wird (Elektronen abgibt).

Die Auswertung permanent an einer Messstellen-Transecte installierter Messelektroden (Redox-Temperatur-Kombisensor RTK2 der Fa. Sensatec; im Rahmen von WELLMA) in zwei Richtungen und fünf Tiefen zeigte eine hohe Dynamik der Redoxbedingungen in Abhängigkeit der Betriebszustände des untersuchten Brunnens und seiner direkten Nachbarn. Sowohl zufluss- als auch tiefenorientiert reichten die gemessenen Redoxspannungen vom sub-oxischen bis in den sulfatreduzierten, methanbildenden Bereich. Die große Variabilität der Werte ergab sich vermutlich vor allem aus dem Ungleichgewicht verschiedener Redoxpaare im Zustrombereich des Brunnens. Dabei war es nicht möglich, Schaltungen des Brunnens, seiner Nachbarbrunnen oder den Betrieb der nahe gelegenen Anreicherungsbecken als Haupteinflussparameter abzugrenzen.

Für zukünftige Messkampagnen wurde vorgeschlagen, zunächst Aufwuchsträger in den Messstellen tiefenorientiert zu exponieren, um typische Eisenbakterien für bestimmte Redoxzonen charakterisieren und dominante Eisenoxidierer und Eisenreduzierer unterscheiden zu können. Daraus können dann Empfehlungen abgeleitet werden, um am Standort unter bestimmten Redoxbedingungen vorkommende Eisenoxidierer in ihrem Wachstum zu beschränken und/ oder Eisenreduzierer zu fördern.

Sowohl Bakterien in der Freiwasserphase als auch Eisenhydroxid-Ausfällungen sind dabei Teil der Feststoff-Fracht im Rohwasser von Brunnen. Hinzu kommen durch die Strömung mobilisierte Feinstsedimente aus der Filterschüttung und dem angrenzenden Aquifer. Daher wurden außerdem in-situ Trübungsmessungen mittels einer Tauchsonde durchgeführt, die für jeweils eine Woche im Routinebetrieb in den Brunnen eingebracht wurde. Die ausgewählten, untersuchten Brunnen unterschieden sich

- i) im Material und der Ausführung der Filterschüttung, und
- ii) im eingesetzten Verfahren zur Brunnenentsandung und -entwicklung nach Neubau.

Verglichen wurden Brunnen mit konventionellen Filtersanden und -kiesen in Einfach- oder Zweifachschüttung mit Brunnen, in denen Glaskugeln als Filterschüttung eingebracht wurden (vgl. Klaus & Walter (2012); Treskatis (2011); Treskatis (2013)) und ii) Brunnen, die konventionell mit bewegter Manschettenkammer entsandet und entwickelt wurden, mit Brunnen in denen die so genannte Hochleistungsentsandung mittels bewegter Doppelkolbenkammer zum Einsatz kamen (vgl. Nillert (2008); Nillert et al. (2012); Nillert et al. (2008); Nillert & Wittstock (2010); Nillert & Wittstock (2011)).

Aus den Trübungsmessungen ging hervor, dass die Brunnen sowohl untereinander als auch in Betrieb und Ruhezustand unterschiedliche Feststofffrachten im Wasser aufwiesen. Unabhängig vom verwendeten Material der Filterschüttung zeigten vier der fünf Brunnen während des Förderbetriebs niedrigere Trübungswerte als in Ruhephasen. Diese messbare Feststoffbelastung im Betrieb variierte jedoch zwischen den einzelnen Brunnen. Nach dem Schalten zeigten alle Brunnen das Auftreten eines Trübungsstoßes mit deutlich erhöhten Messwerten. Die Werte der mittels Hochleistungsentsandung entwickelten Brunnen lagen allgemein über denen der konventionell mit bewegter Manschettenkammer entwickelten Brunnen. Ein Zusammenhang zur Neubau- oder Restergiebigkeit der Brunnen konnte nicht festgestellt werden. Nachdem eine der Proben orientierend mikroskopisch untersucht wurde, wurde für Folgeuntersuchungen vorgeschlagen, die Feststoffe umfassend zu beproben und weitergehend mineralogisch-chemisch zu charakterisieren.

Alle Versuche wurden gegenüber Teilprojekt 6 als Brunneneigentümer in gesonderten Berichten technisch dokumentiert.

II.2 Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die zahlenmäßig größte Position stellten die Personalkosten einschließlich Studentischen Mitarbeitern und Gemeinkostenpauschale dar. In geringem Umfang fielen außerdem Reisekosten zur Teilnahme an den außerhalb Berlins stattfindenden Projekttreffen sowie sonstige Kosten für die Literaturbeschaffung, ein Feld-Netbook und Kleinmaterial für die Feldarbeiten an.

Nachdem der Datenrücklauf für die Dokumentation der Versuche in der eigens erstellten Datenbank von den Teilprojektpartnern z.T. in Form von Rohdaten erfolgte, wurde die Dateneingabe durch einen zusätzlichen Mitarbeiter am KWB realisiert. Dies war kostenneutral möglich, da für die Datenbank-Programmierung und Betreuung der Feldversuche weniger Studentische Hilfskräfte benötigt wurden, als vorgesehen war.

