

Carbonit hier klicken



**Ultraviolette Strahlung**  
Fakten und Hintergründe

## Ultraviolette Strahlung

### Fakten und Hintergründe

- 01 – Einleitung
- 01 – Elektromagnetische Wellen im Überblick
- 03 – Vorkommen & Entstehung
- 04 – Strahlensterilisation
- 05 – Erzeugung von UV-Strahlung
- 06 – Ozonbildung
- 07 – Entkeimung flüssiger Medien
- 08 – Luftentkeimung mittels UV-C-Strahlung
- 09 – Einflüsse auf die Wirksamkeit der UV-C-Strahlung
- 10 – Anwendungsgebiete im Überblick

## Einleitung

**Ultraviolette (UV)** – Strahlung, auch ultraviolettes Licht genannt, kennen die meisten von uns nur im Zusammenhang mit dem Sonnenbaden am Strand. Was aber ist diese UV-Strahlung, welche unserer Haut einen gesunden Teint durch die Bildung von Melanin verleiht oder im schlimmsten Fall einen Sonnenbrand verursacht?

Bereits in der Antike war bekannt, dass mit Sonnenlicht Trinkwasser entkeimt und aufbereitet werden kann. So wird in einem Sanskrit-Text, der etwa 200 Jahre vor Christus verfasst wurde, folgendes beschrieben: „Man tut gut daran, Wasser in Kupfergefäßen aufzubewahren, es dem Sonnenlicht auszusetzen und durch Kohle zu filtrieren“. Hierin ist das Sonnenlicht als natürliche Quelle der Ultraviolettstrahlung beschrieben. Entdeckt wurde die ultraviolette Strahlung jedoch erst im Jahre 1802 von Johann Wilhelm Ritter.

Ultraviolettstrahlung ist elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge unterhalb der des sichtbaren Lichts. Für das menschliche Auge ist die Ultraviolettstrahlung also nicht sichtbar. Jedoch gibt es Insekten, wie zum Beispiel Bienen und Hummeln, welche einen Teil dieses langwelligen Lichts sehen können. Das für den Menschen sichtbare Licht umfasst einen Bereich von etwa 400 Nanometern bis 750 Nanometern, was den Spektralfarben des Regenbogens entspricht.

## Elektromagnetische Wellen im Überblick

**Ebenso wie das** für den Menschen sichtbare Licht gehört auch die Ultraviolettstrahlung zu den elektromagnetischen Wellen. Elektromagnetische Wellen werden aufgrund ihrer Wellenlängen vom kurzwelligen bis zum langwelligen Bereich wie folgt unterteilt: Radiowellen, Mikrowellen, Infrarotstrahlung, sichtbares Licht, Ultraviolettstrahlung, Röntgenstrahlung und Gammastrahlung. Zusätzlich unterteilt man die Ultraviolettstrahlung aufgrund ihrer unterschiedlichen Energiedichte in die folgenden drei Bereiche: UV-A, UV-B und UV-C-Strahlung. Umso geringer die Wellenlänge ist, desto höher und gefährlicher ist ihre Energiedichte für Lebewesen. In der folgenden Tabelle 1 ist die Strahlung in Abhängigkeit von ihrer Wellenlänge aufgelistet.

Bezeichnung	Wellenlänge
<b>Radiowellen</b>	
Langwelle (LW)	< 10 km
Mittelwelle (MW)	< 650 m
Kurzwelle (KW)	< 180 m
Ultrakurzwelle (UKW)	< 10 m
<b>Mikrowellen</b>	1 mm - 1 m
<b>Infrarotstrahlung</b>	
Fernes Infrarot	50 $\mu\text{m}$ - 1,0 mm
Mittleres Infrarot	2,5 $\mu\text{m}$ - 50 $\mu\text{m}$
Nahes Infrarot	780 nm - 2,5 $\mu\text{m}$
<b>Sichtbares Licht</b>	
Rot	640 nm - 780 nm
Orange	600 nm - 640 nm
Gelb	570 nm - 600 nm
Grün	490 nm - 570 nm
Blau	430 nm - 490 nm
Violett	380 nm - 430 nm
<b>UV-Strahlen</b>	
UV-A	320 nm - 400 nm
UV-B	280 nm - 320 nm
UV-C	100 nm - 280 nm
<b>Röntgenstrahlen</b>	10 pm - 1 nm
<b>Gammastrahlen</b>	< 10 pm

