

# Diskussion des Einsatzes von Desinfektionsverfahren zur Inaktivierung von Legionellen unter Betrachtung rechtlicher Vorgaben

## 1. Zusammenfassung

Wasser, das zu Trinkwasser aufbereitet wird, muss als höchste Priorität den Anforderungen der Trinkwasserverordnung entsprechen. Für den speziellen Fall der Desinfektion verweist die Trinkwasserverordnung im § 11 auf eine „Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren“. Diese Liste enthält Angaben zu Reinheitsanforderungen, den genauen Verwendungszweck der zur Aufbereitung eingesetzten Stoffe, deren zulässige Zugabemengen und Höchstkonzentrationen von im Wasser verbleibenden Restkonzentrationen. Weiterhin werden in dieser Liste Einsatzbedingungen und Wirksamkeit der Aufbereitungsverfahren erläutert. Die Liste wurde mit Inkrafttreten der Trinkwasserverordnung 2001 am 01.01.2003 verbindlich [24].

Im Arbeitsblatt W 551 [7] (Bezug auf § 4 TrinkwV) wird darauf hingewiesen, dass eine kontinuierliche Zugabe von Chemikalien in Konzentrationen, die nach Trinkwasserverordnung zulässig sind, Legionellen nicht in ausreichendem Maße abtöten und somit nicht zur Legionellenbekämpfung zweckmäßig sind. Schlussfolgernd daraus ergibt sich zunächst:

Die auf chemischer Basis arbeitenden Desinfektionsverfahren haben zur Bekämpfung von Legionellen keine Empfehlung für den kontinuierlichen Betrieb gemäß Trinkwasserverordnung. Diese Aussage sollte allgemein für die Chlorung, den Einsatz von Chlordioxid und Wasserstoffperoxid (nur für Oxidation, nicht für Desinfektion) als auch für die Elektrolyse und die Kupfer-Silber-Elektrolyse gelten. Bei der Kupfer-Silber-Elektrolyse kommt hinzu, dass

die absichtliche Zugabe von Kupfer nach Trinkwasserverordnung eindeutig nicht erlaubt ist.

Bei den Herstellern von Elektrolyseanlagen zur Bekämpfung von Legionellen wird diese pauschale Schlussfolgerung „nicht akzeptiert“. Es werden Anlagen zur kontinuierlichen Desinfektion mit nachfolgender Begründung verkauft. In der Einleitung zur „Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 11 der Trinkwasserverordnung 2001“ [24] wird die Elektrolyse namentlich in Verbindung mit Aufbereitungsstoffen zur Abtötung bzw. Inaktivierung von Krankheitserregern genannt. Legionellen gehören eindeutig dazu. Für nachfolgende Betrachtung spielt daher die Arbeitsweise der Elektrolyseanlage eine entscheidende Rolle. Handelt es sich um eine Elektrolyseanlage, die a) aus dem durch die Elektrolyse fließenden Warmwasser ein Chemikaliengemisch herstellt oder um eine, die b) aus einer NaCl-Sole eine Chemikalie produziert? Für a) gilt: Neben Chlor werden bei dieser Elektrolysetechnik je nach Wasserzusammensetzung, pH-Wert, Temperatur, Stromstärke, etc. verschiedene andere Produkte gebildet, denen nach Herstellerangaben die eigentliche desinfizierende Wirkung gegenüber Legionellen als Kombinationswirkstoff zugeschrieben wird [25 – 28]. In der Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren nach § 11 der Trinkwasserverordnung [24] ist das Verfahren der Elektrolyse jedoch namentlich in Teil II ausschließlich zur „elektrolytischen Herstellung und Dosierung von Chlor vor Ort“ aufgeführt.

Aus unserer Sicht ist das ausschließlich die Ermächtigung für die

Anlagen, die aus einer definierten NaCl-Sole eine Chemikalie herstellen (Typ b). In diesem Zusammenhang wird gleichzeitig auf die beiden Regelwerke W 296 »Vermindern oder Vermeiden der Trihalogenmethanbildung bei der Wasseraufbereitung und Trinkwasserverteilung« und W 623 »Dosieranlagen für Desinfektionsmittel bzw. Oxidationsmittel; Dosieranlagen für Chlor« verwiesen. Weiterhin heißt es in [24]: „Bei Einsatz des Verfahrens außerhalb des Wasserwerkes ist auf die Einhaltung des Grenzwertes für Trihalogenmethane (THM) beim Verbraucher zu achten.“

Das Verfahren der Elektrolyse ist aus unserer Sicht derzeit nicht zu empfehlen, wenn nach Werbeaussagen der Hersteller ein Kombinationswirkstoff (Typ a) erzeugt und dosiert wird. Würde man von der alleinigen Desinfektionswirkung beruhend auf dem generierten Chlor (Typ b) ausgehen, kann das Verfahren laut DVGW-Arbeitsblatt W 551, Ausgabe Juli 2003 [7] nicht wirksam zur Legionellenbekämpfung eingesetzt werden, da „eine kontinuierliche Zugabe von Chemikalien nicht zweckmäßig ist ... mindestens 10 mg/l freies Chlor ...“ Wir ordnen daher bis auf Weiteres die Elektrolyse als diskontinuierliches Verfahren ein.

Auf Grund der Komplexität der Betrachtung der Elektrolyseanlagen empfehlen wir, sich generell von den Herstellern die Zulässigkeit nach Trinkwasserverordnung 2001 und bei Bedarf die Einhaltung des Grenzwertes für Trihalogenmethane beim Verbraucher bestätigen zu lassen.

Das Verfahren der Thermischen Desinfektion ist eindeutig ein diskon-

tinuierliches Verfahren. Es besteht bei  $>70^{\circ}\text{C}$  die Gefahr der Verbrühung für den Nutzer des Systems.

Die UV-Bestrahlung ist im Teil II der Liste nach § 11 der Trinkwasserverordnung [24] aufgeführt. Sie ist zur Desinfektion geeignet und zugelassen, jedoch mit der Einschränkung, dass die Anlagen gemäß technischem Regelwerk geprüft sein müssen oder diese Prüfung bei in Betrieb befindlichen Anlagen bis spätestens 2005 nachgeholt werden muss. Die an die UV-Anlagen gestellten Anforderungen sind im DVGW-Arbeitsblatt W 294 [16] festgeschrieben. Im Arbeitsblatt W 551, Ausgabe Juli 2003 [7] ist das Verfahren der UV-Desinfektion als zulässiges Verfahren angeführt.