Die Förderung durch das BMBF betrug 80% der Gesamtausgaben.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Alle Bearbeitungsschritte innerhalb des Teilprojektes folgten dem im Projektantrag dargelegten Arbeits- und Meilensteinplan. Insbesondere die Feldarbeiten gemeinsam mit den Teilprojektpartnern aus Berlin wurden in den regelmäßig stattfindenden Arbeitsgruppen-Treffen laufend bewertet und gegebenenfalls angepasst.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Durch die enge Anbindung des KWB an die BWB als dem größten deutschen Wasserversorger und Betreiber von über 650 Betriebsbrunnen zur Trinkwassergewinnung fanden und finden die erzielten Ergebnisse und Erkenntnisse direkten Eingang in die tägliche Betriebspraxis. Breitere, gleichzeitig sehr anwenderorientierte Diskussionsplattformen stellen dabei auch die Zusammenarbeit mit dem Brunnen- und Messstellenservice, der fachliche Austausch im Rahmen der so genannten Ressourcenrunden der Wasserwerke und in Arbeitsgruppen, z.B. zum Thema Sonderbauformen von Brunnen (u.a.) dar. Gemeinsam mit den BWB wurde dabei an die Vorarbeiten im Rahmen von WELLMA angeknüpft und die Kompetenzen sowohl hinsichtlich des gemeinsamen Datenhandlings als auch hinsichtlich der Prozesse im nahen Umfeld von Brunnen weiter ausgebaut. Da sich in Deutschland zunehmend durchsetzt, Brunnen als "Assets" (Werte) anzusehen und entsprechend in Asset-Management-Strategien einzubinden, ist davon auszugehen, dass die in ANTIOCKER erzielten Ergebnisse zusammen mit denen vorher oder parallel bearbeiteter Brunnenprojekte auch hier in die Brunnenmanagement-Strategien der BWB eingehen.

Für KWB bedeutete das PROJEKT ANTIOCKER vor allem auch, das Fachwissen der beteiligten Mitarbeiter weiterzuentwickeln und die Kenntnisse insbesondere im Bereich der biologisch induzierten Eisenaufällung zu erweitern. Methodisch erwies sich die mineralogisch-chemische Analyse mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) als gut geeignetes, bisher nicht angewendetes Untersuchungsverfahren, dessen Nutzen zur verbesserten Charakterisierung der Ockereigenschaften weiter verfolgt werden sollte.

Weiterhin besteht die Aussicht, dass einige Projektpartner die Datenbank zur gemeinsamen Versuchsdokumentation weiterverwenden werden.

II.5 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Neben den im Rahmen der Statustreffen regelmäßig vorgestellten und diskutierten Ergebnisse der Teilprojektpartner (HTW Dresden, RWE und Arcadis) sowie der fortlaufenden Aktualisierung des Standes von Wissen und Technik im Rahmen der Betreuung der studentischen Arbeiten, der Teilnahme an Fachkonferenzen und der Literaturrecherche in einschlägigen Fachmagazinen (bbr, wwt, DVGW Energie-Wasser Praxis usw.) fanden Austausche mit folgenden externen Partnern mit Bezug zum Projektthema statt:

- KWR Watercycle research Institute, Niederlande
 - Kees van Beek, Senior Researcher im Bereich "Cause and prevention of clogging of wells"
 - Diego Bustos-Medina, PhD im Joint water sector research program
- Leuphana Universität Lüneburg
 - Oliver Opel, PhD im Institut für Nachhaltige Chemie und Umweltchemie, Projekt Früherkennung von Verockerungen am Aquiferspeicher Berliner Reichstag
- Blue Biolabs GmbH Berlin
 - Oliver Thronicker, vormals Doktorand WELLMA-DNA

Bei diesen und in anderen veröffentlichten Vorhaben wurden keine Ergebnisse erzielt, die den hier beschriebenen Resultaten widersprechen oder andere Aussagen zulassen.

II.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

6.1 Erfolgte Veröffentlichungen

Vorträge und Beiträge in Fachzeitschriften

Auszüge der Datenanalyse mittels probabilistischer Statistik wurden bei der 39th Konferenz der International Association of Hydrogeologists (IAH) vorgestellt:

Schwarz Müller, H., Grütz macher, G., Stanski, A., Trenner, O., Gnirß, R. & Wittstock, E. (2012) A new look on old data: Usability of continuously measured discharge rates to monitor the ageing of drinking water abstraction wells., p. 11. 39th International Association of Hydrogeologists Congress.

Das Projekt und Teilergebnisse wurden außerdem bei den Berlin-Brandenburger Brunnentagen sowie in der regionalen "AG Wasser" vor Berliner und brandenburgischen Wasserversorgern vorgestellt:

Schwarz Müller, H., Sperlich, A., Dlubek, H., Wittstock, E. & Gnirß, R. (2011b) Mikrobielle Verockerung in Trinkwasserbrunnen, im Rohrnetz und an Pumpen - Entwicklung und Bewertung von betrieblichen Gegenmaßnahmen. p. 17. AG Wasser.

