



BIOENERGIE UND TRINKWASSERVERSORGUNG

Probleme durch die Bioenergieerzeugung – Lösungen im Sinne der Trinkwasserversorger

Die Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG), die Anfang 2009 umgesetzt wurde, hat der Energiepflanzenproduktion in Deutschland weiteren Aufschwung verliehen. Als Folge der politischen Vorgaben (Verdopplung des Anteils von Erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch bis zum Jahr 2020) wird die Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe wie in den vorangegangenen Jahren weiter zunehmen. Im Jahr 2008 wurden bereits auf 0,5 Millionen Hektar Mais und weitere Pflanzen als Substrat für Biogasanlagen angebaut, insbesondere bei Energiemais mit steigender Tendenz. Die Folgen der parallel dazu stattfindenden Intensivierung der Landnutzung für Grund- und Oberflächenwässer sind hinlänglich bekannt. Neben der Belastung der Gewässer durch Pflanzenschutzmittel und Nitrat kann dabei vor allem die Rückführung der Gärreste aus der Biogasproduktion in Wasserschutz- bzw. Einzugsgebiete von Trinkwassergewinnungsanlagen problematisch sein, insbesondere dann, wenn zur Fermentation mit Schadstoffen belastete Substrate wie z. B. Abfälle aus der Biotonne herangezogen werden. Deshalb sind aus Vorsorgegründen strengere Richtlinien für die Ausbringung von Gärresten in Trinkwassereinzugsgebieten notwendig.



Die einschlägigen gesetzlichen Regelungen reichen nicht aus, um flächendeckend einen gewässerschützenden Energiepflanzenanbau zu erreichen. Insbesondere fehlen definierte N-Obergrenzen für die Ausbringung der Gärreste. Eine Erhöhung der Lagerkapazitäten ist zwingend erforderlich, um eine pflanzenbedarfsgerechte Düngung mit Gärresten zu ermöglichen. Zudem ist die Entwicklung nachhaltiger, standortangepasster Anbaukonzepte für Energiepflanzen notwendig.

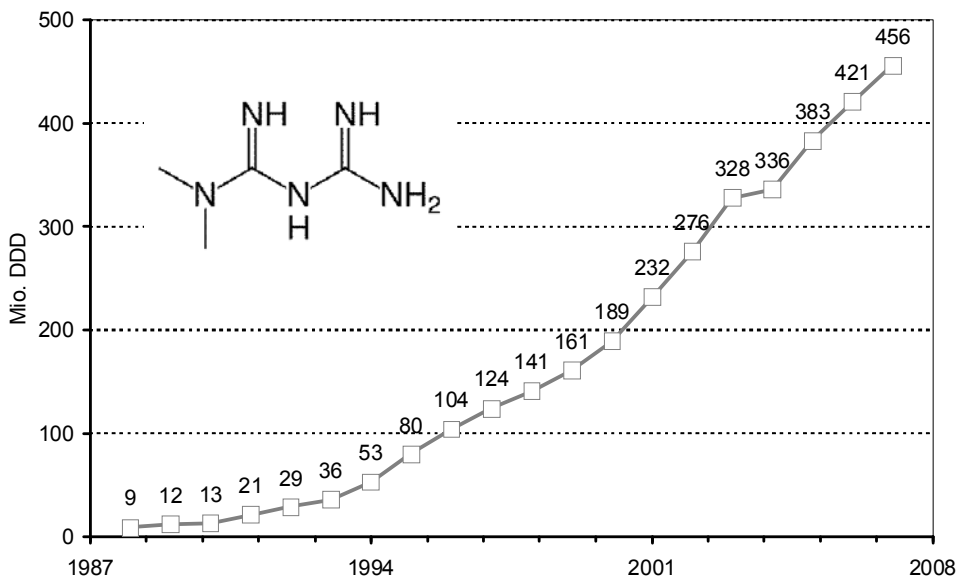
Eine interessante Variante der landwirtschaftlichen Energieerzeugung stellt der Miscanthus-(Chinaschilf)-Anbau zur thermischen Verwertung dar. Die Vorzüge des Miscanthusanbaus für den Gewässerschutz sind vom TZW in einem zurückliegenden Forschungsvorhaben herausgearbeitet worden. Darüber hinaus befasste sich das TZW im Rahmen von zwei weiteren aktuellen Forschungsvorhaben mit der Problematik des Energiepflanzenanbaus und der Verwertung von Gärresten aus Sicht der Trinkwasserversorgung. In Zusammenarbeit mit der DVGW-Forschungsstelle, Abteilung Gastechologie, erstellte das TZW z. B. eine Bewertung der möglichen Substrate für Biogasanlagen im Hinblick auf die Eignung zur Ausbringung der Gärreste in Abhängigkeit der Wasserschutzgebietszonen. Ergebnisse aus diesen Studien flossen auch in ein DVGW-Positionspapier zum Thema ein.