Der Hersteller des Kombinationsverfahrens aus Ultraschall und UV-Bestrahlung ordnet seine Anlage als UV-Anlage ein. Die Aufgabe des Ultraschalls (Aufbrechen von Schutzräumen) wird in der Beschreibung der Anlage rein physikalisch gewertet. Eine Beeinflussung der Wasserqualität durch Ultraschall wird durch den Hersteller ausgeschlossen. Diese Anlagenkombination ist die bisher einzige Technik, die sich neben der Sterilfiltration der bekannten Amöbenproblematik gezielt stellt und bundesweit zur Verfügung steht.

## 2. Einleitung

Legionellen sind Bakterien, die ihre Namensgebung einer Epidemie akuter Lungenentzündungen im Jahre 1976 während eines Veteranentreffens der American Legion in Philadelphia „verdanken“. Hier erkrankten von 4400 Teilnehmern 221 Personen an einer mysteriösen Lungenentzündung, 34 Menschen verstarben. Die Bakterien wurden in der Klimaanlage des Hotels gefunden und 1977 identifiziert [1].

Auch in Europa gab es, ausgelöst durch Legionellen-Bakterien, Epidemien. Im Jahre 1999 verstarben 28 Be-

sucher einer Blumenschau in den Niederlanden, in Belgien 9 Personen [1]. Im Juli 2001 kam es in der spanischen Stadt Murcia zu einem Ausbruch mit 650 Erkrankten, wobei 6 Menschen starben [2]. Im Januar und Februar 2001 wurde in Berlin unter großem Medieninteresse eine Reihe von Schwimmbädern aufgrund von Legionellenbefall vorsorglich geschlossen [4]. Jüngste Beispiele sind die Fälle des Klinikums Frankfurt/Oder (hier starben zwei Patienten) und des Kreuzfahrtschiffs „Ocean Monarch“ (1 Toter) [2, 3, 5].

Die Bakterien sind in fast allen Oberflächengewässern wie Flüssen, Seen und Teichen anzutreffen. In ihrer natürlichen Umgebung verursachen die Legionellen keine Probleme. Dass sie in künstlich geschaffenen Warmwassersystemen in hohen Koloniezahlen anzutreffen sind, hat u.a. die dort vorherrschende optimale Vermehrungstemperatur als Ursache, die zwischen  $25^{\circ}\text{C}$  und  $50^{\circ}\text{C}$  liegt [6].

Für die Vermehrung brauchen sie außerdem gelöste Eisensalze, die fast immer in Form von Korrosionsprodukten in Warmwassersystemen vorhanden sind oder über die Frischwassernachspeisung in das System gelangen.

Eine wesentliche Vermehrungsgrundlage der Legionellen ist ihr Bedarf an essentiellen Aminosäuren. Gewöhnlich kommen Aminosäuren in den benötigten Mengen nicht frei im Wasser vor. Fest steht, dass Legionellen die Eigenschaft besitzen, sich intrazellulär in Protozoen zu vermehren [7]. Als potentielle Wirte von Legionella spp. gelten zahlreiche Amöbenarten und Ciliate [8]. Nach [9] wurden stichprobenartig bis zu 300 Amöben pro Liter Wasser in Hausinstallationen nachgewiesen. Diese Besonderheit der intrazellulären Vermehrung kann zum einen das massenhafte Vorkommen von Legionellen in Warmwassersystemen, zum anderen aber auch ihre Resistenz gegenüber bestimmten Desinfektionsmitteln bzw. -verfahren erklären [10].

Im Jahre 2003 hat sich mit Inkrafttreten der Trinkwasserverordnung vom 21.05.2001 [11] einiges geändert. Nachfolgend ist die Rechtslage aus Sicht eines Ingenieurs dargestellt.

## 3. Die Rechtslage aus Sicht eines Ingenieurs

### 3.1 Das Infektionsschutzgesetz (IfSG)

Das »Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen« wird kurz Infektionsschutzgesetz genannt [22].

Mit der Einführung dieses Gesetzes am 1. Januar 2001 ist der labordiagnostische Erregernachweis verschiedener in § 7 aufgeführter Krankheitserreger nachweispflichtig.

Beim Hinweis auf eine akute Erkrankung, die durch diese Erreger hervorgerufen werden, ist das diagnostizierende Labor verpflichtet, dem zuständigen Gesundheitsamt Meldung zu erstatten. Im § 7 des Infektionsschutzgesetzes ist das Legionellen-Bakterium neben 46 weiteren Krankheitserregern mit der Forderung nach einer namentlichen Meldung angeführt.

Eine systematische Erfassung der genauen epidemiologischen Daten erfolgt seit Inkrafttreten des Infektionsschutzgesetzes. § 4 des Infektionsschutzgesetzes überträgt dabei dem Robert-Koch-Institut (RKI) eine führende Rolle. Das RKI erstellt aus Daten eine Statistik und wertet sie infektions-epidemiologisch aus [22].

In Zukunft wird es möglich sein, eine Häufung der im § 7 aufgeführten Infektionskrankheiten schnell zu erkennen. Vor dem Hintergrund der neu eingeführten Meldepflicht muss derzeit von einer Untererfassung ausgegangen werden.

Im Jahr 2002 (2001) wurden 413 (329) Legionellose-Erkrankungen er-

fasst. Mittels einer vorsichtigen Hochrechnung kann von mindestens 6000 Legionellose-Erkrankungen pro Jahr in Deutschland ausgegangen werden. Schätzungen, die weltweit durchgeführt wurden, kommen auf vergleichbare Größenordnungen [6, 23].

### 3.2 Die Trinkwasserverordnung (TrinkwV)

Mit Beginn des Jahres 2003 trat die Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001 in Kraft, u.a. veranlasst durch § 37 des IfSG. Die neue Trinkwasserverordnung (TrinkwV) enthält hinsichtlich der Legionellen wichtige Neuerungen. Im § 4 heißt es:

„(1) Wasser für den menschlichen Gebrauch muss frei von Krankheitserregern, genusstauglich und rein sein. Dieses Erfordernis gilt als erfüllt, wenn bei der Wassergewinnung, der Wasseraufbereitung und der Verteilung die allgemein anerkannten Regeln der Technik eingehalten werden...“ [11].