Schwarz Müller, H., Thronicker, O., Maiwald, U., Menz, C. & Taute, T. (2012) Auslöser von Alterungsprozessen in Brunnen und deren Verminderung im Betrieb. p. 42. 10. Berlin-Brandenburger Brunnentage pigadi.

Die Ergebnisse der Beprobung aus dem Brunneninneren eines Betriebsbrunnens der BWB wurden in der wwt - Praxismagazin für das Trink- und Abwassermanagement publiziert:

Schwarz Müller, H., Menz, C., Grütz macher, G., Gnirß, R., Jordan, V., Szewzyk, U., Braun, B., Schröder, J., Macheleidt, W. & Grischek, T. (2014) Mikrobielle Verockerung in technischen Systemen - Teil 1: Probenahme aus dem Filterbereich eines Trinkwasserbrunnens mit neuartigem Unterwasserkamera- und Probenahme-System. wwt (1-2): 31-33

Schröder, J., Braun, B., Schwarz Müller, H., Menz, C., Grütz macher, G., Gnirß, R., Jordan, V., Grischek, T., Macheleidt, W. & Szewzyk, U. (2014) Mikrobielle Verockerung in technischen Systemen - Teil 2: Molekularbiologische und mikrobiologische Untersuchungen von Ockerproben. wwt (3): 33-36

Bei der Fachtagung zum Projektabschluss am 25.06.2014 in Berlin wurde Teilprojekt 5 mit folgendem Beitrag repräsentiert:

Schwarz Müller, H. & Menz, C. (2014) Abhängigkeit zwischen dem Auftreten mikrobieller Verockerung und den hydrochemischen und betrieblichen Eigenschaften von Trinkwasserbrunnen. p. 22. Fachtagung Mikrobielle Verockerung in technischen Systemen. TU Berlin.

Abschlussarbeiten

In Teilprojekt 5 wurde im Rahmen von ANTIOCKER eine studentische Arbeit angefertigt:

Praxissemesterbericht Linge, N. (2012) Aufbau einer MS-Access-Datenbank zur Versuchsdokumentation. Biomathematik, Hochschule Zittau/ Görlitz

6.2 Geplante Veröffentlichungen

Die Arbeiten in Teilprojekt 5 tragen zur Erstellung von Doktorarbeiten im Rahmen anderer Teilprojekte bei, in deren Zuge die Methoden und Ergebnisse detailliert veröffentlicht werden.



Teil III

Erfolgskontrollbericht

III.1 Beitrag zu den förderpolitischen Zielen

Das Projekt wurde im Förderbereich Wasserversorgung im Profil "Forschung und Entwicklung zur Daseinsvorsorge" umgesetzt und liefert einen Beitrag zum Nachhaltigen Wassermanagement.

Die Reduzierung oder Vermeidung leistungsmindernder Ablagerungen in wasserführenden technischen Systemen trägt zu einem energieeffizienten Betrieb der Wassergewinnung (und Tagebauentwässerung) bei. Das Verständnis der Lebensbedingungen für Eisenbakterien und der Schutzfunktion der Biofilme hilft außerdem, Auswirkungen möglicher Änderungen im Betriebsregime oder den betrieblichen Randbedingungen, z.B. durch den demografischen oder Klimawandel auf die Wasserqualität und -menge bewerten zu können.

Zusätzlich förderte das Projekt die interdisziplinäre Vernetzung zwischen universitärer und außeruniversitärer Forschung, KMUs und Praxispartnern. Die hohe Relevanz der Fragestellung spiegelte sich dabei auch in der Beteiligung der assoziierten Industriepartner und KMUs.

III.2 Wissenschaftlich-technisches Ergebnis

Im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes "Mikrobielle Verockerung in technischen Systemen", kurz ANTIOCKER, wurden Brunnen und Unterwassermotorpumpen aus der Trinkwassergewinnung (BWB) und der Tagebauentwässerung (RWE und Vattenfall) hinsichtlich des Vorhandenseins und der Zusammensetzung biochemisch induzierter Eisenablagerungen untersucht. Neben Belagsproben von Pumpen bei Instandhaltungsarbeiten wurden dabei auch tiefenorientierte, zielgerichtete Proben aus dem Innenrohr (Vollrohr und Filterrohr) von Brunnen sowie aus Steigleitungen und Rohwassersammelleitungen entnommen und mikrobiologisch und chemisch untersucht.

Das Teilprojekt 5 am Kompetenzzentrum Wasser Berlin (KWB) beinhaltete die Koordination der Feldarbeiten der Projektpartner an den Trinkwasserbrunnen der Berliner Wasserbetriebe (BWB, TP6) und die Erstellung einer Datenbank zur Dokumentation aller im Projekt durchgeführten Versuche. Ziel war es, Ansatzpunkte zur Reduzierung der mikrobiell induzierten Ablagerung von Eisenoxiden (Verockerung) zu identifizieren und in ein Handbuch mit Betriebsempfehlungen zu überführen.