Wasserversorger können die Erkenntnisse des TZW bei der Entwicklung von Strategien für einen gewässerschützenden Energiepflanzenanbau in Trinkwassergewinnungsgebieten umsetzen.

Das Antidiabetikum Metformin - Ein „neuer“ Spurenstoff in der Umwelt

Das Antidiabetikum Metformin, das bei nicht insulinabhängiger Zuckerkrankheit (Diabetes mellitus Typ 2) und insbesondere bei Übergewicht und Fettsucht eingesetzt wird, zählt zu den weltweit meistverordneten Arzneimittelwirkstoffen. Allein für Deutschland errechnet sich aus der veröffentlichten Zahl an jährlichen Verschreibungen von ca. 456 Millionen und einer mittleren Tagesdosis von etwa 2 g für 2007 eine Verordnungsmenge von über 900 t. Damit wird der seit mehr als 15 Jahren anhaltende Trend einer stetigen Zunahme der Verschreibungsmengen kontinuierlich fortgesetzt (Bild). Nach Literaturangaben wird Metformin im Körper nicht metabolisiert und unverändert ausgeschieden.

Am TZW wurde ein Analysenverfahren entwickelt, das basierend auf einer Festphasenanreicherung von nur 10 mL Wasserprobe und einer nachfolgenden Analyse mittels Flüssigchromatographie und Tandem-Massenspektrometrie die Bestimmung von Metformin aus wässrigen Proben bis zu Konzentrationen von 10 ng/L ermöglicht. Details der analytischen Methode sind in der Literatur veröffentlicht (*M. Scheurer, F. Sacher, H.-J. Brauch, J. Environ. Monit. 11, 1608-1613 (2009)*).



Mit dem entwickelten Analysenverfahren wurde das Vorkommen von Metformin in Abwässern, Oberflächenwässern und Trinkwässern untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass Metformin in Zuläufen zu kommunalen Kläranlagen in Konzentrationen bis über 100 µg/L auftritt, dass aber in der Kläranlage ein weitgehender Rückhalt stattfindet. Neueste Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Rückhalt in Kläranlagen auf einen mikrobiellen Abbau von Metformin zurückzuführen ist, bei dem allerdings ein stabiler Metabolit gebildet wird.

Aufgrund des guten Rückhalts liegen die Konzentrationen an Metformin in Abläufen kommunaler Kläranlagen häufig in der Größenordnung von wenigen µg/L. Als Folge wird Metformin in nahezu allen Oberflächenwässern nachgewiesen. Die Konzentrationen hängen von dem Abwasseranteil des Gewässers ab und liegen für größere Flüsse wie Rhein, Main oder

Elbe im Bereich von einigen 0,1 µg/L, also in der gleichen Größenordnung wie die Gehalte anderer prominenter Arzneimittelrückstände wie Carbamazepin oder einiger Röntgenkontrastmittel. Bei der Bodenpassage wird Metformin allerdings wirkungsvoll zurückgehalten (vermutlich durch Sorption, da Metformin bei pH-Werten unter 8 als zweifach positiv geladenes Kation vorliegt), sodass bei Wasserversorgern, die Uferfiltrat zur Trinkwasseraufbereitung nutzen, bislang noch keine Befunde an Metformin im Roh- oder gar im Trinkwasser festgestellt wurden.