Tabelle 1:  
Elektromagnetische Wellen

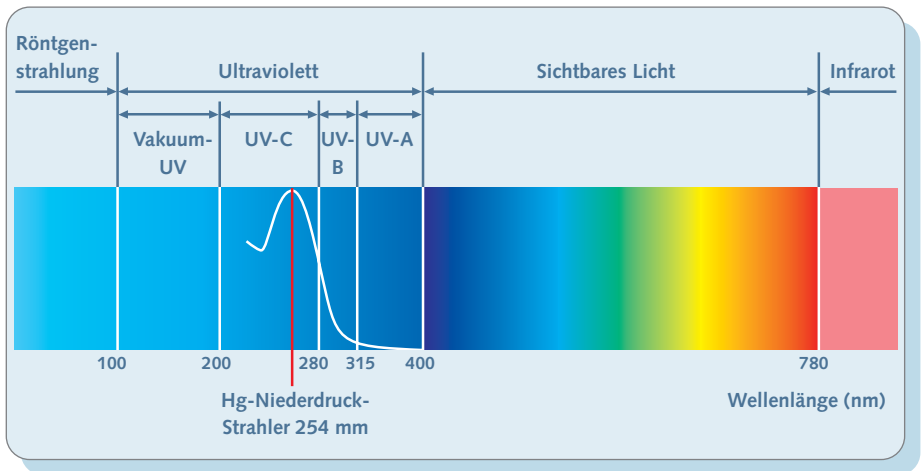


Abbildung A:  
Elektromagnetisches Strahlungsspektrum

## Vorkommen & Entstehung

**Quellen ultravioletter Strahlung** können sowohl natürlicher als auch künstlicher Herkunft sein. Natürliche Quellen sind zum Beispiel unsere Sonne oder Sterne, die neben dem sichtbaren Licht im gewissen Maße immer infrarote und ultraviolette Strahlung abgeben. Der größte Teil der energiereichen Ultraviolettstrahlung wird durch die Ozonschicht der Erde abgeblockt. Nur ein Teil der Ultraviolettstrahlung, die UV-A und ein noch geringer Anteil UV-B-Strahlung, dringen durch diese natürliche Barriere noch zur Erdoberfläche. Die in ihrer Energiedichte noch gefährlichere UV-C-Strahlung wird von der Ozonschicht fast komplett absorbiert.

Das Grundprinzip bei der Entstehung von elektromagnetischen Wellen beruht auf der Anregung einzelner Elektronen auf ihren Bahnen um einen Atomkern. Die Elektronen bewegen sich auf festen Bahnen um den Atomkern. Wird dieses Elektron zum Beispiel wie auf der Sonnenoberfläche durch die enorme Hitze auf ein höheres energiereicheres Niveau gehoben und fällt dieses Elektron anschließend in seinen Ausgangszustand zurück, so werden elektromagnetische Strahlen bzw. Lichtquanten emittiert. Die Wellenlänge des Lichtquants ist abhängig von der Energiedifferenz der beiden Bahnen. Je größer der Abstand ist, desto kleiner ist die Wellenlänge. In Abbildung B ist die Anregung der Elektronen in ein höheres Energieniveau und die Emission von Lichtquanten beim Zurückfallen dargestellt.

