

Weiterbildungskurse 2018



www.brunnenmeister.ch

Weg vom Chlor – Entkeimung mit UV oder Ultrafiltration

Von:

Marc Huber
Dr. sc. ETH, Dipl. Umwelt-Natw. ETH
Fachbereichsleiter Wasserversorgung Liestal
HOLINGER AG
Galmsstrasse 4
4410 Liestal

HOLINGER

www.holinger.com

marc.huber@holinger.com

Veranstaltungsort:



Weg vom Chlor – Entkeimung mit UV oder Ultrafiltration

Autor / Referent: Dr. Marc Huber

1. Wieso muss Trinkwasser entkeimt/desinfiziert werden?

1.1. Typen von Mikroorganismen im Wasser

Unbehandeltes Wasser enthält stets Mikroorganismen. Einige davon können Menschen krank machen. Diese sogenannten Pathogene gehören zu verschiedenen Typen von Mikroorganismen, welche in Tabelle 1 zusammengefasst sind.

Tabelle 1: Mikroorganismen im Wasser

Typ	Beispiele	Grösse
Bakterien	<i>E. Coli</i>	ca. 2 µm
Protozoen	Kryptosporidien	ca. 5 µm
Viren	Norovirus	ca. 35 nm

Damit Trinkwasser sicher konsumiert werden kann, muss sichergestellt werden, dass sich bei der Einspeisung ins Trinkwassernetz keine pathogenen Organismen im Trinkwasser befinden. Falls mittels Analysen nachgewiesen werden kann, dass bereits das Rohwasser stets frei ist von diesen Organismen, kann unter Umständen auf eine Entkeimung verzichtet werden. Falls diese Voraussetzung nicht gegeben ist, muss eine geeignete Aufbereitung vorgesehen werden.

Die drei in Tabelle 1 aufgelisteten Typen von Mikroorganismen unterscheiden sich stark voneinander (zum Beispiel in Bezug auf ihre Grösse und ihre Form). Die entkeimende Wirkung eines Aufbereitungsverfahrens kann deshalb je nach Typ ebenfalls stark variieren.

Die im Rahmen der Qualitätskontrolle analysierten Bakterien sind keine eigentlichen Pathogene sondern Indikatororganismen, die eine mögliche Verunreinigung des Wassers anzeigen. Die An- oder Abwesenheit der Indikatororganismen ist keine absolute Garantie, dass Pathogene vorhanden oder nicht vorhanden sind. Insbesondere bei behandeltem Wasser ist es möglich, dass die Behandlung zwar die Indikatororganismen vollständig inaktiviert hat, aber andere, resistendere Keime immer noch lebensfähig sind.

1.2. Beispiele von Trinkwasserverunreinigungen

Wenn es zu einer mikrobiologischen Trinkwasserverunreinigung kommt, können sehr schnell eine sehr grosse Anzahl Leute erkranken. Die Tabelle 2 führt eine Reihe in der Literatur beschriebene grössere Vorfälle in der Schweiz und Nordamerika auf.

Tabelle 2: Beispiele von Trinkwasserverunreinigungen

Jahr	Ort	Ursachen	Erkrankungsfälle
2015	Le Locle, CH	Norovirus	2'000
2000	Walkerton, CAN	Bakterien	2'000
1998	La Neuveville, CH	Bakterien	1'600
1993	Milwaukee, USA	Protozoen	400'000
1963	Zermatt, CH	Bakterien	437

Es ist zu bedenken, dass es bei einer so grossen Anzahl Erkrankten auch zu Todesfällen kommen kann. Gefährdet sind insbesondere Personen, die bereits durch andere Erkrankungen geschwächt sind.