Dipl.-Ing. M. Scheurer, Dr. F. Sacher

Untersuchung von marktüblichen Elektrolyseanlagen zur Herstellung chlorhaltiger Desinfektionsmittel aus Sole im Wasserwerk

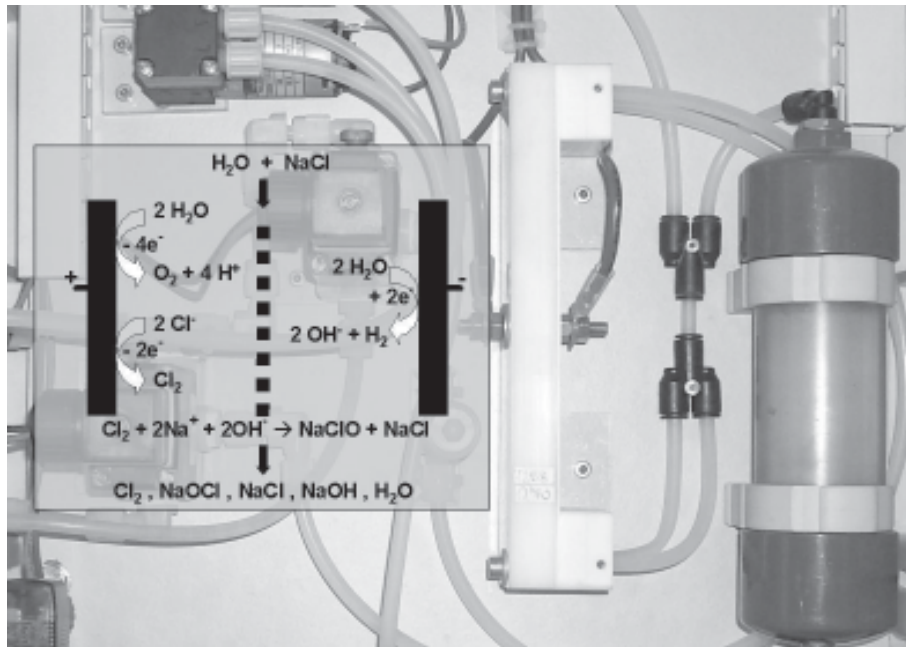
Die elektrolytische Herstellung chlorhaltiger Desinfektionsmittel mittels Membran- und Kammerzellenelektrolyse aus Sole vor Ort ihres Einsatzes wurde kürzlich in den Entwurf der Technischen Regel des DVGW, Arbeitsblatt W 229, „Trinkwasserdesinfektion mit Chlor- und Hypochloriten“, aufgenommen.

In diesem Zusammenhang war zu klären, ob

1. neben Chlor noch weitere desinfizierende Agenzien wie Chlordioxid, Wasserstoffperoxid und Ozon entstehen und
2. unerwünschte Begleit- und Nebenprodukte, beispielsweise Trihalogenmethane (THM), Chlorit, Chlorat, Perchlorat und Bromat, gebildet werden.

Im Ergebnis der Untersuchungen waren die Rahmenbedingungen zur Qualitätskontrolle elektrolytisch generierter Desinfektionslösungen aus Sole im Wasserwerk zu definieren und gegebenenfalls nötige Einschränkungen festzulegen.

Im Verlauf der Arbeiten wurden die Anlagen der Firmen WAPOTEC GmbH, REDO Watersystems, Wallace & Tiernan, Franke-AquaRotter und Oximat Systems getestet.



Anlage zur elektrolytischen Herstellung von chlorhaltigen Desinfektionsmitteln

Die Qualitätsbewertung der Produkte erbrachte folgendes Ergebnis:

Alle Generatoren produzieren aus Sole reine hypochlorige Säure bzw. Hypochlorit.

Oxidierende Nebenbestandteile wie Chlordioxid, Wasserstoffperoxid und Ozon wurden in den Stammlösungen nicht nachgewiesen.

Infolge der Elektrolyse werden in den Stammlösungen Halogenoxide gebildet. Dazu zählen insbesondere Chlorat sowie in Einzelfällen Perchlorat und Bromat.

In das Trinkwasser werden in Abhängigkeit der Chlordosis somit Halogenoxide eingetragen. Im Fall der maximal zulässigen Dosis von 1,2 mg/L betrug der ermittelte Höchsteintrag von Chlorat 328 µg/L, der von Perchlorat 109 µg/L und der von Bromat 9,8 µg/L. Im Fall des Bromats wäre damit der Grenzwert von 10 µg/L erreicht.