Eine erste statistische Analyse vorliegender Brunnendaten der BWB (Unterauftrag in TP6) wurde durch KWB wissenschaftlich begleitet. Ein anschließendes Testprogramm an 26 Trinkwasserbrunnen der BWB diente der Untersuchung der Auswirkungen des Brunnenbetriebs und der Standortbedingungen auf die mikrobielle Aktivität von Eisenbakterien. Bei der Brunnenauswahl für die Versuche zur Eisenbakterien-Besiedlung wurden dabei insbesondere folgende Faktoren betrachtet:

- Eisen-, Mangan- und Nitratkonzentration
- Temperatur und elektrische Leitfähigkeit des Rohwassers
- Redoxpotential
- Uferfiltrat-Anteil
- Ausbaumaterial des Brunnens
- Schaltregime, Betriebsstunden und Entnahmemengen

Über einen Zeitraum von 13 Monaten wurden durch TP1a kontinuierlich von allen Pumpen, die bei den BWB im Rahmen der turnusmäßigen Instandhaltungen gezogen wurden, Belagsproben zur Charakterisierung der Eisenbakteriengemeinschaften in den Biofilmen genommen. Sofern genügend Belagsmaterial genommen werden konnte, wurden auch den Projektpartnern aus TP3 und TP7 Proben zur Verfügung gestellt

Ergänzend führten die Partner von TP1b sowie das Labor der BWB Wasseruntersuchungen hinsichtlich der zuvor identifizierten chemischen Einflussparameter durch (Redoxpotential, Eisen-, Mangan-, Nitratgehalte, DOC, usw.).

Eine wesentliche Ergänzung der Probenentnahme von den Betriebspumpen stellte außerdem die Beprobung von Ablagerungen aus dem Voll- und Filterrohrinnenbereich eines Trinkwasserbrunnens dar, die mit einem im Projekt entwickelten Prototypen des Brunnenbelagssammlers (BBS) der HTW Dresden (TP4) realisiert wurde. Die Analytik aller Belagsproben umfasste neben der Bestimmung der Eisenbakterien-Gemeinschaft immer auch eine chemisch-mineralogische Untersuchung mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) an der TU Berlin. Ergänzende eigene Messungen des KWB umfassten die kontinuierliche Aufzeichnung und Auswertung der Redoxbedingungen im Zustrom zu einem Brunnen an einer Messstellen- Transekte, die im Rahmen des KWB-Projektes WELLMA errichtet worden war sowie In-situ-Messungen der Trübung samt Analyse des Feststoffgehaltes im Rohwasser eines Brunnens. Begleitet wurden alle Untersuchungen durch die Auswertung aller zu den Brunnengalerien vorliegenden Daten.

In der Vorab-Datenanalyse mittels probabilistischer Statistik erfolgte eine multikriterielle Clusteranalyse aller verfügbaren Parameter der Betriebsbrunnen der BWB. Dabei konnte die kontinuierliche Aufzeichnung der Tagesfördermenge von Einzelbrunnen als wesentlicher Parameter zur Überwachung des Brunnenzustandes herausgearbeitet werden. Normiert auf die Nennleistung der installierten Betriebspumpe ist das Verfahren trotz gegenseitiger Beeinflussung der Brunnen im Galeriebetrieb geeignet, das Vorhandensein von Ablagerungen aus der kontinuierlichen Abnahme des Volumenstroms (Tagesdifferenz der Fördermengen) messen zu können. Da die Fördermenge eines Brunnens zunehmend kontinuierlich erfasst und fernübertragen wird, bietet sich zukünftig die Erstellung automatisierter Auswertalgorithmen zur Klassifizierung des Alterungszustandes der Brunnen an.

Von den vorliegenden wasserchemischen Parametern zeigte lediglich ein bestimmter Bereich der elektrischen Leitfähigkeit eine doppelt so hohe Wahrscheinlichkeit der Verockerung. In den Beprobungskampagnen an den Einzelbrunnen wurde dieser Befund jedoch nicht bestätigt.

Die Zuarbeit der Untersuchungsmethoden und -parameter aller Projektpartner fanden Eingang in die Tabellen und Formulare zur Datenerfassung der Versuche in MS Access. Die daraus erstellte Datenbank zur Versuchsdokumentation (Abb. 1) enthält die folgenden Funktionen:

- Erzeugung der Feld- und Laborprotokolle mit automatischer Vergabe einer Proben-ID
- Formular "Probenahme" mit den allgemeinen Angaben zur Probe
- Formular "Ergebnisse" zur Erfassung der Parameter und Messwerte, gruppiert nach Analysetyp (Vor-Ort-Parameter, Basisparameter, Indikatorkeime, Eisenbakterien, Chemische Parameter usw.)
- Dynamische Berichte zur Abfrage der Daten

In der Datenbank lagen zu Projektabschluss 381 im Rahmen des Projektes bearbeitete Proben mit insgesamt 1608 Werten vor. Proben, von denen sowohl Vor-Ort-Parameter als auch chemische und mikrobiologische Parameter umfassend bestimmt wurden, waren jedoch nicht erfasst, so dass sich die Untersuchung auf Korrelationen des KWB auf die bei den BWB erhobenen Daten beschränkte. Dabei ähnelten sich die wasserchemischen Parameter für alle Proben unabhängig vom Verockerungsgrad der Pumpen und der Betrieb der Brunnen wurde als größter Einflussfaktor ermittelt.



