

Verockerungsanalytik für eine längere Brunnenlebensdauer

Verockerung ist ein Prozess, der bei der Nutzung von eisen- bzw. manganhaltigen Grundwässern auftritt. Hierbei kommt es zur massenhaften Vermehrung sogenannter Eisenbakterien. Mit einem neuen System ist es nun möglich, den Verockerungszustand eines Brunnens mit einer einfachen Wasserprobe genau zu bestimmen, um frühzeitig Maßnahmen ergreifen zu können.

Abb.1 – Verockerte Pumpe



Viele Brunnenbetreiber kennen das Problem, dass die Förderleistung ihrer Brunnen mit der Zeit mehr und mehr nachlässt. Die Gründe für diese „Alterung“ können sehr vielschichtig sein, jedoch ist eine der häufigsten Ursachen die sogenannte Verockerung. Diese wird maßgeblich durch für den Menschen harmlose Bakterien verursacht, die im Grundwasser gelöstes Eisen oder Mangan zu Hydroxiden oxidieren und daher auch als „Eisenbakterien“ bzw. „Manganbakterien“ bezeichnet werden [1]. Diese Bakterien sind schon für einen Zeitraum von mehr als 100 Jahren nachzuweisen [2] und ihr negativer Einfluss auf die Brunnenalterung wurde bereits hinlänglich beschrieben [3, 4]. Das von ihnen abgeschiedene Hydroxid kann sich sowohl im Filterrohr, in der Kies-schüttung und im Grundwasserleiter als auch an der Pumpe in Form eines bräunlichen (teils schwarzen) Belages ablagern. Diese Beläge können zu starken Leistungseinbußen bis zum Abfall des Betriebswasserspiegels in den Ansaugbereich der Pumpe führen.

Die Eisenbakterien bilden über die Jahre zentimeterdicke Beläge. Diese Beläge sind zunächst schleimig und weich, werden jedoch mit zunehmendem Alter immer härter und lassen sich immer schwerer beseitigen [5]. Eine rechtzeitige Entfernung der Beläge durch fachgerecht durchgeführte Instandhaltungsmaßnahmen ist somit von entscheidender Bedeutung für eine lange Brunnenlebensdauer. In der Praxis kann man sich durch Ausbau der Pumpe und mithilfe einer Kamerabefahrung ein erstes Bild vom Ausmaß des Bakterienbefalls machen (Abb. 1).

Da sich jedoch selbst Brunnen innerhalb eines Fassungsgebietes teilweise stark in ihrer Alterung unterscheiden können [6], ist es nicht immer einfach, Brun-

nenregenerierungen optimal zu planen. Dervom DVGW-Arbeitsblatt W 130 (2007) für die Einleitung von Maßnahmen empfohlene Leistungsrückgangswert von 10 bis 20 Prozent (im Vergleich zum Neubauzustand) wird schon seit Längerem immer wieder diskutiert [5]. Da der Leistungsrückgang im Falle biologisch verursachter Verockerungserscheinungen lediglich ein Symptom des bakteriellen Wachstums darstellt, können zunächst selbst geringe Leistungsrückgänge bereits mit erheblichen Alterungserscheinungen einhergehen. Andererseits ist es ohne ausreichende Informationen über den Brunnenzustand ökonomisch nicht sinnvoll, pauschale Regenerierungen nach festen Zeitintervallen zu planen, da nicht jeder Brunnen im gleichen Maß von Verockerung betroffen ist. So können auch Brunnen, die stark eisenhaltiges Wasser fördern, mitunter durchaus jahrzehntelang ohne erkennbare Leistungsrückgänge betrieben werden.