Bei der überwiegenden Anzahl der Messungen lagen die Konzentrationen dieser Ionen jedoch weit unter den zulässigen bzw. diskutierten Grenzen.

Der Gehalt an hypochloriger Säure bzw. Hypochlorit in den Stammlösungen blieb mit der Zeit (erfasst wurden sechs Wochen) weitestgehend konstant. Chlorat wird nachgebildet. Eine Neubildung von Perchlorat und Bromat wurde demgegenüber nicht gemessen.

Für den Einsatz der Anlagen im Trinkwasserbereich sollten in Absprache mit den entsprechenden Zulassungsstellen Regeln erlassen werden. Insbesondere müssen Kontrollen und Fahrweisen der Anlagen aufeinander abgestimmt werden. Vom TZW wurde ein Vorschlag für eine abgestimmte Kontrolle der Anlagen erarbeitet.

Dr. W. Schmidt, Dipl.-Chem. D. Nüske, Dipl.-Chem. M. Fischer

TECHNOLOGIE

Verwertung erschöpfter Aktivkohlen aus Wasserwerken zur weitergehenden Abwasserbehandlung

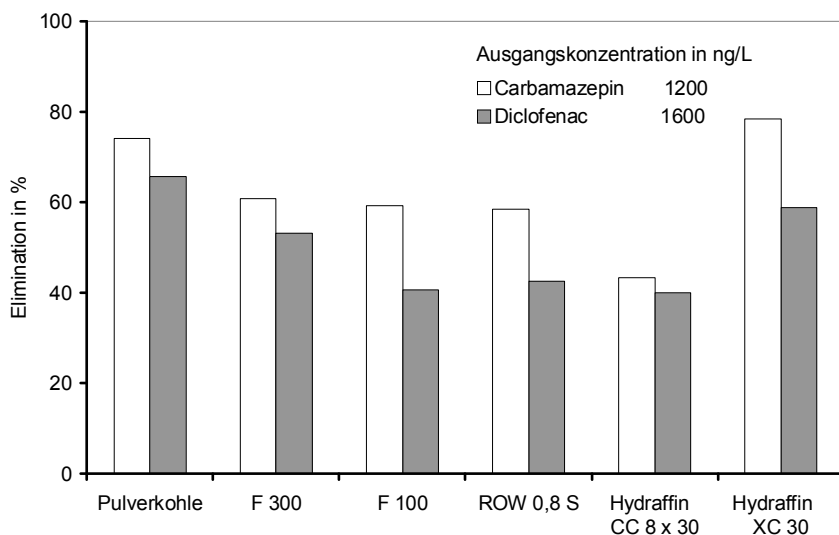
Die Adsorption mittels Kornaktivkohle dient in zahlreichen Wasserwerken der Entfernung organischer Spurenstoffe bzw. als Sicherheitsstufe, um einer bestehenden Gefährdung des Rohwassers begegnen zu können. Bisher wurden Aktivkohlen nach Erschöpfung meist einer thermischen Reaktivierung unterzogen und danach als Reaktivat erneut eingesetzt. Derzeit werden erschöpfte Aktivkohlen vermehrt der Entsorgung zugeführt. Bestehende potentielle Möglichkeiten einer Nutzung solcher Aktivkohlen als Wertstoff werden dabei nicht berücksichtigt. Eine Option wird darin gesehen, erschöpfte Trinkwasserreinigungskohlen zur weitergehenden Abwasserreinigung zu nutzen.

Die Beladungskapazität von Aktivkohlen erhöht sich mit zunehmender Konzentration der Inhaltsstoffe. Deshalb können erschöpfte Aktivkohlen aus der Trinkwasseraufbereitung bei der Abwasserbehandlung weitergehend beladen werden. Eine solche Vorgehensweise ist auch im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes.

Im Rahmen eines vom BMBF geförderten Forschungsvorhabens werden vom TZW neben Untersuchungen im Labormaßstab zum Adsorptionsverhalten abwasserrelevanter Stoffe an beladenen Wasserwerkskohlen verfahrenstechnische Kenndaten für den Konditionierungsvorgang der granulierten erschöpften Wasserreinigungskohlen erarbeitet. Wesentliche Einflussfaktoren sind hierbei u.a. Mahlfeinheit und Wassergehalt.