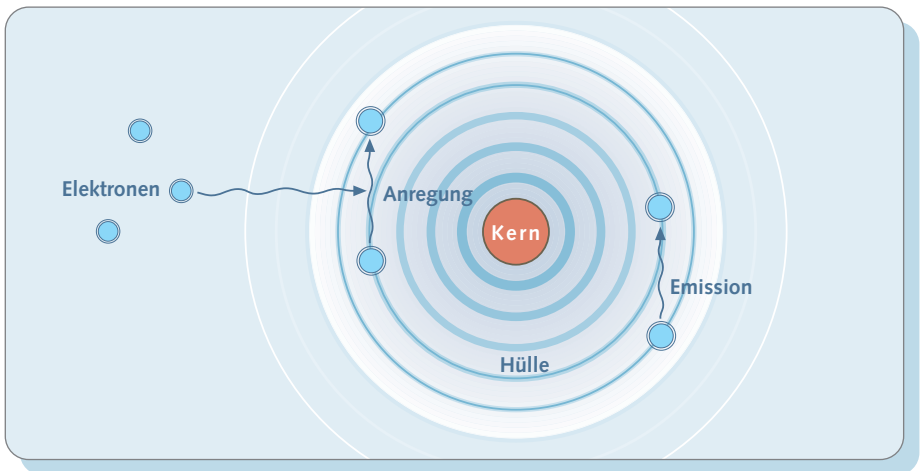


Abbildung B: Entstehung elektromagnetischer Strahlung

Künstliche Quellen ultravioletter Strahlung basieren heutzutage meist auf der Anregung von Quecksilberatomen. Quecksilberatome, die sich in der Gasphase befinden, werden mit beschleunigten Elektronen beschossen. Durch Zusammenstöße werden die Elektronen angeregt und springen auf eine Bahn mit einem größeren Energiegehalt. Die Elektronen des Quecksilbers verharren nicht im angeregten Zustand, sondern fallen zurück auf ein energetisch niedrigeres Niveau und emittieren dabei einen Lichtquant. In diesem Fall entspricht das emittierte Spektrum der UV-C-Strahlung. Abhängig vom Dampfdruck des Quecksilbers ergeben sich unterschiedliche Emissionslinien. Bei niedrigen Drücken von 0,01 Millibar erhält man monochromatische UV-C-Strahlung mit einer Wellenlänge von 254 Nanometern. Setzt man einen mittleren Druck von 1 bar ein, emittieren die Quecksilberatome UV-C-Strahlung im Spektrum von 200 - 300 Nanometern.

## Strahlensterilisation

**Wie in der Einleitung** bereits angesprochen, können die energiereichen Quanten der Ultraviolettstrahlung bei zu langer Einwirkdauer zu Sonnenbrand führen und die Haut bis hin zum Hautkrebs schädigen. Der Grund dafür ist die Nukleinsäuren- bzw. proteinschädigende Wirkung durch die UV-C-Strahlung im Wellenlängenbereich von 240 - 290 Nanometern. Diese schädigende Wirkung auf Zellen wird deshalb technisch auch zur Sterilisation genutzt. Unter dem photochemischen Einfluss der UV-C-Strahlung kommt es zu Veränderungen an den Nukleotiden, den Bestandteilen des Erbgutes. Dies kann zu Mutationen führen. Über die Replikation und die Proteinbiosynthese wirken sich diese Mutationen auf alle proteinhaltigen Zellbestandteile (Struktur-, Repressor-, Boten- Transportproteine, Enzyme etc.) aus. Besonders photoreaktiv sind dabei die Basen Cytosin, Uracil und Thymin.

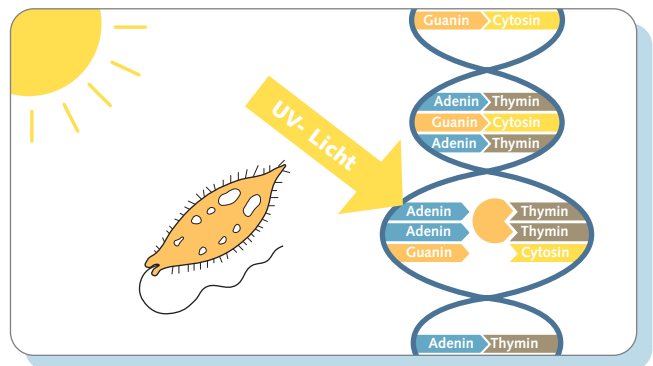


Abbildung C:  
Wirkung von UV-C-Strahlung  
auf Bakterien

Bei sehr intensiver und lang anhaltender Bestrahlung der Zellen wird die DNS dermaßen geschädigt, dass die Reparaturmechanismen nicht mehr ausreichen, um diese Veränderungen zu kompensieren. Der Stoffwechsel kommt zum Erliegen und die Zellen können sich nicht mehr reproduzieren. Die Keimabtötung kann sowohl an Luft, im Wasser als auch auf Oberflächen erfolgen. Hierfür sind bei der technischen Umsetzung bestimmte Randbedingungen einzuhalten, damit eine effektive sterilisierende Wirkung garantiert werden kann. Für die optimale Desinfektion von Luft, Wasser oder Oberflächen ist darauf zu achten, dass UV-Strahler für die jeweilige Anwendung ausgelegt sind. Wichtige Parameter bei der Auslegung sind die Strahlungsintensität bzw. die Leistung der energiereichen Elektronenstrahlen, die emittierte Wellenlänge und die verwendeten Geometrien und Materialien.