Das hat zur Folge, dass das vorhandene, sich qualitativ und quantitativ ständig verändernde Technische Regelwerk eine erheblich stärkere Bedeutung erhält.

§ 11 der TrinkwV regelt den Einsatz von Aufbereitungsstoffen und Desinfektionsverfahren. Es dürfen nur Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren angewandt werden, die in einer Liste (veröffentlicht vom Bundesgesundheitsministerium im Bundesgesundheitsblatt [24]) aufgeführt sind. Besagte Liste wird unter Beteiligung verschiedener Fachkreise erstellt und ständig fortgeschrieben. Die jeweils aktuelle Fassung kann auch auf den Internet-Seiten des Umweltbundesamtes abgerufen werden.

Weiterhin gilt, dass nach Trinkwasserverordnung (Anlage 4 zu § 14 Abs. (1), § 19 (7)) ab dem Jahr 2003 Legionellenuntersuchungen in Hausin-

stallationen, aus denen Wasser an die Öffentlichkeit abgegeben wird (insbesondere Krankenhäuser, Kindergärten, Schulen, Gaststätten und sonstige Gemeinschaftseinrichtungen), jährlich vorgeschrieben sind [7, 11].

§ 24 (Straftaten) der Trinkwasserverordnung zeigt mit Bezug zu den §§ 4 und 11 TrinkwV sowie zum § 7 des Infektionsschutzgesetzes (Legionellen) ganz klar Konsequenzen bei Nichteinhaltung auf. Es gilt als Straftat, wenn Wasser vorsätzlich oder fahrlässig abgegeben wird, welches nicht den Anforderungen der Trinkwasserverordnung genügt. Für Ingenieure ist die Kombination „fahrlässig“ in Verbindung mit „den allgemein anerkannten Regeln der Technik“ ein in der juristischen Bedeutung schwer einzuschätzender Umstand. Eine nicht von der Hand zu weisende Beziehung scheint gegeben.

### 3.3 Allgemein anerkannte Regeln der Technik

„Allgemein anerkannte Regeln der Technik“ ist eine Formulierung, die häufig angewendet wird. Man versteht darunter u.a. Regelwerke bzw. Normen, die durch Fachgremien aufgestellt werden. Sie werden in der Öffentlichkeit diskutiert und danach festgeschrieben. In regelmäßigen Abständen erfolgt eine Aktualisierung.

Für die Legionellenbekämpfung sind eine ganze Reihe verschiedener Regelwerke und Normen vorhanden.

Die bedeutendsten aus unserer Sicht sind die DVGW-Arbeitsblätter W 551 [7] »Trinkwassererwärmungs- und Leitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen« und W 553 »Bemessen von Zirkulationssystemen in zentralen Trinkwassererwärmungsanlagen«. Die nachfolgende Zusam-

menfassung stellt, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, weitere Normen vor.

Bei der Planung von Trinkwasserinstallationen muss die DIN 1988 [14] »Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen« eingehalten werden. Diese in 8 Teile gegliederte Norm beschäftigt sich mit der Planung, Errichtung, Änderung, Instandhaltung und dem Betrieb von Trinkwasseranlagen in Gebäuden und auf Grundstücken. Sie enthält u.a. Zuständigkeiten für Planung, Bau und Betrieb von Anlagen.

Da auch zu großes Speichervolumen in den Trinkwassererwärmern aufgrund der sich bildenden Stagnationszonen zu Problemen hinsichtlich der Legionellenkontamination führen kann, sollte für Speicher die DIN 4708 »Zentrale Wassererwärmungsanlagen« herangezogen werden. Beim Einbau oder der Sanierung von Wassererwärmungsanlagen sollen zudem die DIN 4753 »Wassererwärmungsanlagen für Trink- und Brauchwasser« und die DIN 44532 »Elektro-Wassererwärmer« Beachtung finden.

Nicht vergessen werden dürfen die Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) sowie VDI-Richtlinien.

## 4. Untersuchung der Hausinstallation

Die Überprüfung eines Systems auf Legionellen beginnt mit der Untersuchung der Hausinstallation.

Diese Untersuchung hat gemäß Empfehlung des Umweltbundesamtes, veröffentlicht im Bundesgesundheitsblatt 11/2000, zu erfolgen. Neben der Beschreibung von Voraussetzungen, Probenahme, Material und Methode finden sich hier entscheidende Hinweise zur Gesamtproblematik. „In jedem Fall ist es notwendig, dass das unter-

suchte technische System so gut wie möglich dokumentiert und beschrieben wird, damit Rückschlüsse aus dem Untersuchungsergebnis auf die hygienischen Zustände im untersuchten System möglich sind.“

„Die Beschreibung des untersuchten Systems sowie die Festlegung der Probenahmestellen vor Ort machen es erforderlich, dass erfahrene Fachpersonal selbst vor Ort das zu untersuchende System und eventuell vorhandene Pläne begutachtet.“ [12].

Besonders wichtig ist das DVGW-Arbeitsblatt W 551, Ausgabe Juli 2003 [7]. Darin sind, ergänzend zu [12], wesentliche Hinweise zur Beurteilung von Anlagen zur Untersuchung und Probenanzahl aber auch ein Probenahmeschema enthalten. Eine Bewertung erfolgt hier ebenfalls. Die Tabellen 1a und 1b sind für das Verständnis der Analyseergebnisse heranzuziehen. Nach DVGW-Arbeitsblatt W 551 wird ein Wert von weniger als 100 Legionellen pro 100 ml Probenwasser als keine bzw. geringe Kontamination gewertet. Höhere und durch weitergehende Untersuchungen bestätigte Werte erfordern, je nach Bewertungsgrad, eine Sanierung des Systems. Nach [7] gehören zur Sanierung betriebstechnische, verfahrenstechnische (Desinfektion) und bautechnische Maßnahmen. Es hängt immer direkt vom System ab, welche Maßnahme bzw. Maßnahmenkombination am frühesten zielführend ist. Nicht alle Maßnahmen können im jeweiligen System Anwendung finden. Es sollte immer überprüft werden, ob die Maßnahme ohne Schädigungen des Systems ausgeführt werden kann. So kann zum Beispiel die chemische Desinfektion aufgrund ungeeigneter Materialien nicht immer eingesetzt werden, bzw. bei der thermischen Desinfektion kann es aufgrund von Wasserinhaltsstoffen (z.B. „Kalk“) zu Systemschädigungen kommen.