Ein wesentliches Ergebnis der bisherigen Arbeiten ist, dass sich erschöpfte Wasserwerkskohlen im abgetropften Zustand problemlos zu Pulverkohlen aufmahlen lassen mit Korngrößen, die mit handelsüblichen Pulverkohlen vergleichbar sind. Eine Trocknung vor dem Mahlvorgang ist nicht erforderlich.

Entsprechende Aktivkohlemuster aus verschiedenen Trinkwasseraufbereitungsanlagen werden im Rahmen des Vorhabens ebenfalls aus adsorptionstechnischer Sicht bewertet.



Entfernung von Arzneimittelwirkstoffen aus einem kommunalen Abwasser mit handelsüblicher Pulverkohle sowie erschöpften Wasserwerkskohlen (Zugabemenge: 20 mg/L; Kontaktzeit: 4 Stunden)

Die Eignung gemahlener erschöpfter Wasserwerkskohlen zur Entfernung von organischen Spurenstoffe aus Abwasser im Vergleich zu handelsüblicher Pulverkohle ist aus der grafischen Darstellung am Beispiel der pharmazeutischer Wirkstoffe zu erkennen. Abhängig von der Aktivkohletype und den Randbedingungen ergeben sich unterschiedliche Leistungsdaten der hier betrachteten Aktivkohlen.

Insgesamt erscheint eine Nutzung erschöpfter Aktivkohlen aus der Trinkwasseraufbereitung zur weitergehenden Abwasserbehandlung zielführend. Auf kommunalen Kläranlagen können abbaubare Spurenstoffe adsorptiv eliminiert und somit aus Oberflächenwässern, die als Rohwasserressource für die Trinkwassergewinnung dienen, ferngehalten werden.

Die Untersuchungen werden unter praxisnahen Bedingungen durchgeführt mit dem Ziel, die vorgeschlagene Vorgehensweise im Rahmen eines konkreten Projektes großtechnisch umzusetzen.

zen. Dazu werden im weiteren Projektverlauf auch Untersuchungen an einer Pilotanlage beim Zweckverband Klärwerk Steinhäule durch die Hochschule Biberach durchgeführt. Kooperationspartner in dem BMBF-Forschungsvorhaben sind der Zweckverband Klärwerk Steinhäule, Steinle Verfahrenstechnik GmbH und die Hochschule Biberach.

