Technische Mitteilung 01/08

(Überarbeitung der Technischen Mitteilung Nr. 20/98)

UV-Desinfektion in der Wasserbehandlung

figawa-Arbeitskreis „UV-Wasserbehandlung“

Inhalt

1. Begriffe
2. Grundlagen
3. Geräte und Anlagentechnik
4. Anwendungsgebiete
4.1 Trinkwasser
4.2 Warmwasser
4.3 Getränke- und Lebensmittelindustrie
4.4 Raumlufttechnische Anlagen
4.5 Pharma- und Kosmetikindustrie
4.6 Eigenwasserversorgung
4.7 Mikroelektronik- und Optische Industrie
4.8 Abwasser und Brauchwasser
5. Gesetze - Verordnungen - Technisches Regelwerk
6. Bezugsquellen
7. Autoren / figawa e.V.

Hinweise zu Urheberrechten
© 2008, figawa Köln, Alle Rechte vorbehalten.
Die vorliegende Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung und des Nachdrucks, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung von figawa reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme vervielfältigt oder verbreitet werden. Auch die Rechte der Wiedergabe durch Vortrag, Funk und Fernsehen sind vorbehalten.

Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach e. V.
Technisch-wissenschaftliche Vereinigung
Postfach 51 09 60
50945 Köln

Fon +49 (0) 221-376 68 20
Fax +49 (0) 221-376 68 60
info@figawa.de
www.figawa.de

Vorwort

Der figawa-Arbeitskreis "UV-Wasserbehandlung" wendet sich mit dieser Technischen Mitteilung an die Fachwelt. Sie wurde von Fachleuten erarbeitet, die die UV-Wasserdesinfektion in der Praxis einsetzen. Einsatzbeispiele für die UV-Desinfektion werden dargestellt mit dem Ziel, Interesse für die UV-Desinfektion zu wecken und über die Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der UV-Desinfektion zu informieren. Die gegebenen Hinweise können als Anwendungs- und Entscheidungshilfe in der Praxis dienen. Anregungen und Ergänzungen zu der vorliegenden Technischen Mitteilung nimmt die figawa-Geschäftsführung entgegen.

Eine sichere Anwendung der UV-Desinfektion ist nur mit qualifizierter Technik und qualifizierten Partnern möglich, die den Stand der Technik repräsentieren. Unter anderem zeigen die Ergebnisse eines mit großem Aufwand öffentlich geförderten Forschungsverbundvorhabens die Eignung der UV-Desinfektion zur Trinkwasserdesinfektion. Eines der wichtigsten Ergebnisse dieses Forschungsverbundvorhabens ist der Nachweis, dass die UV-Desinfektion sowohl im Wasserwerksbereich als auch bei der Einzelwasserversorgung der chemischen Desinfektion gleichwertig ist. Auch konnte in dem Forschungsvorhaben der Nachweis erbracht werden, dass die UV-Desinfektion umweltfreundlich ist, und bei der Beachtung der technischen Regeln keine Nebenprodukte zu erwarten sind.

In vielen Anwendungen ist die UV-Desinfektion das Verfahren zur Wasserdesinfektion:

- Trinkwasser,
- Produkt- und Brauchwasser,
- Getränke- und Lebensmittelindustrie,
- Pharma-, Kosmetik- und Elektronikindustrie,
- Gartenbau und Bewässerung,
- Abwasser (kommunal und gewerblich)

Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen an die Desinfektion bei den verschiedenen Anwendungen sind jeweils andere technische Regeln und Vorschriften zu beachten. Auf die einschlägigen Regelwerke wird in den jeweiligen Kapiteln dieser Technischen Mitteilung hingewiesen.

1. Begriffe

Desinfektion
Inaktivierung (Abtötung) von Mikroorganismen einschließlich Krankheitserregern. Nach einer hygienisch einwandfreien Desinfektion sind in definierten Volumina Krankheitserreger mit spezifizierten Verfahren nicht mehr nachweisbar, und die Zahl unspezifizierter Mikroorganismen liegt unter einem geforderten Wert.

Koloniezahl (KBE / ml)
Zahl der nach einer bestimmten Bebrütungszeit, nach Ausbringung einer Wasserprobe auf einem definierten Nährmedium, nachweisbaren Keimkolonien (vgl. Deutsche Einheitsverfahren DEV zu Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchungen K5 oder die jeweils zutreffenden Ländernormen und EG-Richtlinien).

Spektraler Absorptionskoeffizient
Durchdringt UV-C-Strahlung (s. Bild 1) Wasser so wird sie durch die Absorption von darin gelösten Stoffen (z. B. Eisen-, Manganverbindungen und Huminsäuren) geschwächt. Die Höhe dieser Schwächung wird durch den **Spektralen Absorptionskoeffizienten SAK-λ [1/m]** angegeben. Da die Absorption der typischen Wasserinhaltsstoffe stark wellenlängenabhängig ist, ist der SAK bei 254 nm für die UV-Desinfektion relevant. Die Bestimmung des SAK-254 erfolgt in einer filtrierten Wasserprobe mit einem geeigneten Photometer.

Spektraler Schwächungskoeffizient
Der **Spektrale Schwächungskoeffizient SSK- λ [1/m]** berücksichtigt zusätzlich zum SAK- λ die durch suspendierte Stoffe verursachte Lichtstreuung. Die Bestimmung erfolgt in der unfiltrierten Wasserprobe. Der Anteil der Streuung kann nur photometrisch durch Differenzbildung der unfiltrierten zur gefilterten Probe ermittelt werden. Die wesentliche Kenngröße bei der Auslegung von UV-Desinfektionsgeräten ist der SSK-254.

UV-Transmission
Der in der Praxis eingeführte Begriff der **UV-Transmission** ist ein in Prozent angegebenes Maß für den spektralen Transmissionsgrad bei einer bestimmten Schichtdicke. Die Schichtdicke hat einen exponentiellen Einfluss auf den Wert der UV-Transmission. Daher ist die Angabe der Schichtdicke (Küvettengröße) unerlässlich (vgl. DIN 5036 Teil 1). Bei der Auslegung

von UV-Desinfektionsgeräten wird oftmals anstelle des SSK-254 die UV-Transmission bei 254 nm verwendet. Die Bestimmung der UV-Transmission erfolgt mit einem geeigneten Photometer.

Die Tabelle 1 beschreibt den Zusammenhang des SSK und der UV-Transmission bei verschiedenen Schichtdicken.

SSK (1/m)	**$T_{10\ mm}$ (%)**	**$T_{50\ mm}$ (%)**	**$T_{100\ mm}$ (%)**
0,44	99	95	90
0,88	98	90	82
1,32	97	86	74
1,77	96	82	67
2,23	95	77	60
2,69	94	73	54
3,15	93	70	48
3,62	92	66	43
4,10	91	62	39
4,58	90	59	35
5,55	88	53	28
6,55	86	47	22
7,57	84	42	17
8,62	82	37	14
9,69	80	33	11
12,49	75	24	5,6
15,49	70	17	2,8
22,18	60	7,8	0,6
30,10	50	3,1	0,1

SSK = Spektraler Schwächungskoeffizient bei 254 nm
$T_{10\ mm}$ = Transmission bei 10 mm Schichtdicke
$T_{50\ mm}$ = Transmission bei 50 mm Schichtdicke
$T_{100\ mm}$ = Transmission bei 100 mm Schichtdicke

Tab 1: Umrechnungstabelle zwischen strahlungsphysikalischen Begriffen

Umrechnungsformeln:

$SSK = [-Log(T_{1cm}/100)] \times 100$

$T_{1\ cm} = 100 \times 10^{-(SSK/100)}$

$T_{10\ cm} = 100 \times 10^{-(SSK/10)}$

Reduktionsrate
Verminderung der Keimzahl durch einen Desinfektionsprozess. Sie wird in Prozent oder in dekadischen Logarithmen (Log-Stufen), bezogen auf die Ausgangszahl, angegeben.