Es ist gängige Praxis, durch den Einbau von Desinfektionsanlagen die weitaus höheren Umbaukosten zu-

nächst zu umgehen. Dabei wird oft übersehen, dass „die Wahrheit in der Mitte liegt“, d.h. eine Desinfektionsanlage bedingt bautechnische und betriebstechnische Grundvoraussetzungen.

Eine wesentliche Kernaussage ist, dass Einbau und Betrieb einer Desinfektionsanlage ohne weitere betriebstechnische oder bautechnische Maßnahmen selten allein zielführend sind. Eine 100 %ige „Sterilisation“ großer Warmwassersysteme, etwa eines Krankenhauses, ist technisch durch kein Desinfektionsverfahren allein dauerhaft möglich.

Da bautechnische und betriebstechnische Maßnahmen im technischen Regelwerk umfassend beschrieben werden, wird nachfolgend eine Einordnung von Desinfektionsverfahren zur Inaktivierung von Legionellen vorgenommen.

## 5. Desinfektionsverfahren

„Wer die Wahl hat, hat die Qual.“ Der Markt bietet eine für den Laien fast unüberschaubare Palette von Verfahren/Anlagen an.

Prinzipiell kann man eine Unterscheidung der Verfahren nach der Art der Anwendung, d.h. kontinuierlich (ständige Desinfektion) oder diskontinuierlich (nicht ständige Desinfektion), vornehmen.

Als diskontinuierlich kann man alle Verfahren bezeichnen, die auf Grund ihrer Methodik Besonderheiten besitzen und mit diesen bei einem dauerhaften Einsatz gegen geltendes Recht (hier hauptsächlich die Trinkwasserverordnung), Vorschriften und Regelwerke verstoßen würden.

Als kontinuierliche Verfahren kann man alle die einordnen, die im Rahmen der Vorschriften und Regelwerke Bestandteil der Warmwasseranlage sind und ständig desinfizieren.

Vor einer Desinfektion muss überprüft werden, ob die im Warmwassersystem eingesetzten Materialien den Besonderheiten des gewählten Verfahrens (z.B. Temperatur, Chemikalien) standhalten und es nicht zu Folgeschäden an der Anlage kommen kann. Des Weiteren sind die Unfallverhütungsvorschriften sowie die Sicherheits-Datenblätter, die jeder Chemikalienlieferung beigelegt sein müssen, einzuhalten.

### 5.1 Diskontinuierliche Desinfektionsverfahren

Diskontinuierliche Desinfektionsverfahren sind entweder die thermische Behandlung des Wassers oder eine Desinfektion durch Zugabe von Chemikalien, insbesondere Chlorprodukten oder Wasserstoffperoxid.

Diskontinuierliche Verfahren werden meist zur Legionellenverminderung von hochkontaminierten Systemen eingesetzt, um eine Gefahrenabwendung für die Nutzer des jeweiligen Warmwassersystems möglichst schnell zu erreichen. Ein Vorteil ist, dass die Wirkung der diskontinuierlichen Desinfektion (bei gegebenen Voraussetzungen) im Gegensatz zu den kontinuierlichen an jeder Stelle des Systems nahezu gleichzeitig einsetzt. Ein Nachteil diskontinuierlicher Verfahren ist, dass Legionellen in Schutzräumen, wie etwa in Protozoen (z.B. Amöben) oder in Korrosionspartikeln, nicht oder nur teilweise abgetötet werden und dadurch die Wirkung nicht dauerhaft anhält [13].

Nach DVGW-Arbeitsblatt W 551 [7] müssen alle Leitungsabschnitte bis hin zur letzten Auslassarmatur mit Chemikalien oder heißem Wasser beaufschlagt werden. Die Konzentration der Chemikalien bzw. die Temperatur ist meistens „von Hand“ an jeder Auslassarmatur zu überprüfen. Dieses Vorgehen ist sehr zeitaufwändig und dadurch mit sehr hohen Personalkosten verbunden.



Jedes Teilstück eines Warmwassersystems mit nicht abgetöteten Legionellen kann zu einer Rekontamination des gesamten Systems führen. Dabei genügt theoretisch das Überleben einer einzigen Legionelle. Sowohl bei der chemischen als auch bei der thermischen Desinfektion muss sichergestellt sein, dass eine Gefährdung der Nutzer des Systems durch Verbrühung bzw. durch Chemikalien ausgeschlossen ist. Der hohe Chlorgehalt kann genau wie die hohe Temperatur zu einer starken Belastung der Werkstoffe und folglich zu Schäden führen. Je nach Wiederverkeimung des Systems muss zur Sicherstellung einer dauerhaften Einhaltung der geforderten Konzentrationen an Legionellen die diskontinuierliche Desinfektion wiederholt werden.

Bei einer thermischen Desinfektion wird das gesamte System, einschließlich aller Entnahmearmaturen, desinfiziert. Nach DVGW-Arbeitsblatt W 551 [7] wird gefordert, „... Jede Entnahmestelle ... bei geöffnetem Auslass für mindestens 3 Minuten mit mindestens 70 °C zu beaufschlagen ...“, wobei darauf zu achten ist, dass die Temperatur und die Zeitdauer unbedingt eingehalten werden. Um eine Temperatur von 70 °C im gesamten System zu erreichen, müssen alle Armaturen solange geschlossen bleiben, bis an der Eintrittsstelle der Zirkulationsleitung in den Trinkwassererwärmer die Temperatur von 70 °C gemessen wird. Erst dann kann mit dem Öffnen der Hähne für mindestens je 3 Minuten begonnen werden. Wird die Temperatur von 70 °C am Eintritt in den Speicher während der Desinfektionsphase unterschritten, so ist diese solange zu unterbrechen, bis die 70 °C erneut erreicht sind. Je nach Größe der Anlage kann es erforderlich werden, das System abschnittsweise zu desinfizieren. Es sollte aus Gründen der Rekontamination darauf geachtet werden, die Abschnitte unmittelbar hintereinander zu desinfizieren [7].