Dr. B. Haist-Gulde, Dr. M. Riegel

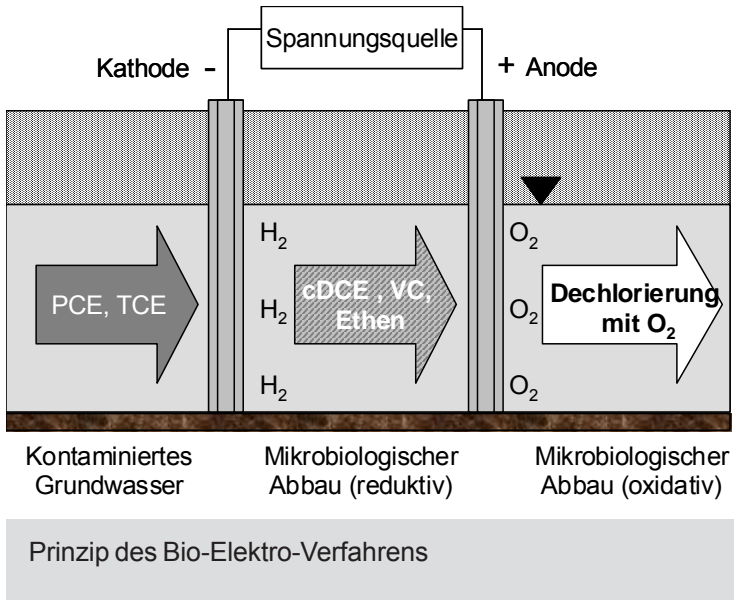
Umweltbiotechnologie

Bio-Elektro-Verfahren zur LCKW-Sanierung

Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (LCKW) sind die häufigsten Schadstoffe an Altlast-Standorten. Beim vollständigen reduktiven biologischen Abbau wird von Perchlorethen (PCE) sukzessive ein Chloratom abgespalten und durch ein Wasserstoffatom ersetzt, sodass das letztendlich vollständig dechlorierte Endprodukt Ethen entsteht. Die niedrigchlorierten Metabolite cis-Dichlorethen (cDCE) und Vinylchlorid (VC) sind auch unter aeroben Bedingungen abbaubar. An kontaminierten Standorten wird der Abbau in der Regel durch die mangelnde Verfügbarkeit von Auxiliarsubstraten und Elektronenakzeptoren limitiert. Zur Stimulation des reduktiven Abbaus werden oft komplexe Auxiliarsubstrate wie z. B. Melasse dosiert. Nach der Einbringung besteht dann allerdings keine Möglichkeit der Regulation, sodass Unter- und Überdosierungen auftreten.

In diesem Projekt wurde die regelbare Stimulation des mikrobiologischen LCKW-Abbaus durch den Einsatz von Elektroden in einem Säulensystem untersucht. Durch die bei Stromfluss resultierende Grundwasserelektrolyse werden simultan H_2 an der Kathode für die initiale reduktive Dechlorierung und O_2 an der Anode für den weiteren Abbau der niederchlorierten Metabolite bereitgestellt. Auf diese Weise wird ein sequentiell anaerob/aerober Schadstoffabbau ermöglicht. In der ersten Säule wurde der reduktive PCE-Abbau durch die elektrolytische H_2 -Produktion stimuliert. Die Metabolite der reduktiven Dechlorierung gelangten anschließend für einen oxidativen Abbau in die Anodensäule. Unerwünschte Nebenreaktionen wie die elektrochemische Bildung von Cl_2 traten bei den benötigten niedrigen Stromdichten nicht auf.

Es wurde ein vollständiger mikrobieller Abbau der Chlorethene erzielt. Bereits in der kathodischen Säule wurden die Schadstoffe um ca. 80 % reduziert. Die verbleibenden Metabolite wurden anschließend durch oxidativen mikrobiellen



Abbau vollständig mineralisiert. Die kontinuierliche, regelbare Dosierung mit den direkt verwertbaren Substraten der mikrobiologischen Dechlorierung ($H_2 + O_2$) bietet den Vorteil, dass unerwünschte Konkurrenzreaktionen wie die mikrobiologische Sulfatreduktion und Methanbildung minimiert werden können. Das neue Verfahren soll in der nächsten Entwicklungsstufe im Pilotmassstab erprobt werden.

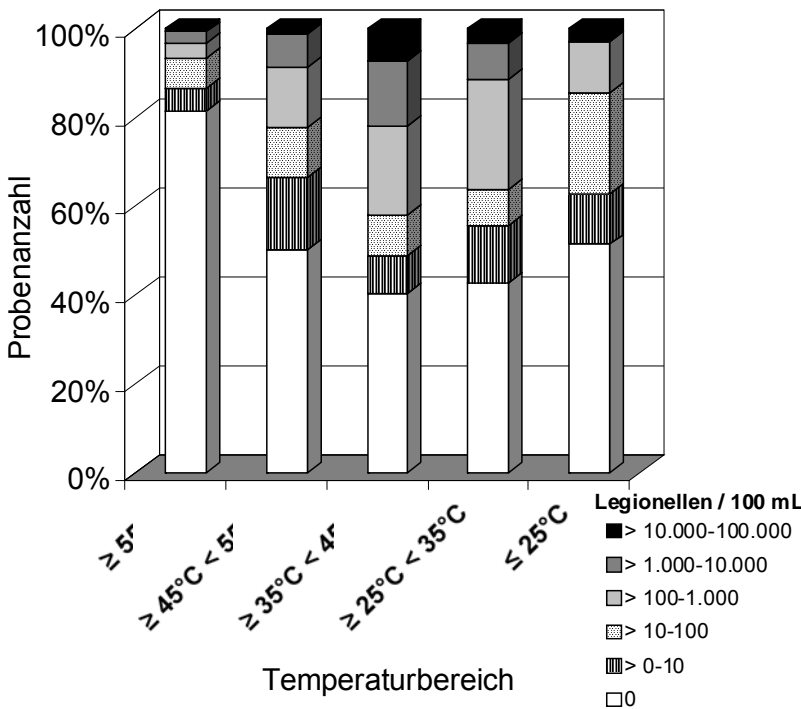
Literatur: (1) LOHNER S., TIEHM A. 2009. Application of electrolysis to stimulate microbial reductive PCE dechlorination and oxidative VC biodegradation. *Environmental Science & Technology* 43: 7098-7104, (2) TIEHM A., LOHNER S., AUGENSTEIN T. 2009. Effect of direct electric current and electrode reactions on vinyl chloride degrading microorganisms. *Electrochimica Acta* 54: 3453-3459, (3) LOHNER S. Stimulation des mikrobiologischen Chlorethen-Abbaus durch Einsatz von Elektrolyse. *Veröffentlichungen aus dem Technologiezentrum Wasser Karlsruhe* (ISSN 1434-5765), Band 37: 147 Seiten