Die in der Literatur ausführlich beschriebenen Ausbrüche in Milwaukee, USA, und Walkerton, CAN, ereigneten sich in Wasserversorgungen, die ihr Rohwasser mit Chlor desinfizierten. In Milwaukee reichten die verwendeten Chlorkonzentrationen zwar aus, Bakterien zu inaktivieren, die gegen Chlor sehr resistenten Kryptosporidien Oozysten gelangten jedoch ins Verteilnetz. In Walkerton floss bei einem Starkregenereignis Oberflächenwasser in einen Grundwasserbrunnen. Aufgrund fehlender Chlormessung wurde nicht bemerkt, dass das dosierte Chlor zu diesem Zeitpunkt zu schnell gezehrt wurde und so die Desinfektion ungenügend war.

1.3. Hauptverfahren Entkeimung/Desinfektion

Die Tabelle 3 fasst die wichtigsten Verfahren zusammen, die in der Wasserversorgung zur Entkeimung/Desinfektion eingesetzt werden.

Tabelle 3: Hauptverfahren zu Entkeimung/Desinfektion¹

Verfahren	Wirkung auf Mikroorganismen	Geschichtliches
Chlor	Inaktivierung durch chemische Oxidation	Verwendung ab ca. 1900
Chlordioxid		Verwendung CH ab 1950
Ozon		Verwendung CH ab 1950
UV-Verfahren	Inaktivierung durch Bestrahlung mit ultraviolettem Licht	Einführung DVGW Prüfrichtlinie 1996
Ultrafiltration (UF)	Abtrennung durch Membran	Erste Grossanlage CH 2002 (Lutry in Lausanne)

¹ „Desinfektion“ ist die Abtötung/Inaktivierung von Krankheitskeimen (z.B. durch Chlor oder UV). „Entkeimung“ wird in diesem Beitrag als Überbegriff für die Abtötung/Inaktivierung oder Abtrennung unerwünschter Keime verwendet. Im Gegensatz zum Begriff „Desinfektion“ kann der Begriff der „Entkeimung“ damit auch auf die Ultrafiltration angewendet werden.

Im Vergleich zur chemischen Desinfektion mit Chlor oder Chlordioxid hat die physikalische Desinfektion mit UV oder die Abtrennung der Mikroorganismen mit Ultrafiltration eine deutlich bessere Wirkung auf Protozoen. Im Folgenden wird der

Einsatz dieser beiden Technologien für die Entkeimung behandelt. Das Schwergewicht liegt auf der UV-Desinfektion, da dieses Verfahren als Ersatz für Chlor weit häufiger zum Einsatz kommt als die teurere Ultrafiltration.

2. UV-Desinfektion

2.1 Grundprinzip der UV-Desinfektion

Bei der physikalischen Desinfektion mittels ultravioletten Lichts wird das Erbgut (DNA) der Mikroorganismen soweit geschädigt, dass sie sich nicht mehr vermehren können und absterben. Das verwendete Licht aus dem UV-C Bereich (200-280 nm) ist kurzweilig, energiereich und von Auge nicht sichtbar.

Die für die Erzeugung von UV-Licht verwendeten Niederdruckstahler produzieren Licht im Wesentlichen bei 254 nm. Ebenfalls verwendete Mitteldruckstrahler haben ein etwas weiteres Emissionsspektrum bis ins sichtbare Licht.

Die SVGW-Richtlinie W13 „Richtlinie zur UV-Desinfektion in der Wasserversorgung“ behandelt im Detail alle Aspekte zum Einsatz des UV-Verfahrens in der Wasserversorgung. Die 2017 herausgegebene SVGW-Richtlinie W12 „Leitlinie für eine gute Verfahrenspraxis in Trinkwasserversorgungen“ enthält in „GVP-Vorgaben – Modul F“ eine kompakte Zusammenfassung aller qualitätsrelevanten Anforderungen an die UV-Anlage und deren Betrieb. Im Folgenden wird nur auf die wichtigsten Punkte eingegangen.