Bei der chemischen Desinfektion soll durch Verwendung von Desinfektionsmitteln die Zerstörung von zellulären

Strukturen und die Beeinträchtigung von Stoffwechselfunktionen krankheitserregender Mikroorganismen dazu führen, dass diese abgetötet oder zumindest inaktiviert werden. Hierbei werden vor allem die Zellwände, Membrane, sowie innerhalb der Zelle befindliche unterschiedliche Stoffwechselenzyme und die DNA angegriffen [13].

Laut DVGW-Arbeitsblatt W 551 [7] gilt für die chemische Desinfektion:

„Im Fall einer kontinuierlichen Zugabe von chemischen Desinfektionsmitteln muss diese im Einklang mit der gültigen Trinkwasserverordnung erfolgen. Nach derzeitigem Kenntnisstand werden Legionellen dadurch nicht ausreichend beseitigt. Eine kontinuierliche Desinfektion mit Chemikalien ist demnach nicht zweckmäßig. Eine diskontinuierliche Zugabe von desinfizierenden Chemikalien in hoher Konzentration (z.B. Chlorbleichlauge, mindestens 10 mg/l freies Chlor an der Entnahmestelle) ist deshalb erforderlich...“ [7].

Praxiserfahrungen haben gezeigt, dass auch resistente Mikroorganismen im Trinkwasser anzutreffen sind. Man unterscheidet hierbei zwischen einer natürlichen Resistenz und einer erworbenen Resistenz [13].

Untersuchungen in [13] zeigen, dass bei Anwesenheit von Chlor in praxisrelevanten Konzentrationen (in der Trinkwasserverordnung sind für Chlor bei einer kontinuierlichen Zugabe maximal 0,3 mg/l erlaubt) hygienisch relevante Mikroorganismen überleben und sich zum Teil sogar vermehren können. Es wird vermutet, dass die Anwesenheit von Desinfektionsmitteln unter Umständen eine Selektion von resistenten Mikroorganismen in Trinkwassersystemen bewirken kann. Die Nährstoffarmut in Trinkwassersystemen scheint zu einer erhöhten Resistenz bei den Mikroorganismen zu führen. Für Bakterien, die in nährstoffarmen Bedingungen wachsen, waren längere Einwirkzeiten des Desinfektionsmittels zur Inaktivierung nötig als bei den auf

Labormedien angezüchteten Bakterien. Man nimmt an, dass sie einen stressresistenten Phänotyp annehmen können, der dann eine wesentlich höhere Resistenz gegenüber Chemikalien aufweist.

Gerade bei *Legionella pneumophila* konnte eine relativ hohe Chlorresistenz festgestellt werden. Diese kann vermutlich auf die spezielle Zusammensetzung ihrer äußeren Membran zurückgeführt werden. Aufgrund der festgestellten hohen natürlichen Resistenzeigenschaften bei der Bakteriengattung *Legionella* wird eine dauerhafte Hemmung der Vermehrung in Hausinstallationen erst bei hohen Konzentrationen (mehrere mg/l) als möglich angesehen.

Auch bei der Verwendung von Wasserstoffperoxid konnte bei verschiedenen Bakterien eine erhöhte Resistenz nach wiederholtem Einsatz festgestellt werden. In [13] vermutet man, dass dies vor allem auf eine gesteigerte Bildung von Katalase zurückzuführen ist und die Bakterien somit einer erneuten Desinfektionsmaßnahme besser widerstehen können.

Nachfolgende Übersicht zeigt eine Zusammenfassung der wichtigsten diskontinuierlichen Verfahren zur Desinfektion von Legionellen:

#### Thermische Desinfektion

- Jede Entnahmestelle mindestens 3 Minuten mit 70 °C desinfizieren,
- Zeit und Temperatur müssen nachweislich eingehalten werden,
- Verbrühungsgefahr,
- Gefahr der Systemschädigung (z.B. Kalkablagerungen, Spannungsrissskorrosion, Längendehnung bei Kunststoffrohren).

#### Chlorung

- Mindestens 10 mg/l freies Chlor,
- mindestens 60 Minuten Einwirkdauer,

- Desinfektionswirkung ist abhängig von pH-Wert und Temperatur,
- Nachweis an jeder Entnahmestelle,
- Direkteinleitung des gesamten Systeminhaltes (hoher Chlorgehalt) nicht erlaubt (max. 1 mg/l),
- Spülung des Systems, bis max. 0,3 mg/l Chlor gemessen werden.

#### Einsatz von $H_2O_2$

- Mindestens 150 mg/l,
- mindestens 60 Minuten Einwirkdauer,
- Nachweis an jeder Entnahmestelle,
- Spülung, bis kein Nachweis von  $H_2O_2$  mehr vorhanden ist,
- Systeminhalt kann in Kanal eingeleitet werden.

## 5.2 Kontinuierliche Desinfektionsverfahren

Zu den am Markt angebotenen kontinuierlichen Verfahren zählen der Einsatz von Sterilfiltern, die Bestrahlung des Wassers mit ultraviolettem Licht, ein Kombinationsverfahren Ultraschall mit UV-Bestrahlung, die Elektrolyse und die Kupfer/Silber-Elektrolyse.

Kontinuierliche Desinfektionsverfahren werden mit dem Ziel der sicheren und dauerhaften Keimreduzierung angeboten. Sie sind fester Bestandteil des jeweiligen Systems.

Im Gegensatz zu den diskontinuierlichen Verfahren können die kontinuierlichen Desinfektionsverfahren ihr Ziel im gesamten System nicht sofort erreichen. Alle angebotenen kontinuierlichen Verfahren behandeln immer nur einen Teil des Gesamtvolumens. Das Ziel, in 100 ml Wasser weniger als 100 Legionellen nachzuweisen, hängt von vielen Faktoren, z.B. dem Volumen des Zirkulationskreislaufes und dem Gesamtvolumen, ab. Wurde eine hohe Kontamination festgestellt, sollte,

wenn es der Objektzustand (ggf. bautechnische und betriebstechnische Maßnahmen notwendig) und die Betriebsbedingungen zulassen, zuerst ein diskontinuierliches Verfahren zur sofortigen Keimreduktion angewendet werden. Erst dann können kontinuierliche Verfahren zum Einsatz kommen.