Abb. 7: Startseite der Projektdatenbank ANTIOCKER [KWB 2012]

Die Ockerproben von der Betriebspumpe und aus dem Brunneninneren des einen umfassend beprobten Brunnens zeigten hingegen eine gute Übereinstimmung der Eisenbakterien-Gemeinschaft (Abb. 2). Die geochemisch-mineralische Zusammensetzung konnte aufgrund der geringen Probevolumen aus dem Brunneninneren nicht bestimmt werden. Hier sollten vergleichende Arbeiten möglichst in Folgeprojekten fortgeführt werden.

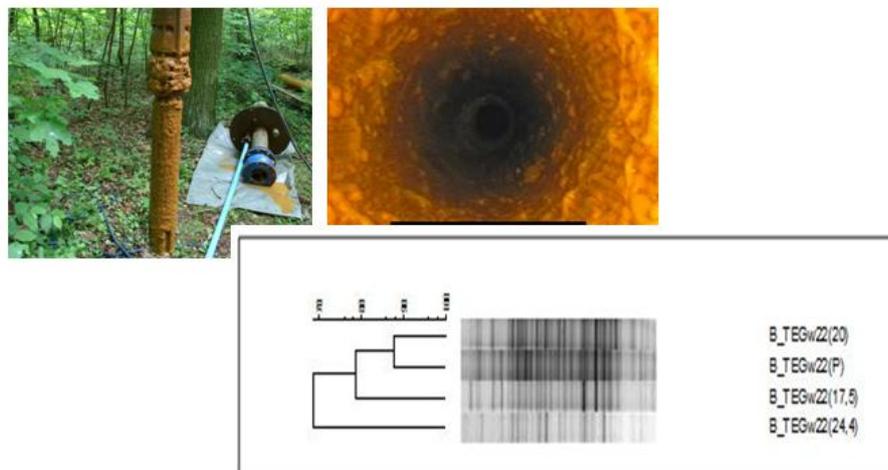


Abb. 8: Verockerte Betriebspumpe, Aufnahme aus der Kamerabefahrung des Brunnens (TP4) und DGGE-Analyse der Eisenbakterien-Gemeinschaft (TP1a). Der Verockerungsgrad und die Ockereigenschaften an der Betriebspumpe entsprechen der Verockerung im Brunneninneren.

Auswertungen hinsichtlich der Unterschiede in der Wasserchemie, dem Betrieb und den Standortbedingungen zwischen verockerten und nicht verockerten Betriebspumpen bzw. Brunnen zeigten wie auch die Vorab-Datenanalyse keine wesentlichen Unterschiede in der Verockerungsneigung, die bestimmten Brunneneigenschaften zugeordnet werden können.

Dazu wurden alle beprobten Brunnen der BWB einem von drei Clustern (i. sichtbar verockert; ii. Biofilme vorhanden, aber keine sichtbaren Eisenablagerungen; iii. keine Beläge) zugeordnet und anschließend insbesondere hinsichtlich der o.g. Faktoren bewertet.

ANTIOCKER bestätigt damit die Befunde aus Vorgängerprojekten, insbesondere dem KWB-Projekt WELLMA, wonach das Umfeld von Brunnen eine hohe Dynamik chemischer und hydraulischer Parameter zeigt und insbesondere die stark wechselnden Bedingungen beim Schalten die Verockerungsneigung wesentlich mitbestimmen. Einzelne Schlüsselparameter konnten nicht zugeordnet werden. Handlungsempfehlungen betreffen vorrangig die Datenerfassung sowie Entwicklung von Auswerterroutinen zur systematischen Klassifizierung der Alterungserscheinungen und darauf basierenden Indizierung der Brunnenzustände.

III.3 Fortschreibung des Verwertungsplans

- 3.1 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom ZE oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u. a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten.**

Aus Teilprojekt 5 resultierten keine Erfindungen/ Schutzrechtsanmeldungen.

- 3.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) -z. B. auch funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/-industrien am Standort Deutschland, Umsetzungs- und Transferstrategien (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt).**

Die enge Anbindung des KWB an die Berliner Wasserbetriebe als Gesellschafter des KWB und Teilprojektpartner sicherte die direkte Übertragung der wesentlichen Erkenntnisse in die Betriebspraxis der BWB. Mitarbeiter der technischen Abteilungen waren insbesondere bei den Ergebnisdiskussionen eingebunden und übernahmen die inhaltlich-sachliche Prüfung der durch KWB vorgelegten technischen Dokumentationen. Dieser Austausch wird in der täglichen Arbeit fortgesetzt. *Zeithorizont: laufend*

Aus der Beteiligung des KWB in ANTIOCKER resultierte außerdem ein Auftrag durch den assoziierten Industriepartner RWE, in dessen Zuge Erkenntnisse aus ANTIOCKER in die Betriebspraxis bei der Tagebauentwässerung zur Vermeidung von Eisenablagerungen einfließen. Das Projekt wird im wirtschaftlichen Geschäftsbetrieb des KWB realisiert und hätte ohne das vorangegangene BMBF-Projekt vermutlich nicht stattgefunden. *Zeithorizont: derzeit 2,5 Jahre*