Dr. A. Tiehm, Dipl.-Ing. (FH) T. Augenstein

MIKROBIOLOGIE

Auswertung der Ergebnisse von Legionellenuntersuchungen in öffentlichen Gebäuden

Legionellen sind stäbchenförmige, aerobe Bakterien, die laut Infektionsschutzgesetz zu den meldepflichtigen Erregern zählen. Sie kommen ubiquitär in der Umwelt vor und tolerieren Temperaturen von 5 °C bis 63 °C, wobei ihre Vermehrung hauptsächlich in einem Temperaturbereich von 25 °C bis 45 °C stattfindet.



Ergebnisse der Untersuchungen von Wasserproben aus Trinkwasser-Installationen auf Legionellen in Abhängigkeit von der gemessenen Wassertemperatur

Ergebnisse der Untersuchungen von Wasserproben aus Trinkwasser-Installationen auf Legionellen in Abhängigkeit von der gemessenen Wassertemperatur festgestellt. Auch bei Wassertemperaturen von weniger als 25 °C war der Anteil an Proben mit mehr als 100 Legionellen pro 100 mL relativ gering (14 %). Im Gegensatz hierzu wurden bei einer Wassertemperatur zwischen 35 und 45 °C in 42 % der untersuchten Proben, bei einer Wassertemperatur von 25 °C bis 35 °C in immerhin 36 % der Proben erhöhte Legionellenkonzentrationen festgestellt. Wenn die Wassertemperatur im für Legionellen

Untersuchungen auf Legionellen werden in zentralen Erwärmungsanlagen von Hausinstallationen, aus denen Wasser für die Öffentlichkeit bereitgestellt wird, im Rahmen der periodischen Kontrollen gefordert (Anlage 4 der TrinkwV 2001). Die allgemein anerkannten Regeln der Technik sind im DVGW-Arbeitsblatt W 551 dargelegt. Zur Bewertung von Legionellen-Kontaminationen wird als Zielwert eine Legionellenkonzentration von weniger als 100 KBE (Koloniebildende Einheiten) pro 100 mL angegeben.

Die Ergebnisse der Legionellenuntersuchungen in städtischen Gebäuden (Schulen, Kindergärten und Turnhallen) einer mittelgroßen deutschen Stadt wurden dem TZW für eine detaillierte Analyse zur Verfügung gestellt. In 47 % der in einem Zeitraum von 4 Jahren untersuchten Wasserproben aus Warmwasser-Installationen (insgesamt 660 Proben) wurden Legionellen nachgewiesen. Dabei lagen 26,5 % der Proben über dem technischen Maßnahmewert (>100 KBE/100 mL). In der Graphik ist die Höhe der Legionellenbefunde in Abhängigkeit von den parallel gemessenen Temperaturen dargestellt. Bei Temperaturen von mehr als 55 °C wurde lediglich in 7 % der Proben eine Überschreitung des technischen

TZW

Technologiezentrum Wasser

Karlsruher Straße 84
D-76139 Karlsruhe
Tel.: (0721) 9678-0
Fax: (0721) 9678-101
Mail: info@tzw.de
Web: http://www.tzw.de