Strahleralterung
Rückgang der UV-Strahlungsleistung (UV-Intensität) eines UV-Strahlers in Abhängigkeit von der Betriebsdauer und den Betriebsbedingungen.

Strahlernutzungsdauer
Vom UV-Desinfektionsgerätehersteller angegebene Betriebsstundenanzahl eines UV-Strahlers, nach deren Ablauf die erforderliche UV-Strahlungsleistung (UV-Intensität) nicht mehr garantiert wird und ein Austausch der Strahler als erforderlich angesehen wird.

Strahlungsleistung eines UV-Desinfektions-Strahlers
Emissionsleistung im desinfektionswirksamen Spektralbereich von 240-290 nm.

Trübung
Verringerung der Transparenz von Wasser durch feindisperse suspendierte Stoffe. Die Bestimmung der Trübung erfolgt gemäß DIN EN 27027. Sie wird angegeben in Formazine Attenuation Units (FAU) für Durchlichtmessung oder in Formazine Nephelometric Units (FNU) für 90° Streulichtmessung bei einer Wellenlänge von 860 nm.

UV-Sensor
Vorrichtung zur spektral selektiven physikalischen Messung der Bestrahlung im desinfektionswirksamen Spektralbereich von 240-290 nm. Ein UV-Sensor überwacht permanent die UV-Bestrahlungsstärke an der Überwachungsposition in einem UV-Gerät zur Sicherstellung der Einhaltung einer ausreichenden Desinfektionsleistung.

UV-Dosis; Fluenz
Über die Zeit integrierte auf eine kleine Kugelfläche einfallende Strahlungsleistung dividiert durch die Kugelfläche. Die UV-Dosis wird in J/m² angegeben.

2. Grundlagen

Der Nachweis der unsichtbaren Ultraviolett-Strahlung gelang erstmals im Jahr 1901. Seither entdeckte und untersuchte man eine Vielzahl phototechnischer und photobiologischer Prozesse, aus denen zahlreiche Anwendungen in Chemie und Biologie resultieren. Heute stehen hochintensive Strahlungsquellen, die für die jeweilige Anwendung optimiert sind, zur Verfügung.

Charakterisierung der UV-Strahlung

Die Ultraviolett(UV)-Strahlung gehört - wie auch das sichtbare Licht - zur elektromagnetischen Strahlung, nicht jedoch zur energiereichen, ionisierenden Strahlung. Die Lage des unsichtbaren "UV-Lichtes" innerhalb des elektromagnetischen Gesamtspektrums zeigt Bild 1.

Bild 1: Spektrum elektromagnetischer Strahlung

Die UV-Strahlung lässt sich, wie das sichtbare Licht, als Welle oder auch als Energieteilchen (Photonen) beschreiben. Es gelten hier gleichfalls die grundlegenden optischen Gesetzmäßigkeiten (Reflexion, Absorption, Transmission, Streuung, Brechung).

Entsprechend ihrer biologischen Wirkung unterscheidet man bei der UV-Strahlung drei Spektralbereiche. Die folgende Einteilung ist gebräuchlich: UV-A: 315 - 380 nm, UV-B: 280 - 315 nm, UV-C: 200 - 280 nm. Der Spektralbereich unterhalb von 200 nm wirkt stark photochemisch und kommt daher bei der UV-Desinfektion nicht zum Einsatz.

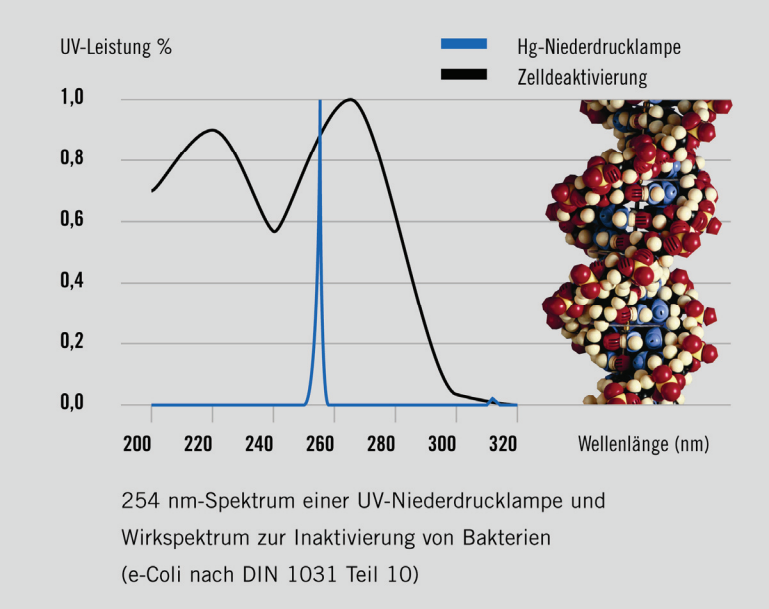


Bild 2: Darstellung der Absorptionsmaxima über die Wellenlänge

Wirkungsprinzip

Die Inaktivierung von Keimen mit UV-Strahlen erfolgt im Wesentlichen durch eine photochemische Reaktion im Informations- und Replikationszentrum der Keime **ohne** den Zusatz fremder Stoffe. Die UV-Strahlen (Photonen) treffen die Desoxyribonucleinsäure (DNA) des Keims und inaktivieren in Sekundenbruchteilen die entsprechende Erbinformation. Das Absorptionsspektrum der DNA und das Keimtötungs-Wirkspektrum zeigen daher einen ähnlichen Verlauf und sind charakterisiert durch breite Absorptionsmaxima bei 260 nm (vgl. Bild 2). Für eine Inaktivierung sind folglich Strahlenquellen geeignet, die im Spektralbereich zwischen 240-290 nm UV-Strahlung emittieren. Insbesondere Quecksilberdampfstrahler erfüllen diese Anforderung sehr gut.