Einen Sonderfall stellt der Einsatz von Sterilfiltern in hochsensiblen Bereichen dar. Die eigentliche Wirkung basiert auf einem absoluten Rückhalt aller Bestandteile oberhalb der Trenngrenze von 0,45  $\mu\text{m}$ , d.h. auch Legionellen (2 – 6  $\mu\text{m}$  [1]) und deren Wirtsorganismen, insbesondere Amöben. Typischerweise erfolgt nach DIN 1988 eine Filtration des Kaltwassers am Objekteingang. In der Praxis werden Filter mit einer relativen Trenngrenze von ca. 80 – 100  $\mu\text{m}$  eingesetzt. Teilchen mit einer Differenz zu 0,45  $\mu\text{m}$  sowie im Objekt gebildete Ablagerungen („Kalk, Rost“) scheiden sich auf der Filteroberfläche ab. Diese Tatsache und die Kontamination des Filters erfordern einen regelmäßigen Tausch des Sterilfilters.

Ultraviolettes Licht (UV-Licht) schädigt bei ausreichender Bestrahlung im Wellenlängenbereich von 240 nm bis 290 nm die DNS von Mikroorganismen und verhindert dadurch eine Vermehrung [15]. Hierzu sind vor allem Quecksilberdampf-Strahler geeignet, die UV-Licht im Wellenlängenbereich von 240 bis 280 nm emittieren. Man unterscheidet Nieder- und Mitteldruckstrahler, wobei erstere hauptsächlich Strahlung mit einer Wellenlänge von 254 nm emittieren, Mitteldruckstrahler dagegen ein eher breites Spektrum aufweisen. Strahlung unterhalb von 240 nm Wellenlänge darf gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 294 [16] nicht emittiert werden (Gefahr von Nitritbildung).

Die Wassertemperatur hat beim Betrieb von UV-Anlagen auf deren Funktion entscheidenden Einfluss. Durch die Temperatur kann sich der Gasdruck in den Strahlern und damit deren Emission verändern. Aus diesem Grund sind

für den Einsatz in Warmwasseranlagen dem Temperaturbereich angepasste Strahler notwendig.

Bei richtiger Auslegung der UV-Anlagen (Nitrat-, Nitritproblem) liegt das Wasser nach der UV-Bestrahlung in unveränderter Zusammensetzung, d.h. nebenproduktfrei vor.

Die Funktion der UV-Anlage wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Im Wasser mitgeführte mechanische Verunreinigungen wie Rostpartikel, Ablagerungen und Trübstoffe absorbieren die UV-Strahlen. Das Wasser muss daher klar, sauber und frei von Trübstoffen sein. Die Funktion der UV-Anlage muss online durch einen Anlagensensor gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 294 [16] überwacht werden.

Ein Problem für UV-Anlagen stellen diejenigen Legionellen dar, die sich in Amöben „tausendfach“ vermehren und von UV-Strahlen nicht erreicht und abgetötet werden. Legionellen können daher trotz UV-Anlage mit Hilfe ihrer Wirte, zum Beispiel Amöben, ins System gelangen und sich dort vermehren. Nach [9] wurden stichprobenartig in Hausinstallationen Amöbenkonzentrationen von bis zu 300 Amöben pro Liter Trinkwasser gefunden.

Für eine Abtötung der auch in Amöben eingeschlossenen Legionellen wird bei dem Kombinationsverfahren von Ultraschall und UV-Bestrahlung dem UV-Teil eine Ultraschallanlage vorgeschaltet. Damit soll gewährleistet werden, dass die in den Amöben und anderen Protozoen befindlichen Legionellen freigesetzt werden. Die UV-Bestrahlung inaktiviert dann nachfolgend alle Legionellen.

Bemerkenswert ist, dass dieses Kombinationsverfahren aus Ultraschall und UV-Licht trotz der seit vielen Jahren bekannten Amöbenproblematik [7, 10] nach wie vor neben den Sterilfiltern die einzige Technik ist, die sich dieser Problematik gezielt stellt und bundesweit zur Verfügung steht.

Der Einsatz von Elektrolyseanlagen hat in den letzten Jahren durch zahlreiche Werbemaßnahmen verschiedener Hersteller erhebliches Interesse gefunden. Die daraus resultierende Frage, ob die Werbeaussagen alle zutreffen, kann eindeutig mit NEIN beantwortet werden. Sachlich fundiert kann das NEIN durch [7] begründet werden.

Der Wirkungsmechanismus zur Legionellendesinfektion mittels Elektrolyse (Ionenwanderung im Gleichspannungsfeld zu den jeweils entgegengesetzt geladenen Elektroden) wird von verschiedenen Herstellern unterschiedlich beschrieben.

Fest steht, dass Anlagen, die mit dem Begriff „Anodische Oxidation“ vermarktet werden, den gleichen physikalisch-chemischen Hintergrund haben wie Anlagen, die mit dem Begriff „Elektrolytische Desinfektion“ werben.

Eine klare Unterscheidung gibt es in Anlagen, die direkt in den Wasserkreislauf eingebaut werden, aus dem Wasser (ggf. mit Dosierung von NaCl) ein Chemikaliengemisch produzieren und dieses an das Wasser abgeben, sowie Anlagen, die aus einer definierten und in der Qualität nicht schwankenden NaCl-Sole eine Desinfektionschemikalie produzieren und diese dem Wassersystem zudosieren.

Von unabhängigen Stellen wurden nach Tests positive Effekte der Elektrolyse beschrieben.

In [18] wird die „Elektrolyse“ in Kombination mit weiteren notwendigen technischen Maßnahmen erfolgreich eingesetzt. Der eigentliche Wirkungsmechanismus konnte nicht identifiziert

werden. Es gibt Anhaltspunkte für synergetische Effekte, u.a. pH-Wert-Ab-senkungen an der Anode.