2.2 Grundvoraussetzungen für den Einsatz des UV-Verfahrens

Die SVGW-Richtlinie W13 definiert, welche Anforderungen Wasser erfüllen muss, damit es mit dem UV-Verfahren behandelt werden kann. Diese Anforderungen sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Qualitätsanforderungen Wasser für die UV-Desinfektion (Quelle: SVGW W13_2010)

Parameter	Wert	Einheit	Bemerkungen
Trübung	< 1	NTU	Gemäss FIV. Besser < 0.5 NTU gemäss SLMB; bzw. < 0.2 NTU nach Filtration
UV-Durchlässigkeit SSK ₂₅₄ SAK ₂₅₄	≤ 15 ≤ 10	m ⁻¹ m ⁻¹	Zertifizierungsbereich der Anlage gibt den SSK-Bereich vor
Eisen	< 50	µg/l	
Mangan	< 20	µg/l	
Calcitabscheidekapazität	< 10	mg/l CaCO ₃	Bei Betriebstemperatur
Hygienische Beschaffenheit			Keine dauernde Belastung mit coliformen Keimen (z. B. <i>E. coli</i> < 10 KBE/100 ml)

Zwei wesentliche Faktoren können die Wirksamkeit der UV-Desinfektion beeinflussen:

- 1) Die im Wasser vorhandene Trübung
- 2) Die Abschwächung (Absorption) des UV-Lichtes durch Wasser

Die im Wasser vorhandene Trübung kann Mikroorganismen vor der direkten Bestrahlung mit UV-Licht schützen. Ein mit dem UV-Verfahren desinfiziertes Wasser darf deshalb keine Trübung aufweisen. Die W13 stellt deshalb die Anforderung, dass die Trübung im Zulauf der UV-Anlage stets <1 NTU (besser <0.5 NTU) sein muss.

Im Wasser gelöste organische Verbindungen (normalerweise natürlichen Ursprungs) können UV-Licht absorbieren. Wässer, welche Licht sehr stark absorbieren, können auch von Auge erkannt werden. Zum Beispiel wirkt gereinigtes Abwasser häufig leicht gelblich. Diese UV-Absorption führt dazu, dass UV-Licht im Wasser schneller abgeschwächt wird und sich damit die Reichweite der Wirksamkeit vermindert. Die UV-Absorption des Wassers wird mit den Parametern SAK (spektraler Absorptionskoeffizient, ohne Trübung) oder SSK (spektraler Schwächungskoeffizient, mit Trübung) quantifiziert.

Da SAK/SSK sich von Wasser zu Wasser stark unterscheiden können, muss grundsätzlich jede UV-Anlagen individuell, unter Berücksichtigung des maximal auftretenden SAK/SSK-Wertes, ausgelegt werden. Aufgrund des beschränkten Zertifizierungsbereichs von UV-Anlagen, sollten Wässer mit SAK/SSK-Werten, welche die Vorgaben der W13 zeitweise übersteigen, nicht ohne weitere Massnahmen (z.B. Verwurf oder vorgeschaltete Aktivkohlefiltration) mit dem UV-Verfahren behandelt werden.

Die Vorgaben der W13 betreffend Eisen, Mangan und Calcitabscheidkapazität betreffen die Bildung potentieller Ablagerungen auf den Quarzschutzrohren. Solche Ablagerungen erhöhen den Wartungsaufwand und können im Extremfall die Desinfektionsleistung beeinträchtigen.

Wie für die chemischen Desinfektionsverfahren kann eine einstufige Aufbereitung mit UV eine einwandfreie Desinfektion nur für Wasser gewährleisten, welches nicht dauernd mit coliformen Keimen belastet ist. Besteht eine dauernde Belastung oder treten zeitweise sehr hohe Keimzahlen auf, ist für die Sicherstellung einer stets korrekten Entkeimung eine mehrstufige Aufbereitung notwendig.

2.3 Anforderungen an die Planung

Für die Planung einer UV-Anlage sollten zumindest folgende Grundlagen vorhanden sein:

- Heutige und zukünftige Wassermenge, welche im Mittel und maximal aufbereitet werden soll
- Rohwasseranalysen für mindestens 1 Jahr (insbesondere SSK/SAK₂₅₄, Trübung, mikrobiologische Qualität)
- Gefahrenabschätzung (Nutzungen in den Schutzzonen, Gefahren im Einzugsgebiet?)