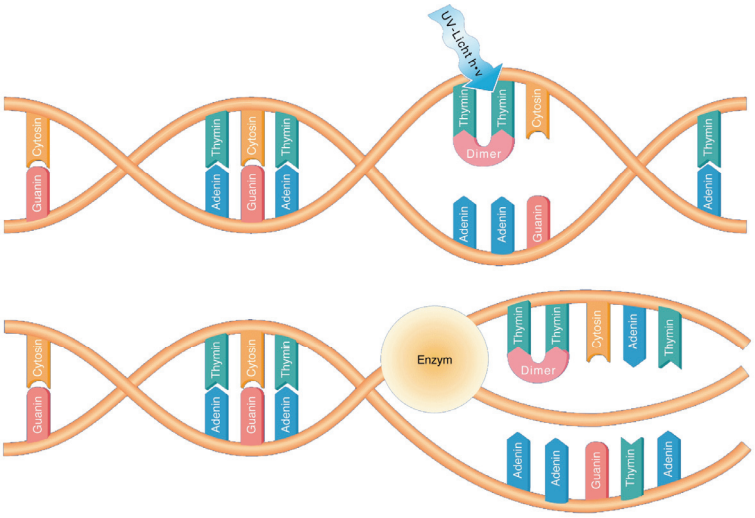


Bild 3: Wirkung eines UV-Photons auf zwei Thymin-Basen

UV-Strahler

Als UV-Strahlungsquellen für die UV-Desinfektion kommen derzeit ausschließlich Gasentladungsstrahler zur Anwendung. Die aus UV-durchlässigem Material gefertigten UV-Strahler enthalten ein Gas- bzw. Dampfgemisch, das im angeregten Zustand eine intensive UV-C-Strahlung emittiert.

Die Erzeugung intensiver UV-C-Strahlung zur Desinfektion erfolgt derzeit nahezu ausschließlich mit Quecksilberdampf (Hg)-Strahlern. Zu unterscheiden ist hierbei zwischen Niederdruck- und Mitteldruckstrahlern; beide Arten emittieren intensiv im Bereich von 240-290 nm und sind somit für die UV-Desinfektion sehr gut geeignet. Ihre typischen Emissionsspektren zeigen die Bilder 4 und 5. Ihre Merkmale und Eigenschaften sind in der Tabelle 2 dargestellt.

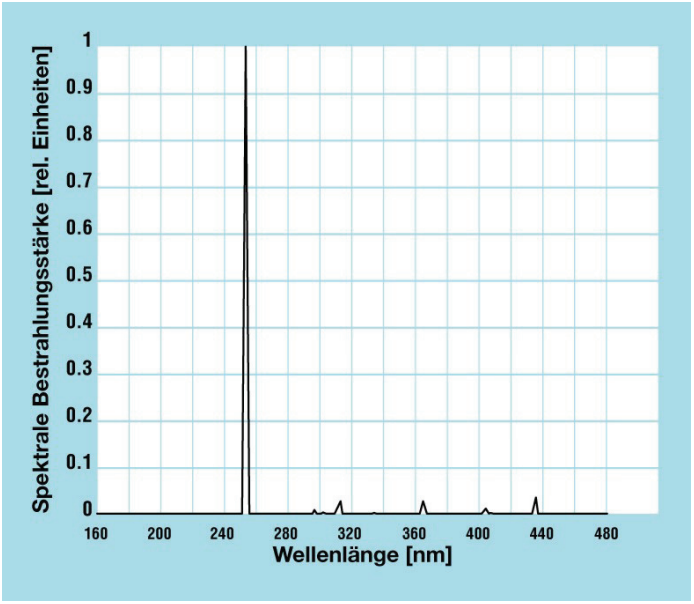


Bild 4: Typisches Spektrum Quecksilber-Niederdruckstrahler

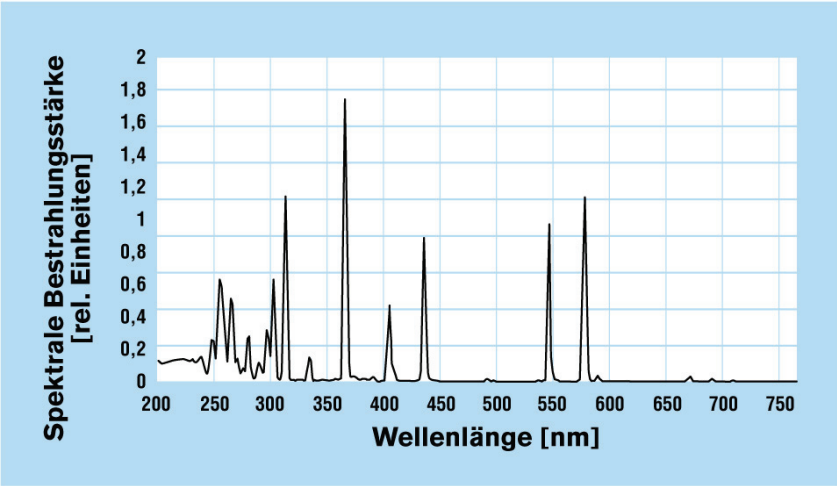


Bild 5: Typisches Spektrum Quecksilber-Mitteldruckstrahler

Merkmale und Eigenschaften	**Niederdruckstrahler**	**Mitteldruckstrahler**
Quecksilberdampfdruck	ca. 0,01 hPa	1.000 - 10.000 hPa
Spektrum	Linienspektrum	Breitbandig
Wellenlänge im UV-C-Bereich	254 nm	240 - 280 nm
Typische Leistungsaufnahme Leistungsdichte bezogen auf die Lichtbogenlänge	10 - 600 W 1 - 4 W/cm	1.000 - 30.000 W 100 - 200 W/cm
UV-C-Leistung (254 nm) % bezogen auf die eingespeiste elektr. Leistung bei neuem Strahler	ca. 20 – 35 %	ca. 8 – 15 %
Oberflächentemperatur Strahler	40 - 120 °C	600 - 950 °C
Mittlere Nutzungsdauer	8.000 h - 16.000 h	4.000 - 12.000 h
Vorteile	- hoher Wirkungsgrad - lange Nutzungsdauer - geringe Oberflächentemperatur - Bei Amalgamstrahlern geringe Abhängigkeit von der Wassertemperatur	- hohe Leistungsdichte - gute Regelbarkeit - kompakte Bauweise - Keine Abhängigkeit von der Wassertemperatur

Tabelle 2: Merkmale und Eigenschaften von Nieder- und Mitteldruck-UV-Strahlern

Hinweis: Strahlung unter 240 nm wirkt stark photochemisch und darf daher von UV-Strahlenquellen zur Trinkwasserdesinfektion nach DVGW-Arbeitsblatt W 294 sowie ONÖRM M5873-1 nicht emittiert werden.

3. Geräte und Anlagentechnik

UV-Bestrahlungskammer
Die UV-Bestrahlungskammer eines UV-Desinfektionsgerätes umfasst den Bestrahlungsraum einschließlich der Anschlussstutzen. Sie ist meist aus Edelstahl gefertigt. Abhängig von der Anwendung und der Art und Anzahl der eingesetzten Strahler können Bestrahlungskammern auf verschiedene Art und Weise ausgeführt sein. Hauptunterscheidungsmerkmal ist dabei die Anordnung der Strahler in der Bestrahlungskammer. Nachfolgend sind einige typische Strahleranordnungen skizziert.