- 3.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) -u. a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise (z. B. für öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke, Transferstellen etc.) genutzt werden können. Dabei ist auch eine etwaige Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Firmen, Netzwerken, Forschungsstellen u. a. einzubeziehen.**

Der Teilprojekt-Partner und Gesellschafter BWB sowie KWB selbst fungieren als aktive Multiplikatoren in bestehenden Netzwerken auf nationaler und europäischer Ebene. Somit können die Ergebnisse gezielt weiterkommuniziert werden. KWB ist z.B. aktiver Partner der Plattform WaterShare®, einem Netzwerk initiiert von KWR Watercycle research Institute (Niederlande) sowie in diversen Arbeitsgruppen der WSSTP - Water Supply and Sanitation Technology Platform der EU vertreten. *Zeithorizont: mind. 2 Jahre*

Die Arbeiten zur Bewertung des Brunnenzustandes hinsichtlich der mikrobiell induzierten Verockerung werden durch KWB im Wasserwerk Tegel derzeit eigeninitiativ fortgesetzt. Eingebunden ist dabei neben dem Brunnen- und Messstellenservice der BWB das KMU Blue Biolabs GmbH (im Rahmen einer EXIST-Förderung). *Zeithorizont: laufend*

3.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der FE-Ergebnisse.

Aus Teilprojekt 5 ergaben sich folgende Empfehlungen hinsichtlich der nächsten innovatorischen Schritte:

- Die Datengrundlage sollte durch eine weitgehend automatisierte Überwachung des Brunnenbetriebs verbessert werden. Hier bietet sich insbesondere das Heranziehen der Tagesdifferenzen der Fördermenge, gemessen per MIDs, die heute schon bei Brunnenneubauten eingesetzt werden, an, wie in der Datenanalyse mittels probabilistischer Statistik herausgearbeitet wurde.
- Die Bewertung der Lebensbedingungen in-situ wird als wesentliche Grundlage zur gezielten Manipulation gesehen. Hierzu sollten verstärkt in-situ-Sensoren getestet und weiterentwickelt werden, um das unvermischte Rohwasser direkt im Ablagerungsbereich der Eisenocker vertikal differenziert besser erfassen zu können, insbesondere bevor bzw. während die Ausfällungsreaktionen stattfinden.
- Die geochemisch-mineralogische Charakterisierung der Ablagerungsprodukte zur Quantifizierung, Abgrenzung und besseren Beschreibung des Anteils der biologisch induzierten Prozesse in Brunnen sollte verstärkt werden. Damit können Alterungsprozesse innerhalb der Ockerablagerungen erkannt und darauf basierend die Methoden und Technologien zur Entfernung der Ablagerung optimiert werden.
- Die regelmäßige Überwachung bedarf der Fortsetzung, nicht zuletzt um die Nachhaltigkeit umgesetzter Maßnahmen fortlaufend bewerten zu können.

III.4 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Mangels Proben, für die außerhalb der Versuche an den Berliner Trinkwasserbrunnen sowohl mikrobiologische als auch hydrochemische Daten vorlagen, war die Durchführung einer multivariaten Statistik zur Identifizierung der Schlüsselparameter in der Wasserchemie und oder den betrieblichen und baulichen Eigenschaften von Brunnen (lineare Regressionen/ Hauptkomponentenanalyse) nicht möglich.

Für die BWB konnten auf Basis der untersuchten 26 Betriebsbrunnen Empfehlungen zur Verbesserung der Überwachung und Reduzierung des Verockerungspotentials gegeben werden. So wurde z.B. die Empfehlung einer tieferen Lage der Filteroberkante zur Reduzierung der Verockerungsneigung in Brunneneubaumaßnahmen bereits umgesetzt. Ein allgemeingültiger, auf andere Standorte übertragbarer Maßnahmenkatalog basierend auf i) den identifizierten Schlüsselparametern und ii) Ansätzen zur Rücklösung der Verockerungen aus den Teilprojekten 1a und 1b konnte jedoch nicht entwickelt werden.

Im Bereich der eigenen Feldversuche erwies sich die in-situ-Messung der Feststofffracht (als Trübung) als zu störanfällig durch am Sensor anhaftende Partikel, die zu einer Drift der Messwerte in den untersuchten Brunnen führte, so dass die Ergebnisse nur eingeschränkt auswertbar waren. Der Sensor wurde bei den Messungen irreparabel beschädigt und stand für die Untersuchung weiterer Brunnen nicht mehr zur Verfügung.

III.5 Präsentationen für mögliche Nutzer

Insbesondere die zweijährig stattfindenden, durch die pigadi GmbH organisierten Berlin-Brandenburger Brunnentage bieten ein breites Diskussionsforum.

Teilprojekt 5 war außerdem im Editorial Board des geplanten eBooks (Teilprojekt 7) vertreten, um die anwenderorientierte Perspektive der möglichen Inhalte zu stärken.

III.6 Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung

Die Kostenplanung wurde eingehalten. In der Zeitplanung ergab sich im Verlauf des Projektes der Bedarf, kostenneutral um sechs Monate zu verlängern, da insbesondere der Beginn der Feldarbeiten ca. drei Monate verspätet erfolgten und sich daraus folgend die Datenbereitstellung aus anderen Teilprojekten verzögerte (vgl. Zwischenberichte). Die Begründung wurde im Antrag auf kostenneutrale Verlängerung dargelegt.