Eisenhydroxid

Der Eisengehalt des Wassers ist hierbei nicht allein das entscheidende Kriterium. Die Betrachtung des Stoffwechsels der an der Verockerung beteiligten Bakterien verdeutlicht, warum mehrere Faktoren zusammenspielen müssen. Das im Grundwasser gelöste Eisen dient den Bakterien bei der Eisenoxidation lediglich als Elektronenquelle für ihren Stoffwechsel. Entscheidend ist aber, dass gleichzeitig Sauerstoff im Umfeld der Bakterien vorhanden ist. Nur dadurch können die Bakterien Elektronen an den Sauerstoff abgeben und gelöste zweiwertige Eisenionen werden in unlösliches Eisenhydroxid umgewandelt. Bei hohen Sauerstoffkonzentrationen kann sich unlösliches Eisenhydroxid zusätzlich auch ohne Beteiligung von Bakterien rein chemisch bilden. Da einigen Bakterien neben Sauerstoff jedoch auch Nitrat als sogenannter „Elektronenempfänger“ dienen kann [7 + 8], können auch Brunnen von Verockerung betroffen sein, in denen keine direkten Sauerstoffeinträge stattfinden.

Neben diesen über ihren Energiestoffwechsel als Eisenbakterien klassifizierten Organismen existiert auch eine Reihe von Bakterien, die ihren Energiebedarf über im Wasser gelöste verwertbare organische Stoffe abdecken und deren Fähigkeit zur Eisenoxidation noch nicht vollständig erforscht ist [9]. Eine Eigenschaft haben jedoch die meisten der verockerungsrelevanten Bakterien: Sie verfügen über bemerkenswerte strukturelle Eigen-

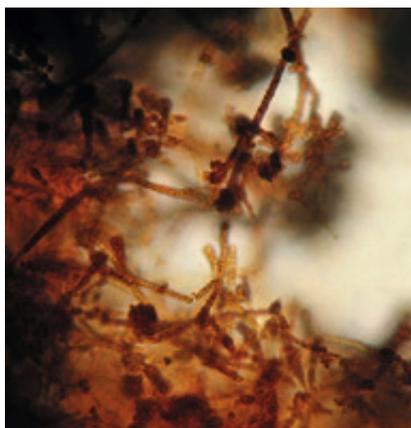


Abb. 2 – Lebendiger Rost: Mikroskopische Aufnahme von Eisenbakterien

schaften. Viele von ihnen bilden nanoröhrenartige Scheiden, lange Stiele oder großflächige Filamente, an deren Oberfläche das Eisenhydroxid abgelagert wird [10].

Wahrscheinlich ist es erst durch diese ganz spezifischen Strukturen überhaupt möglich, zweiwertiges Eisen in großen Mengen als Eisenhydroxid abzuscheiden, da sich die in den Ablagerungen befindlichen Bakterien sonst mit ihren Abfallprodukten von der weiteren Nährstoffversorgung abschneiden würden. Diese Kombination aus organischen flexiblen Trägern und anorganischen harten Ablagerungen (Abb. 2) ist auch einer der Gründe für die hohe Stabilität der Beläge, die selbst Einlaufsiebe von Pumpen problemlos überwuchern und stärksten Scherkräften widerstehen.

Besiedlungsflächen

Dieses Prinzip der Kombination unterschiedlicher Materialien, welches sich der Mensch beispielsweise auch beim Stahlbeton zunutze macht, sorgt dafür, dass die Verockerungsbakterien optimal von den hohen Strömungsgeschwindigkeiten und der damit verbundenen guten Nährstoffversorgung im Brunnen profitieren können. Frei schwimmende Bakterien, die sich mit gleicher Geschwindigkeit wie das umgebende Medium fortbewegen, könnten ihre Nährstoffe lediglich durch Diffusion aus einem relativ schmalen Bereich des sie umgebenden Wassers beziehen. Daher bietet ihre Anheftung an Kies und andere Oberflächen in eher nährstoffarmen Umgebungen deutliche Vorteile. Durch diese, in der Welt der Bakterien weit verbreitete, „sessile“ Lebensweise können von den an der Oberfläche haftenden Zellen lediglich die stetig an ihnen vorbeiströmenden Nährstoffe eingesammelt werden. Je stärker die Strömung, desto mehr Nährstoffe stehen den im Brunnumfeld lebenden Bakterien zur Verfügung.