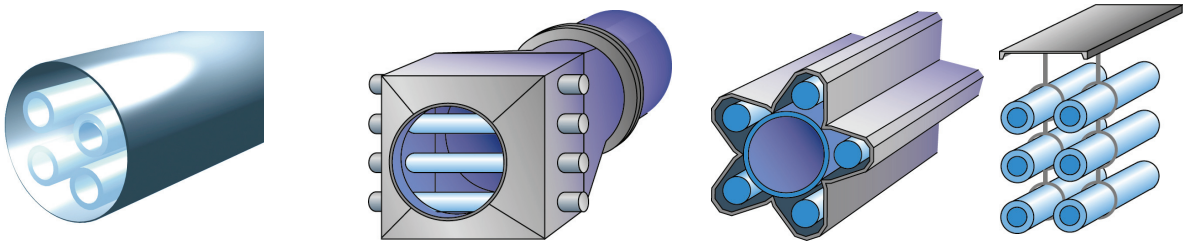


Bild 6: Beispiele Strahleranordnung (v.l.n.r): Axial, Queranströmung, außenliegend, offenes Gerinne

Bei manchen Anwendungen, wie z.B. der Desinfektion von kommunalem Abwasser, kommen anstelle einer Bestrahlungskammer so genannte offene Gerinne zum Einsatz, bei denen das Wasser drucklos an den UV-Strahlern entlang fließt.

Tauchstrahler
Sie kommen bei der Desinfektion von Flüssigkeiten (z.B. Wasser, Zuckersirup) in Behältern oder Wannen zum Einsatz. Tauchstrahler sind UV-Strahler, die so geschützt sind, dass sie direkt in vorhandene Behälter und Wannen eingebaut werden können. Vor dem Einbau ist zu prüfen, ob alle Materialien im Strahlungsbereich UV-beständig sind. Da Tauchstrahler üblicherweise in bestehende Systeme eingebracht werden, sind die Sicherheitsbestimmungen bezüglich der UV-Strahlung besonders zu beachten (Siehe „Richtlinien zur Sicherheit am Arbeitsplatz“ der Berufsgenossenschaft).

Überwachungseinrichtungen
UV-Geräte müssen so überwacht werden, dass immer eine sichere Desinfektion gewährleistet ist. Dem UV-Sensor kommt dabei die gleiche Überwachungsfunktion zu wie der Sonde zur Messung der Konzentration eines chemischen Desinfektionsmittels.

Erforderliche Überwachungselemente

- UV-Sensor
- Betriebsstundenzähler
- Strahlerfunktion
- Zählung der Strahlerschaltungen

Bild 7: DVGW-Sensor mit Messfenster

Optionale Überwachungselemente

- Durchflussüberwachung
- Temperaturüberwachung
- Trübungsüberwachung

Bild 8: Trübungsüberwachung

Faktoren, die eine Veränderung des Anzeigewertes des UV-Sensors bewirken können

- Belagbildung Messfenster
- Alterung UV-Sensor
- Absorption der UV-Strahlung im Wasser durch
  - gelöste Stoffe (Eisen- und Manganverbindungen, Huminstoffe)
  - suspendierte Partikel
- Belagbildung Strahlerhüllrohr
- Alterung UV-Strahler

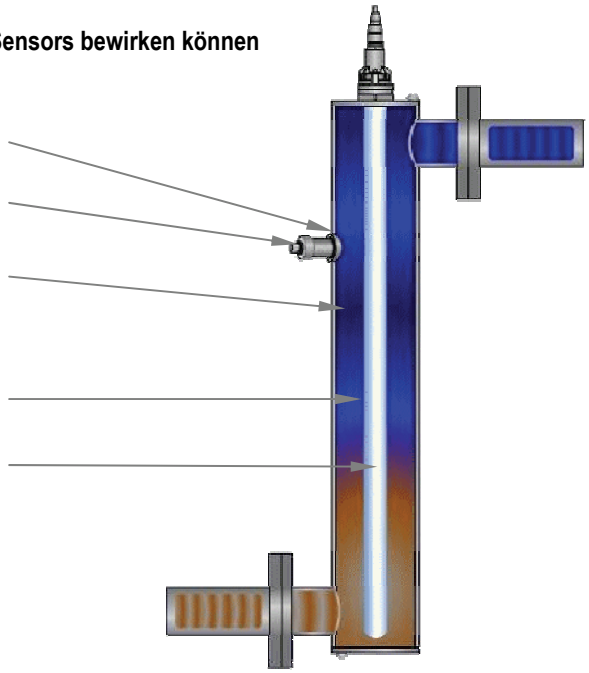


Bild 9: Prinzipskizze UV-Gerät

Durchfluss
Da eine korrekte Funktion einer UV-Desinfektionsanlage nur bis zu einem maximal zulässigen anlagen- und transmissionsabhängigen Durchfluss gewährleistet werden kann, muss, falls eine Begrenzung des Durchflusses z.B. nicht durch die Leistung der Förderpumpe gegeben ist, eine Überschreitung des zulässigen Durchflusses durch eine Durchflussbegrenzung oder -regulierung verhindert werden. Eine derartige Einrichtung ist besonders bei Parallelschaltung mehrerer UV-Geräte zweckmäßig.
Wird im Störungsfall eine automatische Unterbrechung des Durchflusses gefordert, kann zur Abschaltung einer Förderpumpe bzw. zum Schließen eines Absperrorgans ein durch das Überwachungssystem der UV-Geräte zur Verfügung gestelltes Signal genutzt werden.

Dimensionierung von UV-Geräten
Die Dimensionierung von UV-Geräten beruht im Wesentlichen auf folgenden Parametern:

- Maximaler Durchfluss (m^3/h)
- UV-Absorption des zu behandelnden Wassers bei 254 nm; angegeben als SSK-254 nm (1/m) oder als UV-Transmission bezogen auf eine definierte Schichtdicke (z.B. % /cm).
- Gesetzliche Bestimmungen und Regelwerke, z.B. Trinkwasserverordnung und DVGW-Arbeitsblätter
- Besondere mikrobiologische Anforderungen, z.B. im Getränke- und Lebensmittelbereich oder bei Reinstwasser

Darüber hinaus sind die applikations- und kundenspezifischen Gegebenheiten zu berücksichtigen.

Bild 10 zeigt beispielhaft die Abhängigkeit des Eignungsbereichs eines UV-Desinfektionsgerätes von Durchfluss und SSK Wert.

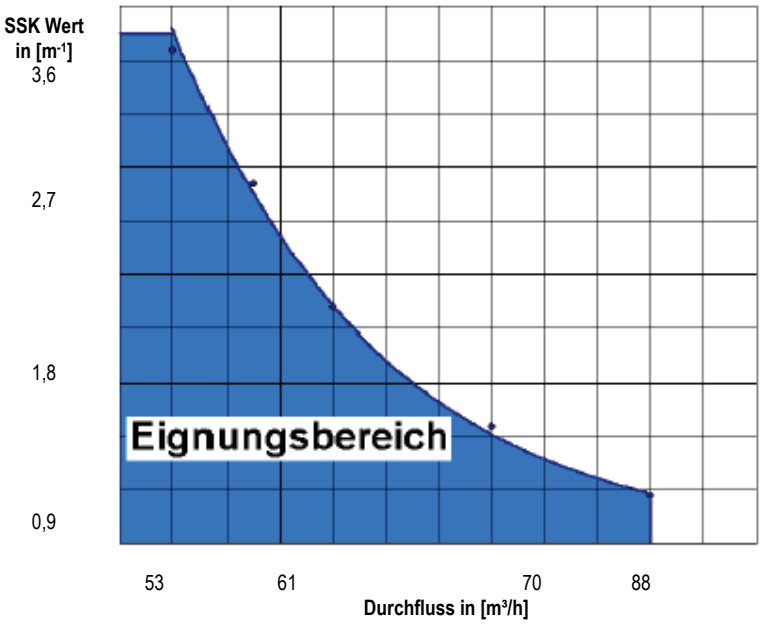


Bild 10: Beispiel des Eignungsbereichs eines UV-Desinfektionsgerätes in Abhängigkeit von Durchfluss und SSK-Wert