Auf Basis der vorhandenen Grundlagen sind unter anderem folgende wichtigen Fragestellungen zu beantworten:

- Welche Aufbereitungsleistung ist erforderlich?
- Reicht eine einstufige Aufbereitung?
- Wieviel Wasser kann genutzt werden? (relevant falls Verwurf notwendig)

Es empfiehlt sich, das zuständige Kantonale Labor frühzeitig über den geplanten Einsatz einer UV-Anlage zu informieren, damit allfällige Anforderungen von dieser Seite auch in die Auslegung und Planung der Anlage einfließen können.

Bevor eine Umstellung auf UV-Desinfektion umgesetzt wird, stellt sich häufig auch die Frage, ob es sich lohnt, die Wasserefassung langfristig weiter zu betreiben. Wichtige Aspekte sind dabei das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein gesetzeskonformer Schutzzonen sowie alternativer Beschaffungsorte und die allgemeine Wirtschaftlichkeit der Fassung.

2.4 Anforderungen an die Anlage

Damit eine einwandfreie Desinfektion gemäss dem Stand der Technik durchgeführt werden kann, müssen UV-Desinfektionsgeräte, welche im Trinkwasser eingesetzt werden, gemäss W13 folgende Anforderungen erfüllen:

- Zertifiziert nach DVGW W 294 oder ÖNORM M 5873-1/2
- UV-Dosis mindestens 400 J/m² (für max. Durchfluss und min. UV-Durchlässigkeit)
- UV-Sensor
- Lampenüberwachung
- Betriebsstundenzähler

Damit die Qualität des genutzten Wasser sowohl vor als auch nach der UV-Desinfektion untersucht werden kann, müssen entsprechende Probenahmehähne vor und nach der UV-Anlage vorgesehen werden. Der Probenahmehahn vor der UV-Anlage sollte dabei einen Abstand von mindestens 10 Rohrdurchmessern zur UV-Anlage haben, damit die Rohwasseranalyse vom UV-Licht nicht beeinflusst wird. Der Probenahmehahn nach der UV-Anlage sollte sich möglichst nahe bei der UV-Anlage befinden, da die Anforderungen der TBDV (Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen) an behandeltes Wasser sehr hoch sind (<20 KBE/mL).

Ein automatischer Verwurf nach der UV-Anlage ist in folgenden Fällen zwingend vorzusehen:

- Trübung zeitweise > Vorgabe KL (in der Regel >0.5-1.0 NTU)
- Wassermenge zeitweise > Auslegung UV-Reaktor
- SAK zweizeitweise > Auslegung UV-Reaktor

2.5 Anforderungen an den Betrieb

Im Betrieb muss die vom UV-Sensor gemessene Referenzbestrahlungsstärke von der Anlagensteuerung kontinuierlich überwacht werden. Wenn diese Referenzbestrahlungsstärke nicht eingehalten wird, ist die korrekte Desinfektion des Wassers nicht garantiert. Die Referenzbestrahlungsstärke ist deshalb im Normalfall ein „kritischer Kontrollpunkt“ im Qualitätssicherungssystem (siehe auch SVGW W1 und W12). Da dem UV-Sensor damit eine zentrale Bedeutung bekommt, ist es wichtig, dass seine Funktionstüchtigkeit regelmässig mit einem Referenzsensor überprüft wird.

Abbildung 1 zeigt, welche Einflüsse den Anzeigewert des UV-Sensors beeinflussen.