Daher wird klar, dass gerade die Bereiche höchster Strömung (wie z. B. das Pumpeneinlaufsieb) besonders attraktive Besiedlungsflächen darstellen. Die Anlagerung erfolgt hierbei keinesfalls immer nur zufällig und passiv, vielmehr haben Bakterien Strategien entwickelt, sich aktiv und sehr nachhaltig mit einer Oberfläche zu verbinden. Einer der wichtigsten Mechanismen ist hierbei die Ausscheidung von sogenannten extrazellulären poly- ➔



Ihr Spezialist für
Wärmeträgerflüssigkeiten -
Wärmepumpensolen von TYFOROP

TYFOCOR® MARKEN
umweltverträglich & biologisch abbaubar



www.tyfo.de • info@tyfo.de

seit über 30 Jahren

Aqualine-GEO

Ihr Spezialist für Erdwärmesysteme

Fittings und Zubehör in Profiqualität!

- Hosenstück
- Muffe-Dorn Schweißung
- Heizwendel
- Erdwärmesondenverteiler
- Erdwärmesondenverteiler in PE-Schacht
- Schächte



zum Badese 51 • 48369 Saerbeck
Tel.: 0 25 74 / 902 976 • Fax: 0 25 74 / 902 978
Mobil: 0171 / 812 99 48 • info@aqualine-geo.de

www.aqualine-geo.de

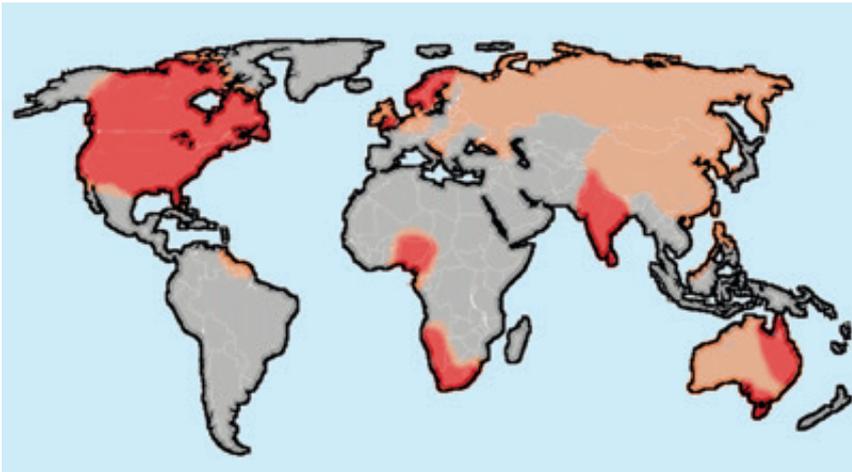


Abb. 3 – Globale Verteilung, der durch Eisenbakterien verursachte Probleme bei der Trinkwasseraufbereitung. Zonen mit dokumentierten Problemen sind rot dargestellt. In den braunen Zonen wird ein Einfluss der Eisenbakterien auf die Wassergewinnung vermutet. Die grau markierten Länder haben keine spezifischen Probleme oder haben keine Informationen zur Studie beigesteuert. Daher kann die Karte keinen vollständigen Überblick geben (modifiziert nach Cullimore und McCann 1974).

meren Substanzen (EPS). Dieses schleimartige Gemisch – bestehend aus den unterschiedlichsten Polysacchariden und Proteinen – dient nicht nur als eine Art Klebstoff für die bereits angehefteten Bakterien, sondern vor allem als Wegbereiter für die weitere Besiedlung. Durch ein Wachstum innerhalb einer derartigen Biofilmmatrix ist es Bakterien möglich, sogar entgegen extrem starken Strömungen wie ein langsam kriechender Organismus jedwede Oberfläche zu besiedeln.