## Erzeugung von UV-Strahlung

Für die Erzeugung von UV-C-Strahlung werden hauptsächlich Quecksilberstrahler verwendet. Wie im Kapitel „Vorkommen & Entstehung“ bereits erwähnt, kann durch die Wahl des Druckes das Spektrum der Wellenlängen eingestellt werden. Man unterscheidet zwei Arten von Quecksilberstrahlern: Niederdruckstrahler und Mitteldruckstrahler. Niederdruckstrahler arbeiten bei Drücken von 0,01 Millibar, Mitteldruckstrahler bei 1 bar. In der folgenden Tabelle sind die Leistungsdaten herkömmlicher Strahlerarten aufgelistet.

Bezeichnung	Druck in mbar	Temp. in °C	Wellenlänge in nm	Emissionsleistung in W/cm
Quecksilber-Niederdruckstrahler	0,01	50	254	0,1
Hochleistungs-Niederdruckstrahler	0,01	90	254	0,3 – 0,5
Quecksilber-Mitteldruckstrahler	1000	900	200 – 300	5 – 10

Tabelle 2: Strahlerarten

Der Aufbau der UV-C-Strahlung erzeugenden Systeme ist nahezu identisch und exemplarisch in Abbildung D dargestellt. Der Unterschied liegt ausschließlich in ihrer Betriebsweise wie Stromstärke, Druck und Temperatur. Das flüssige Quecksilber befindet sich mit dem Füllgas Argon in einem Hüllrohr aus Quarzglas. Quarzglas wird verwendet, da UV-Strahlung von den meisten Materialien, wie zum Beispiel Fensterglas oder Kunststoff, weitestgehend absorbiert wird. Dies reduziert die Ausbeute an UV-C-Strahlung erheblich.

Weiterhin sind in die Quarzröhre eine Kathode und eine Anode zur Anlegung der Spannung integriert. Beide bestehen aus einem mit Bariumoxidpaste versehenem Wolframdraht.

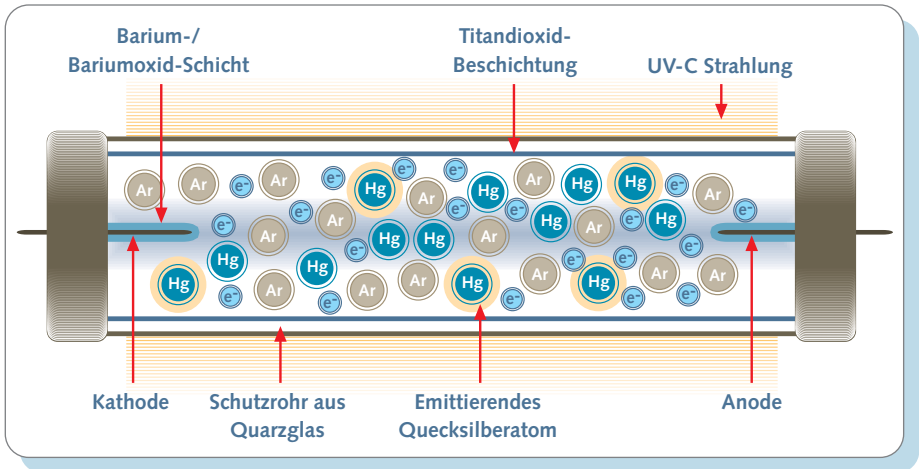


Abbildung D:  
Allgemeiner Aufbau eines  
Quecksilberstrahlers

Durch das Anlegen einer Spannung fließt ein Strom, welcher das Bariumoxid erhitzt. Beim Erhitzen zerfällt das Bariumoxid zu Barium, wobei Elektronen frei werden. Die durch die Spannung beschleunigten Elektronen lösen eine Ionisierungswelle aus, die zur Emission der UV-Strahlung führt (siehe Abbildung E).

## Ozonbildung

Bei der Erzeugung von UV-C-Strahlung entsteht teilweise auch kurzwelligere Strahlung von 185 Nanometern. Diese energiereiche Strahlung kann zur Bildung photochemischer Produkte führen und ist neben diesen für die Bildung von Ozon verantwortlich. Unter Einwirkung dieser Strahlung wird ein Sauerstoff-Molekül in zwei einzelne Atome gespalten, die sich jeweils mit einem weiteren Sauerstoff-Molekül zu Ozon vereinigen. Da das Ozon beim Zerfall stark oxidierende Eigenschaften aufweist, ist es für den Menschen ab einer bestimmten Konzentration giftig. Um zu verhindern, dass ungewollte photochemische Reaktionen ablaufen, wird das Quarzglas bei Mitteldruckstrahlern mit Titandioxid dotiert. Diese Beschichtung absorbiert Strahlung unter 240 Nanometer und verhindert somit die Bildung von Ozon und anderer photochemischer Produkte. Während Ozon auf den Menschen schädlich wirkt, wird es auf-