Der in [19] erschienene Fachbeitrag, der die Wirksamkeit eines Elektrolyseverfahrens belegen soll, hält einer kritischen Betrachtung nicht stand. Es werden für den Funktionsnachweis Monokulturen von *Legionella pneumophila* und *Pseudomonas aeruginosa* angezüchtet und als Biofilm beladene Prüfkörper bezeichnet. Die so erzeugten Biofilme entsprechen nicht den in einem Warmwassersystem anzutreffenden sehr artenreichen Biofilmen. Auch sind in dem dargestellten Versuchsaufbau den mit Biofilm-Monokulturen beaufschlagten Prüfkörpern Sterilfilter mit einer Trenngrenze von 0,45 µm vorgeschaltet. Solche Sterilfilter werden beispielsweise in Krankenhäusern, wo bakterienfreies Wasser notwendig ist, eingesetzt. Diese Sterilfilter halten sowohl die Bakterien selbst als auch die essentiellen Aminosäuren (in Form von z.B. Amöben), welche die Legionellen zum Leben benötigen, zurück und führen deshalb schon als alleinige Maßnahme zur Reduktion der Legionellen.

Intensiv wissenschaftlich hat sich [20] mit Elektrolyseanlagen auseinandergesetzt. Er kommt im Falle von Anlagen, die „Aktivchlor“ bilden, zu folgender Aussage:

„Elektrochemische Desinfektionssysteme mit der Bildung von Aktivchlor aus natürlich vorhandenen Chloridionen sind für die Garantierung von Legionellenfreiheit in Trinkwassersystemen ungeeignet ...“ [20]

Systeme mit sogenannter anodischer Oxidation beschreibt er:

„Für die Legionellenbekämpfung im Trinkwasser mit natürlichem bzw. vorgeschriebenem Chloridgehalt dürften sogenannte anodische Oxidationssysteme auf jeden Fall ungeeignet sein. Die Werbung mit einer entgegengesetzten Aussage ist sehr bedenklich.“ [20]

Was gilt nun, die Aussagen der Hersteller oder die zitierten Untersuchungen von unabhängigen Stellen? Fest steht, und das hat [18] mit einem „Verkeimungsversuch“ nachgewiesen, dass Effekte vorhanden sind. Fest steht aus unserer Sicht auch, dass die Wirkungsmechanismen noch vollständig unklar sind. Da es sich bei der Elektrolyse zweifelsfrei um ein elektrochemisches Desinfektionsverfahren handelt, sind Chancen und Risiken (z.B. mögliche Nebenprodukte) gegeneinander abzuwägen. Dies ist aus unserer Sicht eindeutig im DVGW-Arbeitsblatt W 551, Ausgabe Juli 2003 [7] erfolgt:

„Im Fall einer kontinuierlichen Zugabe von chemischen Desinfektionsmitteln muss diese im Einklang mit der gültigen Trinkwasserverordnung erfolgen. Nach derzeitigem Kenntnisstand werden Legionellen dadurch nicht ausreichend beseitigt. Eine kontinuierliche Desinfektion mit Chemikalien ist demnach nicht zweckmäßig. Eine diskontinuierliche Zugabe von desinfizierenden Chemikalien in hoher Konzentration (z.B. Chlorbleichlauge, mindestens 10 mg/l freies Chlor an der Entnahmestelle) ist deshalb erforderlich ...“

Nicht unerwähnt bleiben soll die ebenfalls beworbene Kupfer/Silber-Elektrolyse.

Abschließend eine Zusammenfassung der wichtigsten am Markt ange-

**Wer nichts für andere tut, tut nichts für sich.**

*Johann Wolfgang von Goethe*

botenen kontinuierlichen Verfahren zur Desinfektion von Legionellen:

Die Zugabe von Kupfer und Silber während des Elektrolyseprozesses erfolgt über eigens dafür hergestellte Elektroden. Die gebildeten Schwermetallionen besitzen eine gute Oxidationskraft und reagieren mit den zu behandelnden Wasserinhaltsstoffen. Bei basisch eingestellten Wässern bilden sich jedoch häufig Elektrodenblockierungen bzw. unlösliche Metallverbindungen. Ein Nachteil ist die mögliche Anreicherung von Kupfer und Silber im System, zum Beispiel in Zirkulationssystemen nachts. Generell gilt aber: Die „absichtliche“ Zugabe von Kupfer ist nach gültiger Trinkwasserverordnung verboten und bedarf der Ausnahmegenehmigung durch die Trinkwasserkommission der Bundesrepublik Deutschland.

#### Membranverfahren

- Verfahren der Zukunft,
- derzeit hohe Investitionskosten.

#### Sterilfilter

- Rückhalt aller Bakterien und Schutzräume (z.B. Amöben),
- regelmäßiger Tausch notwendig,
- sicherstes Verfahren überhaupt,
- sehr hohe Kosten.

#### UV-Bestrahlung

- Keine Abtötung von Legionellen in Schutzräumen (pro Amöbe tausendfach Legionellen, bis zu 300 Amöben/l Wasser).
- keine Nebenproduktbildung bei gezielter Anlagenauslegung,
- Online-Überwachung der Anlage.

#### Ultraschall-Behandlung/UV-Bestrahlung

- Abtötung von Legionellen in Schutzräumen (fließende Welle) durch Aufbrechen, und damit auch Entzug der Nährstoffquelle Aminosäure.

#### Kupfer-/Silber-Elektrolyse

- Kupfer-/Silberabgabe ist unabhängig vom Durchfluss,
- die aktive Zugabe von Kupfer ist nach gültiger TrinkwV verboten und bedarf der Ausnahmegenehmigung durch die Trinkwasserkommission der BRD.

#### Chlorung / Elektrolyse

„Im Fall einer kontinuierlichen Zugabe von chemischen Desinfektionsmitteln, muss diese im Einklang mit der gültigen Trinkwasserverordnung erfolgen. Nach derzeitigem Kenntnisstand werden Legionellen dadurch nicht ausreichend beseitigt. Eine kontinuierliche Desinfektion mit Chemikalien ist demnach nicht zweckmäßig. Eine diskontinuierliche Zugabe von desinfizierenden Chemikalien in hoher Konzentration (z.B. Chlorbleichlauge, mindestens 10 mg/l freies Chlor an der Entnahmestelle) ist deshalb erforderlich. Die Desinfektionsmaßnahme ist nach dem DVGW-Arbeitsblatt W 291 durchzuführen.“

DVGW-Arbeitsblatt W 551, Ausgabe Juli 2003 [7]

### 6. Literatur

- [1] Schaefer, B.: Legionellen in Warmwasserversorgungsanlagen; Bedeutung, Bestimmung und Be-

kämpfung, Beitrag aus „Die Trinkwasserverordnung“, Erich Schmidt Verlag Berlin, 2003, S. 227-236.