4. Anwendungsgebiete

4.1 Trinkwasser

Ist die Bereitstellung von bakteriologisch einwandfreiem Trinkwasser nicht dauernd gewährleistet, muss dieses desinfiziert werden. Die UV-Desinfektion von Trinkwasser ist dabei ein seit langem weltweit bewährtes, sicheres Verfahren. Auch Parasiten wie Cryptosporidien und Giardien werden sicher inaktiviert. Insbesondere in den letzten 10 Jahren haben sich in Deutschland immer mehr öffentliche Wasserversorgungsunternehmen für die chemiekalienfreie Trinkwasserdesinfektion mit UV-Geräten entschieden. Auch bei der privaten Wasserversorgung ist die wartungsarme, anwenderfreundliche UV-Desinfektion heutzutage das bevorzugte Desinfektionsverfahren. Es entstehen bei sachgemäßem Betrieb von UV-Geräten keine Nebenprodukte. Besonders ist hervorzuheben, dass der natürliche Geruch und Geschmack des Trinkwassers nicht beeinflusst wird. Im Wasser für den menschlichen Gebrauch dürfen die in Anlage 1 Teil I der TrinkwV 2001 festgesetzten Grenzwerte für mikrobiologische Parameter nicht überschritten werden. Für die Parameter Escherichia coli (E. coli), Enterokokken und Coliforme Bakterien gilt, dass keine Keime pro 100 ml nachweisbar sein dürfen.

Rechtsgrundlagen
Als Rechtsgrundlage gilt die Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch, Trinkwasserverordnung - TrinkwV 2001; Artikel 1 der Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001. BGBl. I S. 959-980 sowie die Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 11 Trinkwasserverordnung 2001. Diese Liste wird in der Abteilung „Trink- und Badebeckenwasserhygiene“ des Umweltbundesamtes erstellt, fortgeführt und regelmäßig im Internet unter http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/trinkwasser/empfehlungen.htm veröffentlicht.

Allgemein anerkannte Regeln der Technik
Gemäß § 11 der TrinkwV 2001 sind in Deutschland zur Desinfektion von Trinkwasser nur nach DVGW-Arbeitsblatt W 294 zertifizierte UV-Geräte zugelassen. Nach anderen Normen oder Regelwerken geprüfte UV-Geräte können in Deutschland eingesetzt werden, nachdem durch eine akkreditierte Zertifizierungsstelle, z.B. DVGW Cert GmbH, im Rahmen eines Zertifzierungsverfahrens die Gleichwertigkeit mit DVGW-Arbeitsblatt W 294 bestätigt wurde.

Anforderungen an die Wasserbeschaffenheit
Voraussetzung für den Einsatz der UV-Desinfektion ist die Einhaltung der Anforderungen der TrinkwV bzw. deren Erfüllung durch vorgeschaltete Wasseraufbereitungsanlagen (DVGW-Arbeitsblatt W 290, Feb. 2005, Trinkwasserdesinfektion - Einsatz und Anforderungskriterien).

Die Elemente Eisen und Mangan absorbieren im gelösten Zustand, in den in der Trinkwasserverordnung zulässigen Konzentrationen, die UV-Strahlung nur unwesentlich und tragen daher kaum zum SSK 254 des Wassers bei. Eisen- und Manganbeläge können sich jedoch bereits bei geringen Konzentrationen bilden. Diese absorbieren die UV-Strahlung, so dass eine regel-

mäßige Reinigung der Quarzschutzrohre der Strahler erforderlich ist. Die Reinigungshäufigkeit ist von vielen Faktoren der Wasserqualität abhängig. In den meisten Fällen ist jedoch eine ein- bis viermalige Reinigung pro Jahr ausreichend. Eine fortschreitende Verunreinigung der Quarzschutzrohre wird durch das angezeigte UV-Signal (Messung der Bestrahlungsstärke) erkannt. Dadurch ist eine prophylaktische Reinigung derselben erkennbar und planbar.

Bild 11: Desinfektion von Trinkwasser mit ca. 300 m³/h

4.2 Warmwasser

Das am häufigsten vorkommende mikrobiologische Problem im Warmwasser ist die Vermehrung von Legionellen. Diese Bakterien sind thermophile Krankheitserreger, die über die öffentliche Wasserversorgung in das Installationssystem von Gebäuden gelangen können. Die bekannteste Legionellenart ist Legionella pneumophila. Die Infektion erfolgt durch Einatmen, weniger durch Kontakt von legionelleninfiziertem Wasser mit Schleimhäuten oder offenen Wunden. Eine Infektion durch den Magen-Darm-Trakt ist nicht bekannt.

Die Vermehrung von Legionellen im Wasser wird durch eine Wassertemperatur zwischen 25°C und 50°C begünstigt, ferner durch Schlammablagerungen in Behältern, Inkrustationen in Rohrleitungen und Armaturen, Biofilmen, Stillstandszonen und durch Vorkommen in Protozoen, z. B. Amöben, die als Wirtsorganismus für die Legionellen im Warmwasser wichtig sind.

Rechtsgrundlagen
Für erwärmtes Trinkwasser gilt ohne Einschränkung die Trinkwasserverordnung. Hier ist gefordert, dass Trinkwasser frei von Krankheitserregern sein muss.

Allgemein anerkannte Regeln der Technik
Bei der Bekämpfung von Legionellen mit UV-Geräten sind neben den bereits unter dem Abschnitt „Dimensionierung von UV-Geräten“ aufgeführten Anforderungen noch eine Vielzahl weiterer Punkte, wie zusätzliche bautechnische Maßnahmen, Betrieb der UV-Lampen unter erhöhter Wassertemperatur und Vermehrung von Legionellen innerhalb von Schutzräumen (Biofilme, Amöben, Feststoffkonglomeraten), zu beachten. Die Beratung durch eine Fachfirma ist unerlässlich. Betriebs-, bau- und verfahrenstechnische Maßnahmen sind im DVGW-Arbeitsblatt W 551 (Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums) vorgestellt. Weitere einzuhaltende Regelwerke sind das DVGW Arbeitsblatt W 553 (Bemessung von Zirkulationssystemen in zentralen Trinkwassererwärmungsanlagen) und die VDI 6023 (Hygiene in Trinkwasserinstallationen).

4.3 Getränke- und Lebensmittelindustrie

In der Getränke- und Lebensmittelindustrie wird Wasser sowohl für das Produkt verwendet (z.B. Tafelwasser, Bier, Süßgetränke) als auch als Kühl- und Waschwasser eingesetzt. Bei der Produktion kommt es direkt oder indirekt zum Kontakt Wasser/Lebensmittel. Die Qualität des Wassers hat daher einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität und mikrobiologische Stabilität des Produktes. Der Vorteil der UV-Desinfektion besteht unter anderem darin, dass keine chemischen Substanzen in das Wasser eingetragen werden, die unerwünschte Veränderungen an den Getränken und Lebensmitteln hervorrufen können.