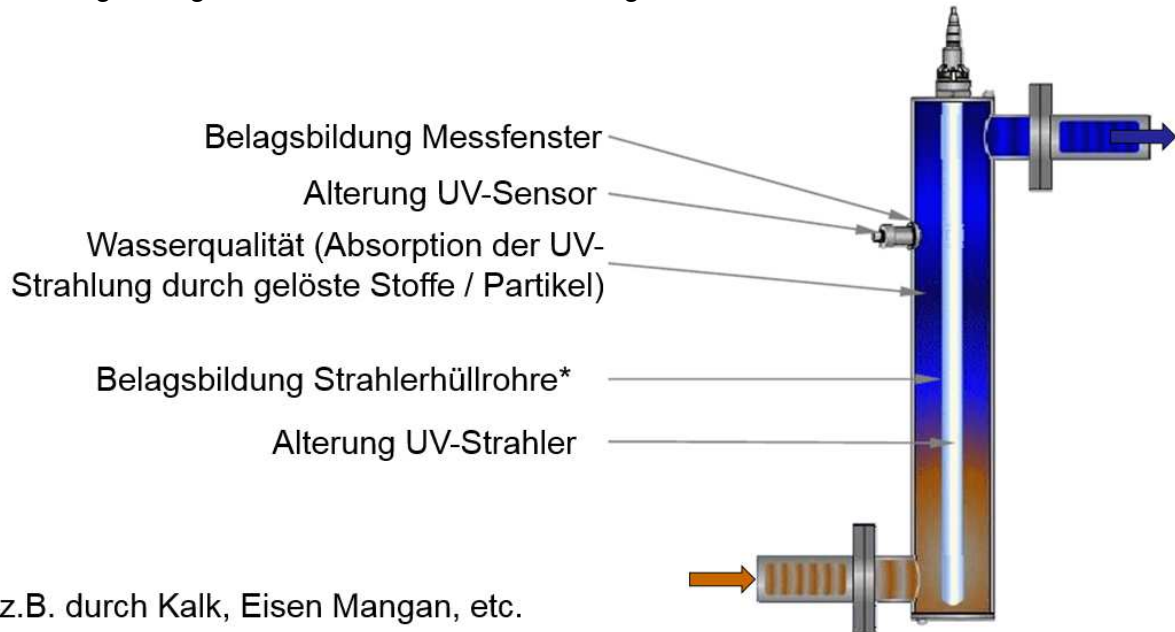


Abbildung 1: Einflüsse auf Anzeigewert UV-Sensor (Quelle: figawa-Arbeitskreis „UV-Wasserbehandlung“ – Technische Mitteilung 01/08)

Je nach Situation sind beim Betrieb einer UV-Anlage weiter folgende Parameter online zu überwachen:

- Trübung
- SAK/SSK
- Durchfluss

Eine online-Überwachung von Trübung und/oder SAK/SSK ist nicht notwendig, wenn die Einhaltung des maximal zulässigen Wertes durch eine konstante Rohwasserqualität gewährleistet ist.

Auf die Überwachung des Durchflusses kann verzichtet werden, wenn das Anlagenlayout gewährleistet, dass der maximal zulässige Durchfluss nicht überschritten wird.

Die garantierte Lebensdauer der Strahler (Niederdruck- oder Mitteldrucktechnik) beträgt gemäss W13 zwischen ca. 5'000 bis 14'000 h. Bei einer UV-Anlage müssen daher regelmässig die Strahler gewechselt werden. Bei Fehlfunktion eines einzigen Strahlers muss das Gerät sofort ausser Betrieb genommen werden. Die UV-Desinfektionsgeräte sollten einmal pro Jahr durch den Lieferanten gewartet werden. Bei dieser Wartung wird normalerweise auch der UV-Sensor überprüft.

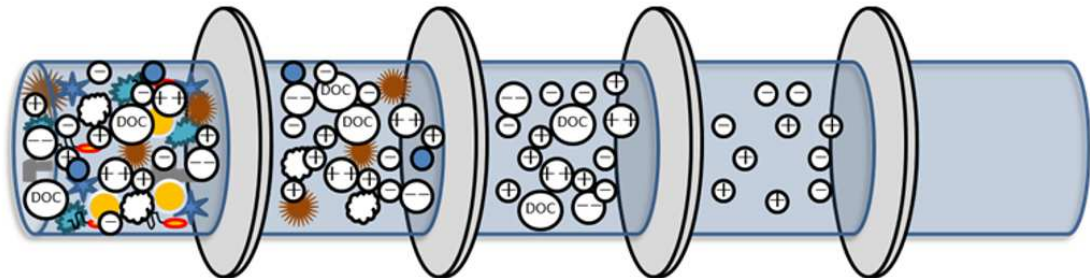
3. Ultrafiltration

3.1 Typen der Membranfiltration

Das Grundprinzip der Membranfiltration besteht darin, dass eine Membran für Wasser durchgängig ist, Wasserinhaltsstoffe in Funktion ihrer Grösse und