grund seiner Reaktivität in der Wasseraufbereitung gern als Desinfektionsmittel eingesetzt. Bei der Wasseraufbereitung dient Ozon unter anderem zur umweltfreundlichen Oxidation von Eisen, Mangan, organischer Substanz und zur Entkeimung. So gehört eine Ozonierung neben der UV-Bestrahlung ebenso zu einer chemikalienfreien Aufbereitung von Trink- und Abwässern. Ferner wird Ozon häufig zur Herstellung „chlorfrei“ benannter Produkte eingesetzt, so zum Beispiel beim Bleichen von Papier. In diesem Zusammenhang ist oft von „aktivem Sauerstoff“ die Rede. Um die Restkonzentration an Ozon nach der Sterilisation von Wasser unter den für den Menschen schädlichen Grenzwert zu führen, werden Aktivkohlefilter verwendet. Das Ozon bindet physikalisch durch Adsorption an der Oberfläche der Aktivkohle und wird bei der Desorption als Sauerstoff bzw. Kohlenstoffdioxid frei. Nähere Informationen hierzu finden sie in unserer Broschüre „Naturprodukt Aktivkohle – Hintergründe und Anwendbarkeit“.

## Entkeimung flüssiger Medien

Zur Entkeimung von Wasser werden UV-Reaktoren verwendet (siehe Abbildung F). In ihnen können mehrere UV-Strahler flexibel angeordnet werden. Sie können zentrisch, intern oder extern konzentrisch eingebaut werden, aber auch quer oder diagonal zur Strömungsrichtung. Die Bauart richtet sich nach der zu sterilisierenden Menge an Wasser. Bei strömenden Medien muss die Auslegung so erfolgen, dass die Strahlungsintensität und die Verweilzeit des Wassers genau angepasst werden. Für Trinkwasser gilt, dass 400 Joule pro Quadratmeter Bestrahlung eingehalten werden müssen, um die Keimzahl um 99,99% zu reduzieren. Zur Kontrolle der Strahlungsintensität sind in allen Anlagen Referenz UV-Sensoren angebracht, welche die Bestrahlungsstärke im Bereich von 240 bis 290 Nanometer messen. Diese Sensoren haben die Aufgabe, neben der Alterung der Strahler die Mindestbestrahlungsstärke zu überwachen, welche durch Ablagerungen auf dem Quarzglas abgeschwächt werden kann. Des Weiteren können UV-Sensoren Magnetventile steuern, die den Durchfluss und den hydraulischen Druck regulieren. Neben der Wasseraufbereitung kommen solche Reaktoren auch in RLT-Anlagen (Raumlufttechnische Anlagen) zur Entkeimung der Raumlufteinsatz. Ein weiteres Anwendungsgebiet ist der Einsatz in der Lebensmittelindustrie. Hier werden Verpackungsmaterialien und andere Oberflächen durch UV-Strahlung umweltfreundlich sterilisiert. Durch eine Bestrahlung werden Mikroorganismen, Parasiten und Insekten inaktiviert. Derartig behandelte Verpackungsmaterialien sind frei von lebensfähigen Keimen und können so einen zuverlässigen Schutz der Lebensmittel gewährleisten.



Abbildung E: UV-Strahler



Abbildung F:  
UV-Reaktor mit konzentrisch  
angeordneten Strahlern

## Luftentkeimung mittels UV-C-Strahlung

Während bei der Entkeimung von Wasser mittels UV-C-Strahlung die Bildung von Ozon erwünscht ist, ist die Entkeimung von Luft nur mit ozonfreien UV-C-Systemen möglich. In der Luft hat Ozon im Vergleich zu Wasser eine größere Halbwertszeit. Da es eine maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert) für dieses toxische Reizgas gibt (0,1ppm), wurde der Weg für die Luftentkeimung mittels UV-C erst vor etwa 15 Jahren mit der Entwicklung ozonfreier Strahler möglich. Typische Einsatzgebiete der Luftentkeimung sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Bezeichnung	
Industrie	Laborräume, Produktions- und Lagerbereiche in der Lebensmittelindustrie, Müllsortieranlagen, Pharmaindustrie, stark belastete Räume, ...
Medizin	Entlastung von Allergikern z.B. Asthma durch Pollen- und Hausstauballergien (auch im Privatbereich), Laborräume, ärztliche Behandlungszimmer, ärztliche Warteräume, Intensivstationen, Isolierstationen, Infektions-Risikobereiche, Notaufnahmen, Zahnarztpraxen, Tierkliniken, Tierarztpraxen, Operationssäle, Quarantänestationen, Dialysestationen, Patientenzimmer, ...
Allgemein	Büroräume, Wohn- und Schlafräume, Bereiche mit starker Geruchsbelastung, Raucherzimmer, öffentliche Gebäude, Militär- und Sicherheitszonen, auf Schiffen, Bereiche welche Lösungen zur Luftdesinfektion erfordern, ...