Biofilm

Die Struktur des Biofilms passt sich hierbei sehr dynamisch den vorherrschenden Strömungsverhältnissen an. So zeigt sich, dass die Biofilme, die starken Scherkräften ausgesetzt sind, zwar gemeinhin zunächst dünner, aber im Inneren auch wesentlich kompakter und widerstandsfähiger sind [11]. Erreichen derartig kompakte Biofilme erst eine bestimmte Dicke, sind sie nur noch sehr schwer mechanisch angreifbar.

Die für die Verockerung relevanten Bakterien können weltweit nachgewiesen werden. In einer Studie aus dem Jahre 1974 wurden Daten von Umweltbehörden (oder vergleichbaren Institutionen) aus 150 Ländern erhoben, um die globale Verbreitung des Problems zu ermitteln [12] (Abb. 3).

Da die Bakterien durch ihr Wachstum nicht nur stetig den Wassereintritt in den Brunnen vermindern und dadurch die Energiekosten der Förderung drastisch erhöhen, könnte man den Befall eines Brunnens durch Eisenbakterien auch durchaus als eine Art globale „Brunnen-

krankheit“ mit sehr realen technischen Symptomen betrachten. Diese „Krankheit“ frühzeitig zu diagnostizieren, Schäden zu verhindern und geeignete Gegenmaßnahmen ableiten zu können, kann somit von erheblichem Vorteil für den Brunnenbetrieb sein.

Ein neuer Ansatz: Indikatorbakterien

Im Rahmen des von den Berliner Wasserbetrieben und Veolia Eau geförderten und vom Kompetenzzentrum Wasser Berlin koordinierten Forschungsprojektes WELLMA wurden in diesem Zusammenhang am Fachgebiet Umweltmikrobiologie der Technischen Universität Berlin die wissenschaftlichen Grundlagen erforscht, die später zur Entwicklung eines neuartigen Brunnendiagnosewerkzeugs führten.

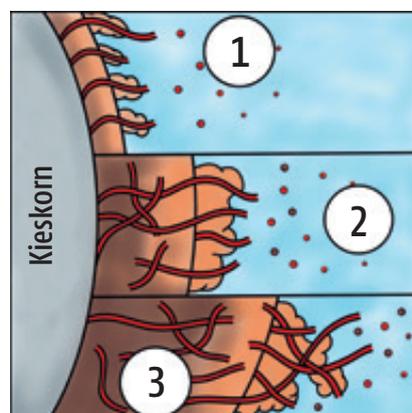


Abb. 4 – Biofilmwachstum an einer Aufwuchsfläche; (1) Primärbesiedlung und Scheidenbildung, (2) Aufbau neuer Schichten, (3) Verhärtung und Stabilisierung tieferer Schichten durch metallische Oxide und organische Filamente

Hierzu wurden sogenannte „Indikatorbakterien“ bestimmt, die stellvertretend für eine ganze Reihe verschiedener im Brunnenumfeld lebenden Bakteriengattungen die aktuell auftretenden Verockerung anzeigen können. Das Prinzip, spezielle Indikatororganismen für die Prozesskontrolle einzusetzen, wird bereits seit Jahrzehnten erfolgreich bei der regelmäßig vorgeschriebenen hygienisch-mikrobiologischen Trinkwasseruntersuchung eingesetzt. Ähnlich wie der Nachweis von hygienisch relevanten Bakterien eine hygienische Beeinträchtigung des Wassers anzeigt, können die für die Verockerung relevanten Indikatorbakterien verwendet werden, um die Verockerung auf ähnliche Weise sichtbar zu machen.