- [2] Hauke, F.; Mayer, K.-M.: Tödliches Wasser, FOCUS 32 (2003), S. 34-35.
- [3] Schmid, B.; Schmidt, C.: Tod aus der Leitung, Der Spiegel 32 (2003), S. 127.
- [4] Medicine Worldwide: Legionärskrankheit, Legionellose, [www.m-ww.de](http://www.m-ww.de) (Zugriffsdatum 29.09.2003).
- [5] Magdeburger stirbt an Legionärskrankheit, Leipziger Volkszeitung vom 27.08.2003.
- [6] Robert-Koch-Institut: [www.rki.de](http://www.rki.de) (Zugriffsdatum 29.09.2003).
- [7] DVGW-Arbeitsblatt W 551: Trinkwassererwärmungs- und Leitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen. Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Postfach 140151, 53056 Bonn (2003). Als Weißdruck vorgesehene Fassung des Arbeitsblattes Ausgabe Juli 2003.
- [8] Grimm, D.: Entwicklung von neuen Nachweismethoden für Legionellen und Amöben und ihre Anwendung in ökologischen Studien, Dissertation (2000), Universität Würzburg.
- [9] Hoffmann, R.; Michel, R.: Verhalten von primär freilebenden Amöben bei der Trinkwasserbereitung. Aus DVGW-Schriftenreihe Wasser Nr. 91, S. 151-172.

Ich gebe zu, dass mein Verhältnis zur deutschen Sprache, wie mein Verhältnis zu meiner Frau ist:

Ich liebe sie, ich bewundere sie, ich verstehe sie meistens – aber ich beherrsche sie nicht.

*Hans Blix*



- [10] Heinrichs, F.-J.; Waider, D.: Kommentar zum DVGW-Arbeitsblatt W 551. Heizungs-Journal Verlags-GmbH. (bezieht sich auf die Fassung des W 551 von 1997).
- [11] Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung-TrinkwV 2001) vom 21. Mai 2001, BGBl. 2001 Teil I, Nr. 24, S. 959-980.
- [12] Umweltbundesamt: Nachweis von Legionellen im Trinkwasser und Badebeckenwasser. Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trink- und Badewasserkommission des Umweltbundesamtes. Bundesgesundheitsbl. 11 (2002), S. 911-915.
- [13] Wingender, J.: Resistenz von Trinkwasser-Bakterien gegenüber Desinfektionsmitteln. Aus Zwölftes Mühlheimer Wassertechnisches Seminar: Trinkwasserdesinfektion in der Praxis. IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung, Band 23 (1999), S. 26-61, Mühlheim an der Ruhr.
- [14] DIN 1988 (1 – 8): Technische Regeln für Trinkwasserinstallationen.
- [15] Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach e.V., Technische Mitteilung 20/1998: UV-Bestrahlung in der Trinkwasser- und Abwasserbehandlung zu Desinfektionszwecken, FIGAWA-Arbeitskreis „UV-Wasserbehandlung“, bbr Wasser und Rohrbau 9 (1998).
- [16] DVGW-Arbeitsblatt W 294: UV-Desinfektionsanlagen für die Trinkwasserversorgung – Anforderungen und Prüfung. Nr. 10 (1997).
- [17] Dr. Gollnisch, C.: Bekämpfung von Legionellen in haustechnischen Anlagen – Vergleich. Vortrag im Rahmen der „Leipziger Hygienefachgespräche 2002“, 13.08.2002.
- [18] Grohmann, A.; Naujoks, F.; Reichert, J.K.: Neue Wege der Sanierung legionellenbelasteter Warmwasseranlagen mit Schwachstrom-Elektrolyse. Gesundheitsingenieur 118 (1997), Heft 3, S. 156-160.
- [19] Elektrolytische Trinkwasserdesinfektion – Untersuchung zur Wirksamkeit der „Aquades“-Elektrolyseanlage. sbz 8 (2000), S. 58-64.
- [20] Bergmann, H.; Iourtchouk, T.; Schöps, K.; Ehrig, F.: Was ist und was kann die sogenannte anodische Oxidation? Wasser Abwasser, Heft 12 (2001), S. 856-869.
- [21] Neue Desinfektionstechnik. Forschungsbericht Hochschule Anhalt, Köthen, 2000.
- [22] Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen (Infektionsschutzgesetz – IfSG) vom 20. Juli 2000, BGBl. IS. 1045-1071.
- [23] Robert-Koch-Institut: Epidemiologisches Bulletin 22/2002, S.182 - 184
- [24] Bundesministerium für Gesundheit: Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 11 der Trinkwasserverordnung 2001, Stand Januar 2003, Bundesgesundheitsblatt oder im Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de).
- [25] Werbeprospekt Anodix GmbH, 01-03.
- [26] Presse-Information: Nahrungs- und Nistgrundlagen der Legionellen bekämpfen. Newtec Umwelttechnik GmbH, Januar 2001.
- [27] Kreysig, D.: Wirkung und Leistungsgrenzen der elektrolytischen Desinfektion als Verfahren der gebäudeinternen Desinfektion von Trinkwasser und Trinkwasserinstallationen. Vortrag anlässlich der „Technik im Krankenhaus“ Hannover 1999, S. 232-237.
- [28] Kreysig, D.; Kuhn, M.; Jacobs, R.: Systeme der Trinkwasserdesinfektion. Teil 2, IKZ-Haustechnik (2000), Heft 18, S. 32-50.

*Dipl.-Ing. Angelika Gollnisch /*

*Dr.-Ing. Carsten Gollnisch /*

*Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Klühspies*

*Institut für Energetik und Umwelt*

*Torgauer Str. 116*

*04347 Leipzig*

Der Mensch ist Lärmerzeuger, Luftverpester, Wasserverschmutzer, Waldverschandler,  
Abfallerzeuger en gros, alles durch sein eigenes Genie.

*John B. Priesley*