Die Dosis ist bei der Auslegung von Luftdesinfektionssystemen so zu wählen, dass eine Abtötungsrate >99,9% garantiert wird. Die Integration derartiger UV-C-Systeme in die Zuluft bietet verschiedene Vorteile gegenüber einer mechanischen Filterung von Luftströmen und ist sicherlich eine interessante Alternative in Bereichen mit erhöhten Hygieneansprüchen, in denen keine Reinraumbedingungen vorgeschrieben sind.

Vorteil ist hier der geringere Luftwiderstand im Vergleich zu einem Filter, was dem Betreiber Kosten spart. In der Anschaffung sind diese Systeme ebenfalls günstiger als Filter mit vergleichbaren Leistungen. Ebenso interessant ist die Tatsache, dass die UV-C-Technologie auch Viren inaktiviert. Der Stellenwert dieser Aussage wird klar wenn man bedenkt, dass 80% aller Erkrankungen des oberen Atemtraktes durch Viren hervorgerufen werden.

In den letzten Jahren wurden verschiedene UV-C-Systeme für die Luftentkeimung entwickelt, wobei sogar Luftvolumenströme bis 100.000 Kubikmeter pro Stunde noch ökonomisch entkeimt werden

können. Die Abbildung G zeigt ein Modulsystem für eine raumluft-technische Anlage. Anwendungen finden derartige Anlagen z.B. in der Lebensmittelindustrie in Reiferäumen, Verpackungsbereichen oder in Abkühlbereichen von Backwaren. In der Pharmaindustrie, in Krankenhäusern, Apotheken und Laborbereichen sind diese Systeme ebenfalls im Einsatz. Bei allen diesen Anwendungen ist jedoch darauf zu achten, dass die Strahlungsintensität auch dort ankommt, wo sie ihre Wirkung entfalten soll. Die Einflüsse auf die Wirksamkeit der UV-C-Strahlung werden im nächsten Kapitel ausführlich besprochen.

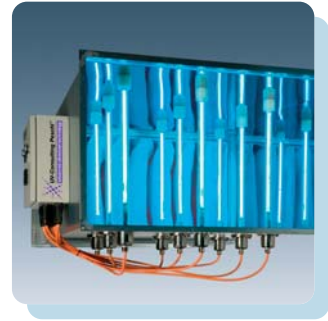


Abbildung G:  
Luftentkeimung in Raumluft-technischen Anlagen

## Einflüsse auf die Wirksamkeit der UV-C-Strahlung

Um den erforderlichen Standard der Keimreduktion einzuhalten, müssen einige wichtige Einflussgrößen berücksichtigt werden. Zur besseren Übersichtlichkeit sind diese in Abbildung H zusammengefasst.

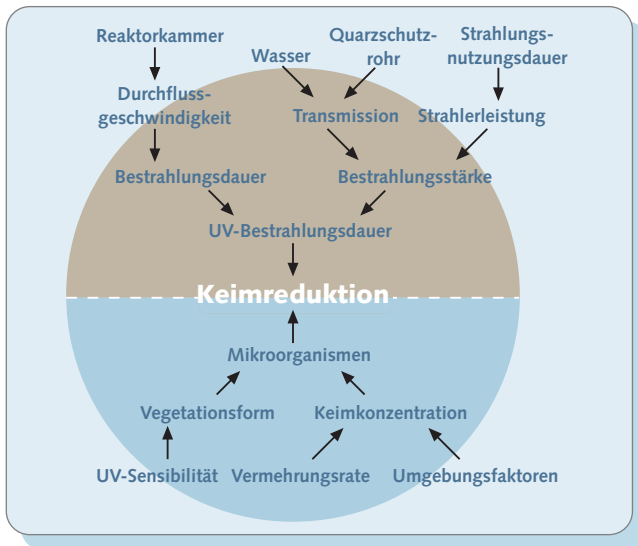


Abbildung H:  
Einflussgrößen auf die keim-reduzierende Wirkung der UV-C-Strahlung

Bei einem von Wasser durchflossenen UV-Reaktor kommt es neben der Bestrahlungsintensität und der Verweilzeit bei einem konstanten Volumenstrom auch auf die Geometrie und den Durchmesser des Reaktors an. Der Aufbau der Reaktoren sollte so gewählt werden, dass alle Bereiche komplett bestrahlt werden und es keine Totzonen gibt, in denen eine Vermehrung von Mikroorganismen möglich ist.