Diese Idee ist nicht neu und hat bereits seit einigen Jahrzehnten Einzug in die Brunnenanalytik gehalten [8]. Mithilfe moderner biochemischer Analyseverfahren können die spezifischen Indikatorbakterien nun jedoch sehr viel genauer als früher im Brunnen nachgewiesen werden. Dies unterscheidet das neue Verfahren komplett von bisherigen mikrobiologischen Untersuchungsmethoden, die mittels Züchtung in speziellen Nährmedien lediglich einen sehr groben Einblick zulassen [8]. In einer von der TU Berlin unterstützten Firmenausgründung – der Blue Biolabs GmbH – wurden diese neuen Ergebnisse zu einem neuartigen Brunnendiagnosewerkzeug weiterentwickelt und zur kommerziellen Anwendung gebracht. Das neue Verfahren macht sich zunutze, dass die biologische Verockerung sehr eng mit den eisenoxidierenden Bakterien im Brunnenumfeld zusammenhängt.

Die in den Ablagerungen lebenden Eisenbakterien befinden sich bei kons-

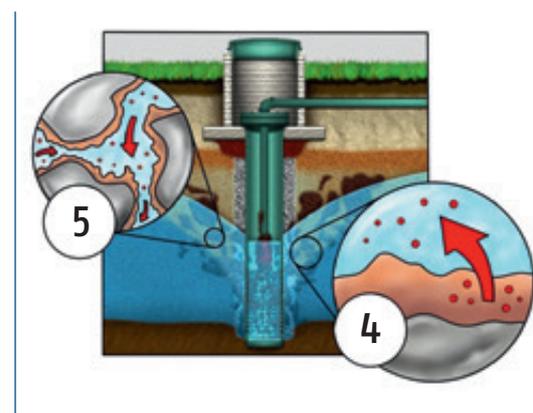


Abb. 5 – Biofilme im Brunnen; (4) Übergang von Indikatorbakterien in die Wasserphase, (5) Transport der Bakterien in Richtung der Pumpe

tanten Strömungsverhältnissen in einem Gleichgewicht mit der umgebenden Wasserphase [4]. Das heißt, dass während die Verockerung im Brunnenumfeld vorhanden ist (Abb. 4), von ihr auch stetig Bakterien an das umströmende Wasser abgegeben werden. Da das Wasser auf seinem Weg in den Brunnen an den Biofilmen vorbeifließt, nimmt es kontinuierlich Bakterien aus den Ablagerungen auf und transportiert sie über die Pumpe nach oben (Abb. 5). Dieser Ansatz ermöglicht es, die biologische Verockerung sehr genau zu beobachten und Veränderungen im Wachstumsverhalten der auslösenden Bakterien im Idealfall schon lange vor auffälligen Leistungsminderungen zu erkennen. Ein weiterer Vorteil für den Brunnenbetreiber besteht darin, dass für die Untersuchung lediglich einfache Wasserproben aus der Beprobungsleitung benötigt werden. Der Brunnenkopf muss nicht geöffnet werden und der Brunnen kann während der Beprobung weiterhin in Betrieb bleiben.

Das System in der Praxis

Die Anwendungsmöglichkeiten des neuen Analyseverfahrens sind vielseitig. Sie umfassen unter anderem den Vergleich verschiedener Brunnen einer Galerie oder auch größerer Einzugsgebiete untereinander und die Betrachtung des Einflusses prozessseitiger Änderungen. Durch die Auswertung dieser Daten und anhand der interpretierten Messprotokolle, kann der Betreiber den Einfluss der biologischen Verockerung auf seinen Brunnen schnell und einfach beurteilen. Der Anwender kann außerdem den Einfluss von Stillstandszeiten und Fördermengen auf den biologischen Verockerungsprozess erkennen. Neben den für Beprobungen üblichen Vorkehrungen muss jedoch darauf geachtet werden, dass sich ein Gleichgewicht zwischen den Biofilmen und dem vorbeiströmendem Wasser einstellen kann.

Das von der Blue Biolabs GmbH angebotene MIDAS-Verfahren (Molecular Iron bacteria Detection and Screening) konnte dank eines von der Europäischen Union und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Existenzstipendiums Anfang 2013 zur Marktreife gebracht werden und kommt bereits in vielen deutschen Brunnen zum Einsatz. In einem Folgeartikel (Verockerungsanalytik für eine längere Brunnenlebensdauer – Teil 2) soll das Verfahren anhand von Praxisbeispielen genauer vorgestellt werden.