Eigenschaften von der Membran jedoch zurückgehalten werden. Es gibt verschiedene Typen der Membranfiltration. Sie unterscheiden sich im Wesentlichen dadurch, welche Stoffe abgetrennt werden.

Abbildung 2 stellt dar, welche Stoffe durch welchen Filtrationstyp zurückgehalten werden.



	Mikrofiltration >0.1 µm	Ultrafiltration 0.1-0.01 µm	Nanofiltration 0.01-0.001 µm	Umkehrosmose <0.001 µm
zurück- gehaltene Wasser- Inhaltsstoffe	★ Zooplankton	☁ Makro- moleküle	DOC grössere organische Moleküle	⊕⊖ einwertige Ionen
	☄ Algen			
	☒ Trübung	☀ Viren	⊕⊖ zwei- wertige Ionen	
	☒ Bakterien	● Kolloide		
● Suspendierte Partikel				

Abbildung 2: Typen der Membranfiltration

Für die Entkeimung ist in der Schweiz vor allem die Ultrafiltration interessant, da sie neben der Trübung sowohl Bakterien und Protozoen als auch Viren gut zurückhält, die Wasserchemie aber ansonsten nicht wesentlich beeinflusst.

3.2 Funktionsweise Ultrafiltration

Für die Ultrafiltration werden im Trinkwasser häufig sogenannte Hohlfasern eingesetzt. Die Membran sieht dabei aus wie ein „Spaghetti“ mit einem oder mehreren Löchern in der Mitte. Für die Herstellung eines Membranmoduls wird eine grosse Anzahl einzelner Fasern in einem Kunststoffzylinder zusammengefasst.

Beim Prinzip „inside-out“ wird das Rohwasser mit Druck in den Kanal/die Kanäle in der Mitte der Hohlfaser gedrückt. Während Wasser und gelöste Stoffe die Membran passieren, werden Feststoffe und Mikroorganismen auf der Membranoberfläche zurückgehalten.

Am Ende des Filtrationszyklus wird eine Rückspülung durchgeführt, indem der Wasserfluss umgekehrt wird. Die abgetrennten Feststoffe werden mit dem Rückspülwasser verworfen. Damit die Membranleistung nicht abnimmt, werden dem Rückspülwasser zum Teil Chemikalien (z.B. Chlor) zugesetzt. Die Rückspülung kann je nach System auch mit Unterstützung von Luft ausgeführt werden.

Mindesten einmal pro Jahr müssen die Membranen in der Regel einer intensiven chemischen Reinigung unterzogen werden.

Die Abbildung 3 zeigt die Funktionsweise der Membranfiltration schematisch auf und zeigt das Beispiel einer kleinen Kompaktanlage.