Weiterhin ist die Transmission, beeinflusst von Färbung durch zum Beispiel Eisen- und Manganverbindungen, ein entscheidender Faktor bei der Eindringtiefe der Strahlung in das Medium. Licht erleidet beim Durchgang durch eine Materieschicht eine Schwächung. Somit erfährt die UV-Strahlung auch durch Reflektion und Absorption aufgrund von Wasserinhalstoffen eine Abschwächung. Beispielsweise liegt die Eindringtiefe von UV-B-Strahlung in die Haut nur etwa bei 0,05-0,1 Nanometern. Das zeigt anschaulich, wie die Eindringtiefe und die Intensität von dem zu durchdringenden Medium abhängt. Für die Auslegung von UV-Reaktoren muss deshalb auch der spektrale Schwächungskoeffizient der Materialien und Medien in die Konzeption mit einbezogen werden.

Ablagerungen und Kondensationsfilme, welche sich auf den Quarzglasröhren bilden können, wirken sich ebenfalls negativ auf die Desinfektionsleistung aus. Sie trennen das zu desinfizierende Medium von der Strahlung. Referenz UV-Sensoren sorgen dafür, dass diese allmähliche Abschwächung registriert wird und eine Reinigung der Quarzglasröhren bzw. ein Austausch durchgeführt werden kann. UV-Reaktoren müssen also so konstruiert sein, dass die vorgegebene Bestrahlung auf die Mikroorganismen im Wasser einwirkt. Dabei spielen die Absorption von UV-Licht im jeweiligen Medium, die Geometrie der Bestrahlungskammer und die Verweilzeit des Wassers im Reaktor eine entscheidende Rolle.

## Anwendungsgebiete im Überblick

Die **UV-Strahlung** hat in den letzten Jahrzehnten in weite Teile industrieller Anwendungen Einzug gehalten. Das liegt nicht zuletzt daran, dass bei der Anwendung dieses physikalischen und zuverlässigen Verfahrens auf den Einsatz weiterer Zusatzstoffe und Chemikalien verzichtet werden kann. Die UV-Strahlung wirkt nicht wie Biozid-Produkte resistenzbildend auf Keime und Bakterien. Sie ist wirksam gegen alle Mikroorganismen und deshalb gerade bei der Trinkwasseraufbereitung eine nachhaltige und saubere Methode. In der folgenden Tabelle sind abschließend weitere Anwendungsgebiete aufgelistet.

Bezeichnung	Anwendung
<b>UV-Härtung</b> (von lösemittelfreien Farben, Lacken, Klebstoffen und Vergussmassen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Möbelindustrie (Stühle, Tische, Küchenschränke), Türenherstellung, Skiherstellung</li> <li>- Druckindustrie (besonders im Offset- und Siebdruck, aber auch allen anderen Druckverfahren): z. B., Zeitschriften, Etiketten, Verpackungsdruck, Druck von Geldscheinen</li> <li>- Produktion von CD und DVD (Schutzlack und Verkleben der DVD, Bedruckung)</li> <li>- Elektroindustrie: z. B. Leiterplattenherstellung, Leiterplattenbestückung (Klebstoffhärtung)</li> <li>- Reparatur von Steinschlag in Autoscheiben (Härten von Kunstharz)</li> </ul>
<b>UV-Desinfektion</b> (von Luft, Wasser und Oberflächen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trinkwasser: z. B. Brauereien, Getränkehersteller, Trinkwasserentkeimung in Haushalten, Pensionen und Hotels, kommunale Trinkwasseraufbereitung</li> <li>- Prozesswasser: Kühlwasserkreisläufe, Prozesswasserkreisläufe, Tiefbrunnen-Entnahme, Algenbekämpfung in Fischteichen</li> <li>- Abwasser: Abwasserentkeimung in Kläranlagen</li> <li>- Luftentkeimung: (in Krankenhäusern, Kontrollmessungen zur Reduzierung von Infektionen durch Luftübertragung von bakteriellen Krankheitserregern innerhalb bewohnter Gebiete)</li> <li>- Entkeimung von Packstoffen vor Befüllung (z. B. Joghurtbecher, Siegfolien, in der Medizinindustrie)</li> <li>- Insektenfallen</li> <li>- Produktschleusen in der Medizintechnik und Lebensmittelindustrie</li> </ul>
<b>UV-unterstützte Oxidation</b> (von organischen Schadstoffen in Luft und Wasser)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zerlegung der C-H-Verbindungen in Grundbestandteile, dann Bildung von <math>H_2O + CO_2 +</math> Salze mit Ozon</li> <li>- kontaminiertes Grundwasser (Tankstellen, Bodensanierung von Militärgeländen, Munitionsfabriken, Kohleveredelung, Gaswerke)</li> <li>- Deponiesickerwasser (mit Ozon)</li> <li>- Industrieabwasser (Metallbe- und -verarbeitende Industrie, Farbstoffe der Textilveredelungsindustrie, Kosmetikindustrie, pharmazeutische Industrie, chemische Industrie, Elektroindustrie, Kohleveredelung, Munitionsfabriken, Autowaschanlagen, AKW, Papier-/Zellstoffherstellung, Lederindustrie, Wäschereien)</li> <li>- Geruchsbeseitigung</li> </ul>
<b>Sonnensimulation</b> (zur künstlichen Alterung von Materialien aus Sicherheits- und ästhetischen Gründen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kontrollierte Holzalterung (Geigen- und Gitarrenbau, Möbelindustrie)</li> <li>- Test der Windschutzscheiben von Kraftfahrzeugen und Flugzeugen</li> <li>- Untersuchung des Abbaueffektes von Baumaterialien</li> </ul>