Literatur

- [1] Szewzyk, U., Szewzyk, R., Schmidt, B., Braun, B. 2011: Nuetrophilic iron-depositing microorganisms in: Flemming, H. C. et al. (eds.) Biofilm Highlights, Springer Series on Biofilms 5, Springer verlag Berlin, p. 63-79
- [2] Ehrenberg, C.G. 1838: Die Infusionstierchen als vollkommene Organismen, L. Voss, Leipzig
- [3] Krems, G. 1972: Studie über die Brunnenalterung, Bundesministerium des Innern
- [4] Cullimore D.R. 1999: Microbiology of Well Biofouling, CRC Press
- [5] Houben, G., Treskatis, C. 2012: Regenerierung und Sanierung von Brunnen, 2. Auflage, Oldenbourg Industrieverlag GmbH; 210-223
- [6] Urban, W., Treskatis, C., Benz, P., Rubbert T. 2007: Brunnenregenerierungen – Methodischer Ansatz zur ökonomischen Bewertung und Entscheidung. bbr 58 (11): 34-41
- [7] Hedrich, S., Schlömann, M., Johnson, D.B. 2011: The iron-oxidizing proteobacteria Microbiology, 157, 1551-1564
- [8] Carlson, H. K., Clark, I. C., Blazewicz, Steven J.; Iavarone, A. T., Coates, J. D. 2013: Fe(II) oxidation is an innate capability of nitrate-reducing bacteria that involves abiotic and biotic reactions, Journal of bacteriology vol. 195 (14) p. 3260-8
- [9] Spring, S. 2006: The genera Leptothrix and Sphaerotilus. The Prokaryotes, Vol. 5. New York: Springer, pp. 758-77
- [10] Chan, C. S., Fakra, S. C., Emerson, D., Fleming, E. J., Edwards, K. J. 2011: Lithotrophic iron-oxidizing bacteria produce organic stalks to control mineral growth: implications for biosignature formation, The ISME journal 5:717-27.
- [11] Mukherjee, P. K., Chand, D. V., Chandra, J., Anderson, J. M., Ghannoum, M. A. 2009: Shear stress modulates the thickness and architecture of Candida albicans biofilms in a phase-dependent manner, Mycoses 52 (5) p. 440-6
- [12] Cullimore, D. R., McCann, A. E. 1974: The Global Distribution of Iron Bacteria in Water, Unpublished report #9, Regina Water Research Institute, University of Regina, Canada.

Autoren

Dipl.-Ing. Oliver Thronicker
Blue Biolabs GmbH
Ernst-Reuter-Platz 1 – BH 6-1
10587 Berlin
Tel.: 030 31473-178
Oliver.Thronicker@BlueBiolabs.de
www.BlueBiolabs.de

Prof. Dr. Ulrich Szewzyk
Technische Universität Berlin Sekr. BH 6-1
Fachgebiet Umweltmikrobiologie
Ernst-Reuter-Platz 1
10587 Berlin
Tel.: 030 31473-461
Ulrich.Szewzyk@tu-berlin.de
www.umb.tu-berlin.de

swan
ANALYTICAL INSTRUMENTS

AMI Turbiwell – Berührungsfreie Trübungsmessung für Trinkwasser, Oberflächenwasser und Abwasser.



- Messung nach ISO 7027.
- Messbereich:
0 - 200 FNU
- Geringer Wasserverbrauch.
- Berührungsfreie optische
Elemente – keine
Verschmutzungsgefahr.
- Autom. Abschlämmung
zum Spülen der Messzelle.
- Für den Einsatz in Quell-
wässern geeignet.

www.swan.ch

SWAN Analytische Instrumente GmbH
Am Vogelherd 10
DE-98693 Ilmenau
Telefon +49 3677 46260
Telefax +49 3677 462626
info@swaninstrumente.de