Geschäftsleitung

Prof. Dr. W. Kühn
Tel.: (0721) 9678-110
Mail: kuehn@tzw.de

Analytik

Prof. Dr. H.-J. Brauch
Tel.: (0721) 9678-150
Mail: brauch@tzw.de

Technologie

Dr. G. Baldauf
Tel.: (0721) 9678-120
Mail: baldauf@tzw.de

Mikrobiologie

Dr. B. Hamsch
Tel.: (0721) 9678-220
Mail: hamsch@tzw.de

Grundwasser und Boden

Dipl.-Geol. J. Kiefer
Tel.: (0721) 9678-200
Mail: kiefer@tzw.de

Umwelbibiotechnologie und Altlasten

Dr. A. Tiehm
Tel.: (0721) 9678-220
Mail: tiehm@tzw.de

Verwaltung

Dipl.-Kfm. Th. Maier
Tel.: (0721) 9678-140
Mail: th.maier@tzw.de

Außenstelle Durlacher Wald

Prüfstelle & Abteilung Korrosion
Dr. J. Klinger
Tel.: (0721) 93163-10 / -13
Fax: (0721) 33160
Mail: klinger@tzw.de

Außenstelle Dresden

Wasserwerkstraße 2
D-01326 Dresden
Dr. B. Wricke
Tel.: (0351) 85211-0
Fax: (0351) 85211-10
Mail: wricke@tzw-dresden.de

optimalen Bereich liegt, kommt es dementsprechend am häufigsten zur Anreicherung von Legionellen in den Trinkwasser-Installationen.

Die vorgestellten Daten aus der Praxis zeigen deutlich, dass die Wassertemperatur einen entscheidenden Einfluss auf die Vermehrung von Legionellen in Trinkwasser-Installationen hat. Wird eine Wassertemperatur von mindestens 55 °C eingehalten, so können nur noch selten Legionellen nachgewiesen werden. Insofern sind die betriebstechnischen Anforderungen des DVGW-Arbeitsblattes W 551, in Großanlagen eine Mindesttemperatur von 55 °C einzuhalten (60 °C am Trinkwasser-Erwärmer, 55 °C in der Zirkulation), als sinnvoll und zielführend zur Vermeidung der Vermehrung von Legionellen in Trinkwasser-Installationen anzusehen.

Dr. M. Hügler, Dr. B. Hamsch

PRÜFSTELLE WASSER

In den letzten Jahren ist die Anzahl der Aufträge in der Prüfstelle Wasser stetig gestiegen. Dies gilt nicht nur für die hygienischen Prüfungen nach KTW-Leitlinie, DVGW Arbeitsblatt W 270 oder für metallene Werkstoffe nach DIN 15664-1, sondern insbesondere auch für Produkt- und Armaturenprüfungen. Somit kann eine Vielzahl von Produkten für die Wasserverteilung und Trinkwasser-Installation sowohl hinsichtlich der hygienischen als auch der mechanischen Anforderungen an der Prüfstelle Wasser geprüft werden. Hierzu zählen beispielsweise Sanitärarmaturen, Hydranten, Absperrschieber, Geräte zur Wassernachbehandlung und Installationssysteme. Die Prüfgrundlagen richten sich hierbei immer nach den Vorgaben des DVGW, DIN oder des Umweltbundesamtes. Somit ist die Prüfstelle Wasser für über 100 verschiedene Prüfungen akkreditiert. Auch die Anzahl der Forschungsaufträge konnte gesteigert werden, womit das notwendige Zusammenspiel von Forschung und Prüfung weiterhin sichergestellt ist.

Um für die Zukunft gut gerüstet zu sein, war daher ein Erweiterungsbau am Standort Wasserwerk Durlacher Wald in Karlsruhe für die Durchführung von Prüfungen und Forschungsaufträgen unumgänglich. Nach entsprechenden Planungsarbeiten wurde zusammen mit den Stadtwerken Karlsruhe im August mit den Bauarbeiten begonnen. Da auch während der Bauarbeiten die Prüf- und Forschungsarbeiten weitergeführt werden müssen, wurde die neue Halle über die alte Halle gebaut (Bild), welche dann abschnittsweise abgerissen wird. Zusätzlich wird während der Bauarbeiten in mobile Container ausgewichen.



Nach einer Bauzeit von nur zwei Monaten konnte mittlerweile im Oktober Richtfest gefeiert werden. Da alle Arbeiten bislang im Zeitplan liegen, wird die Fertigstellung der Halle einschließlich des Innenausbaus im Frühjahr 2010 erfolgen. Mit der neuen Prüfhalle wird dann die verfügbare Fläche nahezu verdreifacht sein.

Dr. J. Klinger