Rechtsgrundlagen
Die Behandlung von Lebensmitteln mit ultravioletten Strahlen wird aufgrund des Lebensmittelgesetzes durch die Lebensmittelbestrahlungsverordnung geregelt. Nach LMBestrV § 1 (4) dieser Verordnung wird die direkte Anwendung der UV-Desinfektion mit Einschränkungen zugelassen. Eine Verpflichtung einer gesonderten Kennzeichnung besteht nach § 3 der Verordnung nicht.

In Deutschland dürfen nach der Mineral- und Tafelwasserverordnung »natürliche Mineralwässer« sowie »Quellwässer« keinem Desinfektionsverfahren unterzogen werden. Eine UV-Behandlung solcher Wässer ist daher nicht zulässig. Jedoch darf ein mit der Bezeichnung »Tafelwasser« vertriebenes Wasser nach dieser Verordnung desinfiziert werden.

Allgemein anerkannte Regeln der Technik
Aufgrund der hohen Anforderungen an die Desinfektionssicherheit in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie, wird der Einsatz von zertifizierten UV-Geräten zur Wasserdesinfektion empfohlen.

4.4 Raumlufttechnische Anlagen

Durch den Aufbau und die Funktionsweise von Umlaufsprühbefeuchtern (Luftwäscher) und Rückkühlwerken in raumlufttechnischen Anlagen kommt es zu einem hohen Eintrag von Verschmutzungen in das Umlaufwasser. Diese Verschmutzungen führen zur biologischen Kontamination des Wassers. Durch den Einbau eines UV-Desinfektionsgerätes kann die Keimzahl im Wasser unter dem jeweiligen Richtwert gehalten werden. Ein Vorteil des Einsatzes von UV-Geräten zur Desinfektion besteht darin, dass keine auf den Menschen sensibilisierend wirkenden Substanzen im Wasser gebildet werden und meist auch keine zusätzlichen Desinfektionsmittel erforderlich sind. Durch den Wegfall der Desinfektionsmittel ergeben sich beim Ablassen des Kühlwassers keine Probleme hinsichtlich der gesetzlichen Vorgaben bezüglich der Entsorgung von Desinfektionsmitteln.

Rechtsgrundlagen
Die Beschaffenheit des Umlaufwassers für Umlaufsprühbefeuchter/Normalbetrieb ist die VDI 6022 anzuwenden. Die darin empfohlenen Richtwerte (< 10^3 KBE pro ml bzw. möglichst < 10^4 KBE pro ml) für Rückkühlwerke sind einzuhalten.

Technischer Stand
UV-Desinfektionsgeräte werden in den Hauptstrom, in einem separaten Kreislauf oder als Tauchstrahler in die Luftwäscher eingebaut. Zusätzlich zu den unter dem Punkt »Dimensionierung von UV-Geräten« angeführten Anforderungen ist zu beachten, dass jahreszeitlich bedingt starke Schwankungen der Wasserqualität (z.B Temperatur und Nährstoffeintrag) auftreten können, auch kann es durch die Aufkonzentration von Wasserinhaltsstoffen zu Ausfällungen kommen. Bei der Verwendung von Bioziden zu einer gegebenenfalls erforderlichen Stoßdesinfektion ist zu beachten, dass diese Mittel häufig das UV-Licht absorbieren.

4.5 Pharma- und Kosmetikindustrie

Pharmaindustrie
Wasser wird bei der Produktion von Arzneimitteln in unterschiedlichen Qualitätsstufen benötigt. Für Salben und äußere Anwendungen, sowie die meisten Reinigungsaufgaben wird Aqua Purificata (gereinigtes Wasser, Purified Water, Vollentsalztes Wasser) eingesetzt. Es wird im Regelfall durch Vorfiltration, Enthärtung, Umkehrosmose und ggf. Elektrodialyse gewonnen und bei Raumtemperatur in Reinwassertanks gelagert. Ein Ringleitungssystem übernimmt die Verteilung zu den Zapfstellen und die Rezirkulation in den Tank (Bild 13).

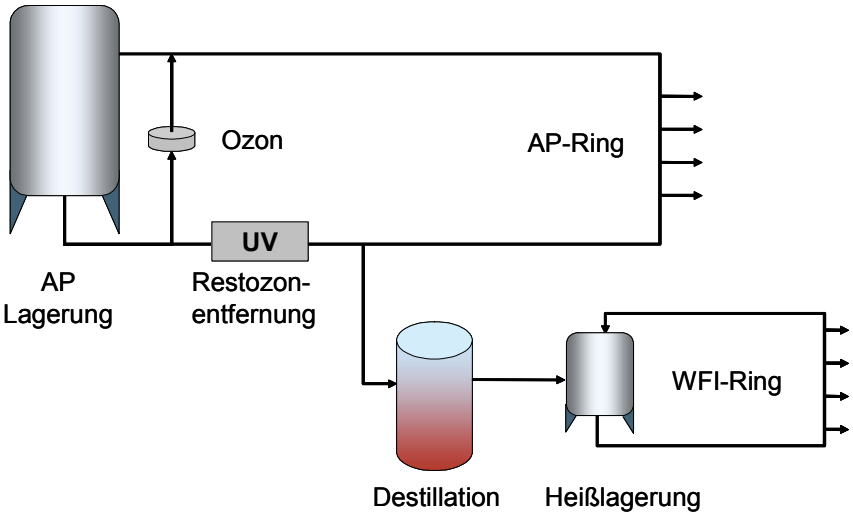


Bild 13: **Typischer Aufbau eines Reinstwassersystems mit UV-Gerät zur Restozonentfernung**

Die mögliche Bildung von Biofilmen in Vorratstanks und Rohrleitungen wird heute meist durch Dosierung einer Ozonkonzentration von ca. 0,02 – 0,04 mg/l in die Rücklaufleitung zum Tank verhindert. Während der Produktionszeit wird das Ozon durch ein UV-Gerät im Ringvorlauf vollständig abgebaut, damit das pharmazeutische Produkt nicht mit ozonhaltigem Wasser in Berührung kommt. In der produktionsfreien Zeit wird das ozonisierte Wasser mit erhöhter Konzentration an dem ausgeschalteten UV-Gerät vorbei im Ring zirkuliert. Kurz vor Produktionsbeginn senkt das UV-Gerät die Ozonkonzentration dann wieder bis unter die Nachweisgrenze (0,005 mg/l) ab.

Für innere Anwendungen wird das AP-Wasser weiter aufbereitet (Highly Purified Water), oft destilliert und anschließend bei ca. 80 °C heiß gelagert (Water For Injection).

Rechtsgrundlagen
Die Qualität des Wassers wird durch unterschiedliche Arzneibücher (American/European Pharmacopeia) definiert. Weitere Anforderungen an die Planung, den Bau und den Betrieb einer pharmazeutischen Produktionsanlage regeln die weltweit gültigen GMP-Richtlinien (Good Manufacturing Practice). Darin sind weitgehende Anforderungen an die Konstruktion der UV-Geräte (möglichst totraumfrei, Werkstoffzeugnis nach EN 1082 3.1b, Strahlerprüfung, Druckprüfung) und an die Qualitätssicherung der UV-Bestrahlung während des Betriebes, z.B. durch ein zertifiziertes Sensorsystem, enthalten.