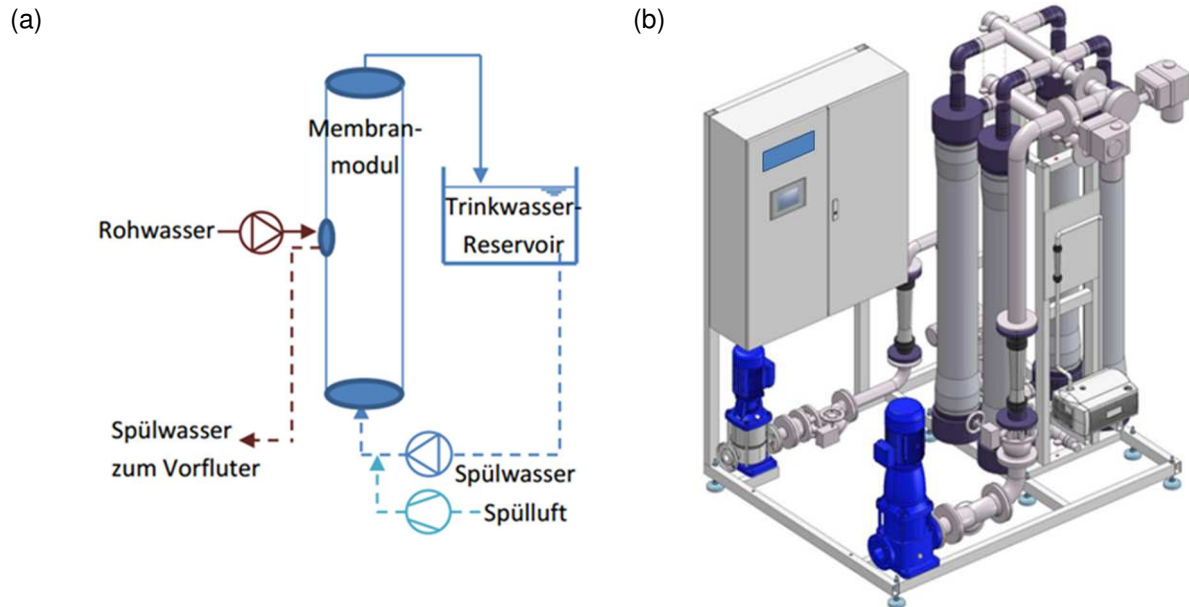


Abbildung 3: (a) Schema Funktionsprinzip UF. (b) Beispiel Ultrafiltrations-Kompaktanlage

Aufgrund der Notwendigkeit von zusätzlichen Pumpen und Armaturen ist eine Ultrafiltration grundsätzlich ein komplexeres System als eine UV-Anlage. Eine Umstellung auf Ultrafiltration kann aus folgenden Gründen auch grössere Anpassungen an Gebäude und Umgebung erfordern:

- neue Schwemmwasserableitung notwendig (eventuell Kanalisationsanschluss)
- bestehender Platz reicht nicht aus
- eventuell Rohwasserbecken, Schwemmwasserbecken nötig

Aus diesen Gründen kostet eine UF-Anlage im Normalfall ein Vielfaches der Installation einer UV-Anlage.

Die SVGW-Richtlinie W12 fasst die Anforderungen an eine Ultrafiltration im Teil „GVP-Vorgaben – Modul H“ kompakt zusammen.

4. Vergleich verschiedener Verfahren zur Entkeimung

4.1 Vergleich Eliminationsleistung

Die Tabelle 5 vergleicht die Eliminationsleistung von Chlor, UV und UF (qualitativ) für verschiedene Mikroorganismen unter typischen Trinkwasserbedingungen. Der Vergleich zeigt, dass Chlor im Vergleich zu UV und UF für die Behandlung von Protozoen (z.B. Kryptosporidien Oozysten und Giardien Zysten) nicht wirksam ist.

Tabelle 5: Vergleich Eliminationsleistung von Chlor, UV und UF für verschiedene Mikroorganismen (Quelle: „Anerkannte Aufbereitungsverfahren für die Trinkwasseraufbereitung“)

Mikroorganismen	Chlor ¹	UV ²	UF
E. coli	>99.99%	>99.99%	gut
Kryptosporidien Oozysten	0%	>99.99%	gut
Giardien Zysten	0%	>99.99%	gut
Rotaviren	>99.99%	>99.99%	gut
Enteroviren	>90%	>99.99%	gut
Adenoviren	>90%	>80%	gut

Randbedingungen:

¹ Chlor (Cl₂): Kontaktzeit = 2 (mgCl₂/L)*min, T =, pH = 7

² UV: UV-Dosis = 400 J/m²

4.2 Vergleich der Verfahren

Die Tabelle 6 vergleicht die Verfahren Chlor, UV und UF in Bezug auf den Einsatz bei der Entkeimung/Desinfektion von Trinkwasser.