Bezeichnung	Anwendung
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tests von Kunststoffen in der Automobilindustrie und für viele andere</li> <li>- oxidativer Abbau von Pflanzenschutzmitteln</li> <li>- Umwandlung verschiedener ökologisch bedenklicher Wasser- und Abwasserinhaltsstoffe in ökologisch unbedenkliche und biologisch abbaubare Stoffe</li> </ul>
<b>Präperative Photochemie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Herstellung von Waschmittel-Grundstoffen, künstl. Duftstoffen usw.</li> <li>- Vitamin-D-Synthese</li> <li>- Polymerisationen</li> <li>- Photobromierung</li> <li>- Photochlorierung</li> <li>- Photooxidation</li> </ul>
<b>Ozonerzeugung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Oberflächenmodifizierung von Kunststoffen und Gummiprodukten (Erhöhung der Oberflächenspannung oder Beschaffenheit)</li> <li>- Abwasser- und Abluftbehandlung</li> <li>- Fettabbau in Küchenabluftsystemen</li> <li>- Geruchsbeseitigung / Desodorierung</li> </ul>
<b>Medizinische Anwendung/ Lichttherapie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Behandlung von Vitamin D3-Mangelerkrankungen</li> <li>- Behandlung von Psoriasis (Schuppenflechte)</li> <li>- Behandlung von Gelbsucht von Säuglingen</li> <li>- Identifizieren von Krebszellen in inneren Organen</li> <li>- Kosmetische Bräunung</li> </ul>
<b>Lumineszenzanregung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Echtheitsprüfungen von Banknoten und Briefmarken</li> <li>- Anwendungen in Postsortiermaschinen</li> <li>- Effektlicht</li> <li>- Qualitätskontrolle (Haarrisse werden mit Schwarzlicht sichtbar gemacht, z.B. in Flugzeugfahrgeräten, automatischen Lenksystemen)</li> <li>- forensische Wissenschaften (Suche nach wichtigen Beweisen am Tatort, Suche nach Brandursachen)</li> <li>- in Auktionshäusern (Prüfung von Kunstwerken auf Echtheit)</li> <li>- Biotechnologie</li> <li>- Geologie (Prüfung der Phosphoreszenz und der Fluoreszenz)</li> </ul>

## Impressum

### Herausgeber:

CARBONIT Filtertechnik GmbH, Salzwedel  
[www.carbonit.com](http://www.carbonit.com)

LAGOTEC GmbH

Sensortechnik und mikrobielle Anlagensicherheit, Magdeburg  
[www.lagotec.de](http://www.lagotec.de)

### Mit freundlicher Unterstützung von:

UV-Consulting Peschl

Biotec GmbH

Umex GmbH

### Design/Layout:

toolboxx-design, Magdeburg  
[www.toolboxx.net](http://www.toolboxx.net)

### Druck:

Koch-Druck, Halberstadt

**Ihr Fachhändler:**