Referenzen

- DVGW W 131: Hinweise zur Verhütung der biologischen Brunnenverockerung. (1970)
- Cullimore, D. R. (1999) Microbiology of Well Biofouling. CRC Press
- Driscoll, F. C. (1986) Groundwater & Wells, 2nd ed.: Johnson Screens
- Hässelbarth, U. & Lüdemann, D. (1967) Die biologische Verockerung von Brunnen durch Massenentwicklung von Eisen- und Manganbakterien. *bbr* 18
- Houben, G. & Treskatis, C. (2002) Regenerierung und Sanierung von Brunnen.
- Klaus, R. & Walter, P. (2012) Neubau von Brunnen mit Glaskugeln: Ergiebigkeiten und Einsparpotenziale. *DVGW Energie Wasser Praxis* 63 (4): 30-33
- Krems, G. (1972) Studie über die Brunnenalterung. Bundesministerium des Inneren, Unterabteilung Wasserwirtschaft
- Linge, N. (2012) Aufbau einer MS-Access-Datenbank zur Versuchsdokumentation. Biomathematik, Hochschule Zittau/ Görlitz
- Nillert, P. (2008) Bemessung der Kammerförderrate bei der Intensiventsandung von Brunnenfiltern. *bbr* (10): 52-61
- Nillert, P., Gades, M. & Schmitz-Habben, U. (2012) Planung und Bau eines Brunnens mit Hochleistungsentsandung. *bbr* (02): 78-86
- Nillert, P., Schmitz-Habben, U. & Wicklein, A. (2008) Intensiventsandung von Brunnenfiltern mit der Doppelkolbenkammer. *Energie Wasser Praxis* (5): 29-35
- Nillert, P. & Wittstock, E. (2010) Doppelkolbenkammer vs. Manschettenkammer bei der Intensiventsandung (Teil 2). *bbr* (01): 56-63
- Nillert, P. & Wittstock, E. (2011) Innovationen bei der Konstruktion und Entwicklung von Filterbrunnen. *bbr* (05): 42-49
- Orlikowski, D., Dauchy, L. & Schwarzmüller, H. (2010) Ergebnisse der bundesweiten DVGW-Umfrage zur Instandhaltung von Brunnen 2009. Kompetenzzentrum Wasser Berlin
- Orlikowski, D. & Schwarzmüller, H. (2009) Advanced statistical analyses of well data. Kompetenzzentrum Wasser Berlin (unveröffentlicht)
- Schröder, J., Braun, B., Schwarzmüller, H., Menz, C., Grützmacher, G., Gnirß, R., Jordan, V., Grischek, T., Macheleidt, W. & Szewzyk, U. (2014) Mikrobielle Verockerung in technischen Systemen - Teil 2: Molekularbiologische und mikrobiologische Untersuchungen von Ockerproben. *wwt* (3): 33-36
- Schwarzmüller, H. & Menz, C. (2013) WELLMA-2 Synthesis report. KWB
- Schwarzmüller, H. & Menz, C. (2014) Abhängigkeit zwischen dem Auftreten mikrobieller Verockerung und den hydrochemischen und betrieblichen Eigenschaften von Trinkwasserbrunnen. p. 22. Fachtagung Mikrobielle Verockerung in technischen Systemen. TU Berlin.
- Schwarzmüller, H., Orlikowski, D., Pekdeger, A., Taute, T., Maiwald, U., Menz, C., Szewzyk, U., Thronicker, O., Raat, K., Wicklein, A. & Bartetzko, A. (2011a) Extended summary of the results and conclusions of the preparatory phase of the WellMa project. KWB
- Schwarzmüller, H., Sperlich, A., Dlubek, H., Wittstock, E. & Gnirß, R. (2011b) Mikrobielle Verockerung in Trinkwasserbrunnen, im Rohrnetz und an Pumpen - Entwicklung und Bewertung von betrieblichen Gegenmaßnahmen. p. 17. AG Wasser.

- Schwarz Müller, H., Thronicker, O., Maiwald, U., Menz, C. & Taute, T. (2012) Auslöser von Alterungsprozessen in Brunnen und deren Verminderung im Betrieb. p. 42-10. Berlin-Brandenburger Brunnentage pigadi.
- Stanski, A. & Trenner, O. (2012) Abschlussbericht Probabilistische Analyse der Daten von Trinkwasserbrunnen der Berliner Wasserbetriebe im Rahmen des Projekts ANTIOCKER durch die Datenmeer GmbH. datenmeer
- Taute, T., Menz, C., Maiwald, U. & Schneider, M. (2013) WELLMA-2: Summary of results and recommendations. FU Berlin
- Thronicker, O. & Szewzyk, U. (2011) WELLMA-DNA End report: Documentation of data acquisition and conclusions
- TU Berlin, Dept. Environmental Microbiology
- Treskatis, C. (2011) Einsatz von Glaskugeln in Trinkwasserbrunnen. *bluefacts*: 110-116
- Treskatis, C. (2013) Glaskugelschüttungen im Brunnenbau. *wwt* 7-8: 34-37
- Walter, D. (1997) Geochemistry and Microbiology of Iron-Related Well-Screen Encrustation and Aquifer Biofouling in Suffolk County, Long Island, New York. US Geological Survey
- Wicklein, A. & Steußloff, S. (2006) Brunnen - ein komplexes System, 2nd ed.:



Teil IV

Berichtskontrollblatt

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Schlussbericht zum BMBF-Verbundprojekt Mikrobielle Verockerung in technischen Systemen - Teilprojekt 5	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Schwarz Müller, Hella Weigert, Bodo	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.07.2014
	6. Veröffentlichungsdatum 31.10.2014
	7. Form der Publikation Bericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH Abt. Grundwasser Cicerostrasse 24 10709 Berlin	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 02WT1188
	11. Seitenzahl 37
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 29
	14. Tabellen 3
	15. Abbildungen 8
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Im Mittelpunkt der Untersuchungen des Kompetenzzentrums Wasser Berlin gGmbH (KWB) stand die mikrobiell induzierte Eisenverockerung in Trinkwasserbrunnen der Berliner Wasserbetriebe (BWB). Wesentliche Aufgaben des KWB waren die Konzeptionierung des Datenmanagements der Ergebnisse aller Projektpartner sowie die Koordinierung des Testprogramms an den Berliner Trinkwasserbrunnen, um einen frühzeitigen Transfer anwendbarer Erkenntnisse aus der Forschung in die Praxis sicherzustellen. Im Rahmen des Teilprojektes wurden 26 Betriebsbrunnen der BWB beprobt, einer davon zusätzlich mittels eines Probensammlers des Projektpartners HTW Dresden, mit dem erfolgreich Ockerproben aus dem Voll- und Filterrohrbereich entnommen werden konnten. Anschließend wurden verockerte und nicht verockerte Brunnen hinsichtlich der wasserchemischen, baulichen und betrieblichen Eigenschaften sowie der Zusammensetzung der Eisenbakterien-Gemeinschaft und der chemisch-mineralogischen Eigenschaften der Eisenocker verglichen. Daraus konnten die Tiefe der Pumpe und die Fließgeschwindigkeit des Wassers beim Eintritt in den Brunnen als wesentliche Parameter für die Art und Dicke mikrobiell gebildeter Eisenablagerungen bestimmt werden. Die Proben aus dem Voll- und Filterrohrbereich eines Brunnens waren gut mit denen der Unterwassermotorpumpe vergleichbar, so dass die untersuchten Pumpenproben den Zustand im Brunnen selbst gut wiedergeben können. Ansonsten zeigte sich die Eisenbakteriengemeinschaft als sehr heterogen und selbst für direkt benachbarte Brunnen verschieden, auch wenn die wasserchemischen, betrieblichen und baulichen Eigenschaften ähnlich waren. Die Anzahl beprobter Brunnen war jedoch zu gering, um statistisch belastbare Korrelationen festzustellen.	
19. Schlagwörter Wasserversorgung, Brunnenalterung, Eisenbakterien, Pumpeneffizienz	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title Final report for the BMBF - joint research project Microbial clogging in technical systems - sub-project 5	
4. author(s) (family name, first name(s)) Schwarz Müller, Hella Weigert, Bodo	5. end of project 31.07.2014
	6. publication date 31.10.2014
	7. form of publication Final report
8. performing organization(s) (name, address) Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH Abt. Grundwasser Cicerostrasse 24 10709 Berlin	9. originator's report no.
	10. reference no. 02WT1188
	11. no. of pages 37
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 29
	14. no. of tables 3
	15. no. of figures 8
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract The investigations of the Berlin Center of Competence for Water (Kompetenzzentrum Wasser Berlin; KWB) focused on microbiologically induced iron ochre formation in the drinking water wells of Berlin's public water supplier Berliner Wasserbetriebe (BWB). Main tasks of KW were the conceptual design and implementation of the data management of all sub-projects as well as the planning and coordination of a test program at about 30 drinking water wells in Berlin. Main objective was to ensure the early transfer of applicable results from laboratory and pilot scale research of the university partners into routine application. Within KWB's sub-project 5 in total 26 submersible pumps from drinking water wells in Berlin were sampled. At one well, additional ochre samples were taken from within the casing and screen at different depths, applying a specially constructed well sampler device developed in sub-project 4. Subsequently, clogged and non-clogged wells were compared with regards to their hydrochemical, constructional and operational properties with the characteristics of the iron bacteria communities. As the samples from within the casing and screen were in good concordance with the ones from the submersible pump of the same well, sampling from the pumps was concluded to be applicable to describe the well condition and iron bacteria communities. The latter showed to be very heterogeneous across the sampled wells and even directly neighbored wells showed significant differences although hydrochemical, constructional and operational parameters were similar. The installation depth of the pump and the inflow velocity were determined being key parameters influencing type and thickness of clogging deposits. Altogether, the extent of sampling was however too small to allow the conclusion of statistically relevant correlations.	
19. keywords Public water supply, well ageing, iron bacteria, pump efficiency	
20. publisher	21. price