Die Leistung der UV-Geräte definiert sich einerseits durch die Notwendigkeit, ca. 0,1 mg/l gelöstes Ozon bis unter die Nachweisgrenze abzubauen, andererseits wird ein Restkeimgehalt zwischen <10 und <100 KBE / 100 ml angestrebt. Das lässt sich durch eine Mindestdosis von 800 – 1.200 J/m² erreichen. Die Ozonfreiheit des Wassers nach dem UV-Gerät kann durch ein spezielles Restozonmessgerät oder hilfsweise auch durch den Sensor des UV-Gerätes direkt überprüft werden. Deshalb empfiehlt sich eine kontinuierliche Aufzeichnung der Intensitätswerte.

Kosmetikindustrie
Produktionswasser für die Herstellung von Kosmetika gibt es in unterschiedlichen Qualitäten von einfachem Trinkwasser bis hin zu vollentsalzten Wässern, vergleichbar mit denen der Pharmaindustrie. Die Anforderungen an UV-Geräte gehen von 400 J/m² bis zu 1.200 J/m². In zunehmendem Maße werden die GMP-Richtlinien angewandt.

4.6 Eigenwasserversorgung

Die Anforderungen an UV-Geräte und die Wasserbeschaffenheit bei der Eigenwasserversorgung entsprechen im Wesentlichen den zuvor bei der Trinkwasserdesinfektion genannten. Bei der Eigenwasserversorgung ist mit erhöhten Potenzialen von Huminsäuren sowie unerwünschten Einträgen aus Oberflächen- und Regenwasser und durch schlechte Brunnenfassungen zu rechnen.

Rechtsgrundlagen
Für die Eigenwasserversorgung gilt die neue DIN 2001 „Trinkwasserversorgung aus Kleinanlagen und nicht ortsfesten Anlagen“. Im Teil 1 „Kleinanlagen“ dieser Norm wird bei der Verwendung von mikrobiell belastetem Wasser als Vorzugsverfahren für die Desinfektion die Bestrahlung mit ultraviolettem Licht (UV-Desinfektion) mit laufender Überwachung der Desinfektionswirksamkeit genannt. Auch hier gilt, dass gemäß § 11 der TrinkwV bei Neuinstallationen in Deutschland nur nach DVGW-Arbeitsblatt W 294 zertifizierte UV-Geräte zugelassen sind.

4.7 Mikroelektronik- und Optische Industrie

Der Abstand der Leiterbahnen auf einem Mikrochip wird infolge des technischen Fortschritts ständig kleiner. Mechanische Partikel lassen sich durch immer feinere Filter in der Mikroelektronik und Optischen Industrie abtrennen. Bakterien können durch Filter von 0,2 µm in kurzer Zeit durchwachsen. Diese Mikroorganismen führen zu Schäden auf Mikrochips durch die engen Leiterbahnstrukturen.

Im Reinstwasser wird daher ein Keimgehalt unter 10 KBE pro 100 ml, teilweise sogar unter 1 KBE pro l gefordert. Aufgrund dieser hohen Anforderung wird im Allgemeinen eine Bestrahlungsdosis von 1.200-1.600 J/m² angewandt, um diese niedrige Keimzahl zu erzielen. Der TOC (total organic carbon/gelöster organischer Kohlenstoff) ist im Reinstwasser störend, weil bei manchen Techniken die möglichen Ablagerungen zu »Brennstellen« führen können. Durch Bestrahlung mit speziellen UV-Strahlern, die zusätzlich zur UV-C Strahlung noch V-UV-Strahlung von 185 nm emittieren, ist eine Oxidierung der störenden Kohlenwasserstoffe zu Kohlendioxid möglich. Die Bestrahlungsdosis liegt deutlich höher als bei der Desinfektion. Typisch beträgt sie etwa 4.000 - 6.000 J/m² (bezogen auf UV-C).

Rechtsgrundlagen
Rechtsgrundlagen zur UV-Desinfektion und zur TOC-Reduzierung im Reinstwasserbereich bestehen nicht.

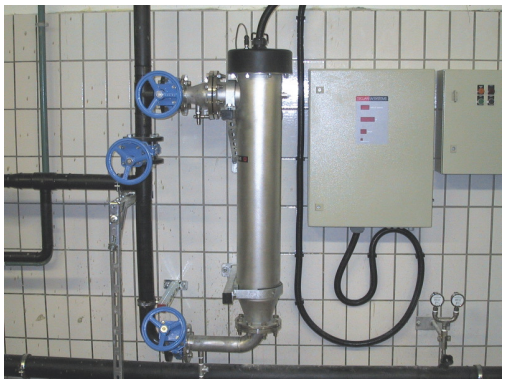
Technischer Stand
Kundenspezifische Vorgaben der Mikroelektronik- und Optischen Industrie sind zu beachten. Typisch wird verlangt: Restkeimgehalt beim Eintritt in die Ringleitung < 5 KBE pro 100 ml bzw. Restkeimgehalt am Ende der Ringleitung < 10 KBE pro 100 ml, für bestimmte Anwendungen sogar < 1 KBE pro 1000 ml. Bei einer UV-Oxidation: TOC nach der Oxidation < 1-3 ppb.

4.8 Abwasser und Brauchwasser

Angesichts weltweit knapper werdender Trinkwasserressourcen gewinnt die Desinfektion von Abwasser zur Verwendung als Brauchwasser - von der Bewässerung bis zur Reinfiltration und Trinkwasseranreicherung - immer weiter an Bedeutung. Das Abwasser wird als letzte Behandlungsstufe vor der Einleitung oder Wiederverwendung mit UV-Licht desinfiziert. Dazu kommen sowohl offene Gerinne für den Ablauf einer Kläranlage im Freigefälle, als auch geschlossene UV-Geräte für die Desinfektion von Brauchwasser in geschlossenen Druckleitungen zum Einsatz.

Da Abwasser durch den Anteil an organischen Reststoffen eine deutlich höhere UV-Absorption bei 254 nm besitzt als Trinkwasser, ist die spezifische Leistung für die Desinfektion eines definierten Volumenstroms etwa 3 bis 10 mal höher. UV-Geräte zur Abwasserdesinfektion besitzen demnach mehr und dichter angeordnete UV-Lampen als Trinkwasseranlagen. Die Strömungseinrichtungen sind den geringeren Fließgeschwindigkeiten angepasst. Typische Dosiswerte sind auf die Reduktion von Fäkalbakterien und Viren ausgerichtet und betragen 400 – 800 J/m² je nach Anwendung.

Die mikrobiologischen Anforderungen für die Direkteinleitung von Kläranlagenabläufen in Badegewässern liegen zwischen 100 und 200 fäkalcoliformen Bakterien pro 100 ml.