Tabelle 6: Vergleich von Chlor, UV und UF beim Einsatz zur Entkeimung/Desinfektion

	Chlor	UV	UF
Wirkung gegen Bakterien	gut	gut	gut
Wirkung gegen Protozoen	gering	gut	gut
Wirkung gegen Viren	mittel bis gut	gut	gut
Robustheit bei stark schwankender Wasserqualität (gelöste Komponenten)	gering	mittel	hoch
Aufbereitung von trübem Wasser (>1.0 FNU) möglich	nein	nein	ja
Depotwirkung (Netzschutz)	ja	nein	nein
Wahrscheinlichkeit Bildung Desinfektionsnebenprodukte	hoch	gering	gering
Umgang/Lagerung von Chemikalien	ja	nein	bei grösseren Anlagen
Investitionskosten	gering ¹	moderat	hoch
Betriebskosten	gering	moderat	vergleichsweise hoch
Platzbedarf	gering ¹	gering	vergleichsweise hoch
Spezielle Risiken	Arbeitssicherheit beim Umgang mit Chlor	Ablagerungen auf Hüllrohren	Verblockung Membran

¹ unter der Voraussetzung, dass kein separates Kontaktbecken benötigt wird

4.3 Schlussfolgerungen

Im Bereich der Wasseraufbereitung ist es grundsätzlich schwierig allgemeingültige Aussagen zu machen, da jedes Wasser etwas anders ist. Auf Basis der Tabelle 6 kann man für die Entkeimung/Desinfektion mit Chlor, UV und UF zumindest die im Folgenden beschriebenen Grundsätze festhalten.

Neben der fehlenden Wirkung in Bezug auf Protozoen ist das System der Chlor-Desinfektion bei den in der Schweiz erlaubten Restchlor-Konzentration im Vergleich zu UV und UF als weniger robust einzustufen. Aufgrund der geringen Konzentrationen, die eingesetzt werden dürfen, können Schwankungen der Wasserqualität (pH, gelöste organische Verbindungen, etc.) einen grossen Effekt auf die Wirksamkeit der Chlordesinfektion haben. Der Einsatz von Chlor für die primäre Entkeimung bringt daher im Vergleich zu UV und UF gewichtige Nachteile mit sich.

Während UV und UF für die primäre Entkeimung vorzuziehen sind, gibt es für den Fall, dass ein Netzschutz benötigt wird, keine Alternativen zum Einsatz von Chlor (oder Chlordioxid). Für Notfälle sollte deshalb die Möglichkeit Chlor einzusetzen auf jeden Fall vorgesehen werden.

Für Wasser, welches nicht ständig mit Mikroorganismen belastet ist und dessen Trübung nur ausnahmsweise über 0.5-1.0 NTU steigt, ist UV im Normalfall die effektivste und günstigste Variante der Entkeimung.

Für Wasser dessen Trübung häufig 0.5-1.0 NTU übersteigt, ist der Einsatz einer UF eine interessante Option. Die Investitionskosten sind hier allerdings deutlich höher als bei einer UV-Anlage.

Soll ein bestehendes Verfahren durch ein anderes ersetzt werden, ist es grundsätzlich notwendig, dass jede Anlage am besten unter Einbezug einer Fachperson individuell betrachtet wird und die jeweilige Wasserqualität sowie die übrigen Rahmenbedingungen ausreichend berücksichtigt werden.

5. Literatur

Vortrag und Ordnerdokumentation wurden im Wesentlichen auf der Basis folgender Dokumente zusammengestellt:

- **BAG (2010):** Anerkannte Aufbereitungsverfahren für Trinkwasser
- **SVGW (2013):** W13 Richtlinie zur UV-Desinfektion in der Wasserversorgung
- **SVGW (2017):** W12 Richtlinie – Leitlinie für eine gute Verfahrenspraxis in Trinkwasserversorgungen