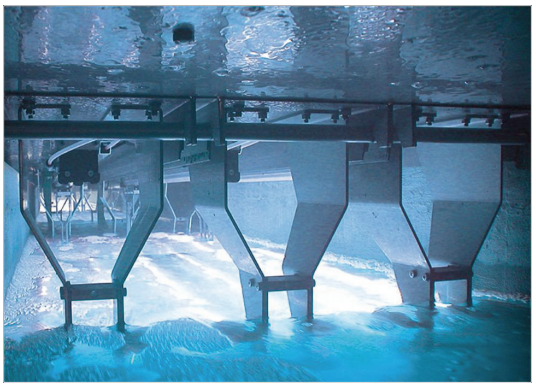


Bild 14: Brauchwasser- / Abwasserdesinfektion

Rechtsgrundlagen

Für die Einleitung von Kläranlagenablaufwasser und die Nutzung von Brauchwasser auf Kläranlagen gilt in Europa die EG-Richtlinie zur Qualität der Badegewässer.

In den amerikanischen Staaten gelten die Richtlinien der US – Environmental Protection Agency (EPA) und regionale Bestimmungen wie der California Wastewater Reclamation Title.

5. Gesetze -Verordnungen - Technisches Regelwerk

Am 01.01.2001 wurde das Bundesseuchengesetz vom Infektionsschutzgesetz abgelöst. Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen "Infektionsschutzgesetz vom 20. Juli 2000 (BGBl. I S. 1045), zuletzt geändert durch die Bekanntmachung vom 1. Oktober 2007 (BGBl. 2007 II S. 1528)".

Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch TrinkwV 2001 - Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001, (BGBl. I Nr. 24 vom 28.5. 2001 S. 959; 25.11.2003 S. 2304; 31.10.2006 S. 2407 06). Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 11 Trinkwasserverordnung 2001
http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/downloads/trinkwasser/trink11.pdf

Lebensmittelbestrahlungsverordnung (Langtitel: Verordnung über die Behandlung von Lebensmitteln mit Elektronen-, Gamma- und Röntgenstrahlen, Neutronen oder ultravioletten Strahlen). In der Fassung vom 14.12.2000, zuletzt geändert durch die Neunte Zuständigkeitsanpassungsverordnung vom 31.10.2006.

DIN 2001 Trinkwasserversorgung aus Kleinanlagen und nicht ortsfesten Kleinanlagen. Teil 1: Kleinanlagen

DIN 1946-4 Norm, 1999-03
Raumlufttechnik - Teil 4: Raumlufttechnische Anlagen in Krankenhäusern (VDI-Lüftungsregeln)

DIN 5031, versch. Teile., Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik

DIN 5036, versch. Teile., Strahlungsphysikalische und lichttechnische Eigenschaften von Materialien

DIN EN 14897:2006+A1:2007 Anlagen zur Behandlung von Trinkwasser innerhalb von Gebäuden - Geräte mit Quecksilberdampf-Niederdruckstrahlern - Anforderungen an Ausführung, Sicherheit und Prüfung

DVGW Arbeitsblatt W 290 | Februar 2005 Trinkwasserdesinfektion
- Einsatz- und Anforderungskriterien

DVGW Arbeitsblatt W 294-1 | Juni 2006
UV-Geräte zur Desinfektion in der Wasserversorgung;
Teil 1: Anforderungen an Beschaffenheit, Funktion und Betrieb

DVGW Arbeitsblatt W 294-2 | Juni 2006
UV-Geräte zur Desinfektion in der Wasserversorgung;
Teil 2: Prüfung von Beschaffenheit, Funktion und Desinfektionswirksamkeit

DVGW Arbeitsblatt W 294-3 | Juni 2006
UV-Geräte zur Desinfektion in der Wasserversorgung;
Teil 3: Messfenster und Sensoren zur radiometrischen Überwachung von UV-Desinfektionsgeräten;
Anforderungen, Prüfung und Kalibrierung

Technische Regel, Arbeitsblatt W 551 | April 2004,
Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen

Arbeitsblatt W 553 | Dezember 1998
Bemessung von Zirkulationssystemen in zentralen Trinkwassererwärmungsanlagen

ÖNORM M 5873-1: 2001-03-01

Anlagen zur Desinfektion von Wasser mittels Ultraviolett-Strahlen - Anforderungen und Prüfung –
Teil 1 Anlagen mit Quecksilberdampf-Niederdruckstrahlern

ÖNORM M 5873-2: 2003 08 01
Anlagen zur Desinfektion von Wasser mittels Ultraviolett-Strahlen - Anforderungen und Prüfung –
Teil 2: Anlagen mit Quecksilberdampf-Mitteldruckstrahlern

ATV-Merkblatt M 205 Desinfektion von Abwasser, 07/98

VDI 6023 Blatt 1, 07/2006
Hygiene in Trinkwasser-Installationen - Anforderungen an Planung, Ausführung, Betrieb und Instandhaltung

6. Bezugsquellen

DIN EN ISO-Normen, ÖNORM; Beuth Verlag, Tel. 030/26 01-26 68, Fax 030/26 01-12 60

DVGW-Regelwerk; WVGW Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft mbH, Tel. 0228/25 98-4 00, Fax 0228/25 98-4 20

Österreichisches Normungsinstitut, Heinestraße 38, 1020 Wien, Tel. +43 1 21300-805, Fax: +43 1 21300-815

DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Theodor-Heuss-Allee 17,
53773 Hennef, Tel. 02242 872 333, Fax 02242 872 135

Verein Deutscher Ingenieure e.V., Graf-Recke-Straße 84, 40239 Düsseldorf, Tel. 0211/62 14-0, Fax. 0211/62 14-5 75

7. Autoren / figawa

Die vorliegende technische Mitteilung wurde maßgeblich von den Mitgliedern des figawa-Arbeitskreises UV-Wasserbehandlung erarbeitet. Mit freundlicher Unterstützung der Mitgliedsunternehmen und deren Mitarbeiter:

Unternehmen / Ort	Mitarbeiter
BWT Wassertechnik GmbH, Schriesheim	Dr. Ralph W. Bergmann
Franke Aquarotter AG, Ludwigsfelde	Dipl.-Ing. Ronald Karger
Grünbeck Wasseraufbereitung GmbH, Höchstädt/Donau	Dr.-Ing. Heinz Rötlich
Heraeus Noblelight GmbH, Hanau	Volker Adam, Erik Roth
Kryschi Wasserhygiene, Kaarst	Dipl.-Ing. Rainer Kryschi
ProMinent ProMaqua GmbH, Heidelberg	Dr. Wolfgang Weibler *(Obmann des AK)*
Siemens Water Technologies, Wallace & Tiernan GmbH	Rob van Esch
Trojan Technologies Deutschland GmbH, Schöllkrippen	Hans-Reiner Gowor
UMEX GmbH, Kirchheim	Dipl.-Chem. Rüdiger Noack
ITT WEDECO AG, Herford	Dipl.-Ing. Robert Rongen

Kommentare und Anregungen zu dieser Technischen Mitteilung nimmt die figawa-Geschäftsführung gerne entgegen. Betreuender figawa-Referent: Dipl.-Ing. Mario Jahn

Seit 1926 organisieren sich Hersteller von Produkten und Dienstleister des Gas- und Wasserfachs in einem technisch-wissenschaftlichen Dachverband, der Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach - **figawa e. V.** Das Ziel dieser Vereinigung besteht seit ihrer Gründung darin, Produkte und Verfahren im Hinblick auf Sicherheit, Hygiene, Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit in Regelwerken zu verankern. Insgesamt sind mehr als tausend Unternehmen Mitglied in der figawa. Einen aktuellen Überblick finden Sie unter www.figawa.de .