

## Wie beeinflussen Desinfektionsmaßnahmen die Trinkwasserqualität? Teil 2 Desinfektion mit Chlor: Chlorgas – Hypochlorit – Chlordioxid

Manfred Schleyer



### Zum Gesamtprojekt

Ist ein Trinkwasser bakteriologisch belastet, so ist eine Desinfektion angeraten. In einem größeren Projekt gingen wir der Frage nach, inwieweit sich durch verschiedene Desinfektionsmaßnahmen die Eigenschaften des Wassers ändern. In WasserZeichen 50 wurde dieses Projekt in seiner Zielsetzung und dem Gesamtumfang dargestellt. Geschildert wurden die Ergebnisse einer Desinfektion verschiedener Wässer unter verschiedenen Bedingungen durch UV-Behandlung sowie mit dem gasförmigen Ozon.<sup>1</sup>

Für eine breite Beurteilungsgrundlage kamen alle unsere vier Methoden zum Einsatz.<sup>2</sup>

In diesem, zweiten Teil stellen wir die Ergebnisse der Untersuchung des Einflusses einer Desinfektion mit Chlorgas, Chlordioxid bzw. Hypochlorit auf Trinkwasser vor. In einem noch folgenden, dritten Teil sollen die Wirkungen von Nachbehandlungen zur Verbesserung der lebensförderlichen Eigenschaften von Trinkwässern nach Desinfektion mit UV-Bestrahlung bzw. Hypochloritbehandlung gezeigt werden.

### Zielsetzung von Desinfektionsverfahren

Zunächst sollen kurz die Ausführungen zu den untersuchten Desinfektionsverfahren aus dem ersten Teil wiederholt werden.<sup>1</sup>

„Zur Abtötung von Keimen kommen meist physikalische oder chemische Verfahren in Betracht. Die physikalischen Verfahren, wie z. B. eine UV- oder Röntgen-Bestrahlung führen eine hohe Energie zu, welche die Moleküle der Keime

1 Schleyer (2019a): Wie beeinflussen Desinfektionsmaßnahmen die Trinkwasserqualität. Teil 1: Wirkung von Desinfektionsmaßnahmen im Labor und in der Praxis bei konkreten, einzelnen Trinkwässern: Ergebnisse einer UV-Bestrahlung bzw. Ozon-Behandlung. WasserZeichen 50, Herrischried, download unter: [www.stroemungsinstitut.de/wp-content/uploads/2019/08/WZ50\\_Desinfektion1.pdf](http://www.stroemungsinstitut.de/wp-content/uploads/2019/08/WZ50_Desinfektion1.pdf)

Der vollständige Bericht findet sich unter: Schleyer et al. (2019b): Wirkung verschiedener Desinfektionsmaßnahmen auf die Eigenschaften von Trinkwässern – Regeneration der belebenden Wirkung von Trinkwasser nach Desinfektion. Projektbericht, Herrischried – erhältlich postalisch auf Anfrage

2 Chemisch/mikrobiologische – strömungsdynamische – Algen- und wirkungssensorische Untersuchung

so stark anregt, dass diese sich bei Schädigung der Lebensprozesse verändern. Häufig treten Vernetzungen auf, so bei der UV-Bestrahlung, welche im Wasserbereich häufig verwendet wird. In den DNA-Molekülen bilden sich zumeist diese Vernetzungen zwischen zwei Bestandteilen, den Thyminbasen, zu so genannten Thymindimeren. Diese bewirken eine fehlerhafte Vermehrung, die Keime sterben ab. Es tritt hier also eine Verhärtung der Lebensmoleküle auf. Die chemischen Desinfektionen wirken über Anlagerungen an die in den Lebensprozessen tätigen Moleküle. Hier findet oft die Chlorung ihren Einsatz,<sup>3</sup> welche über eine Chloranlagerung die chemischen Prozesse so verändert, dass die Organismen inaktiviert werden. Ein zweiter Weg führt über den Sauerstoff, oft über Sauerstoffradikale, welche so reaktiv sind, dass sie sich ebenfalls an die Moleküle anlagern und die chemischen Stoffwechselreaktionen in den Lebewesen zerstören. Für erstere werden Chlorverbindungen wie Chlorgas ( $\text{Cl}_2$ ) oder Hypochlorit ( $\text{HClO}^-$ ) verwendet (beide wirken über ein aktives Hypochlorit-Molekül), für letztere Ozon ( $\text{O}_3$ ) aber auch Chlordioxid, welches ebenfalls Sauerstoffradikale bildet. Diese Prozesse wirken also stark anregend und schließlich auflösend auf die Lebensprozesse, welche dann zum Erliegen kommen.<sup>4</sup>

Das Lebendige hält sich in seinen Lebensprozessen zwischen Verhärtung, welche in der Erstarrung zum Tode führt und einer zu starken Aktivität, welche über die Auflösung ebenfalls zum Tode gelangt:

Absterben ← Verhärtung ← **Lebensprozesse** → Anregung → Auflösung → Absterben

Natürliche „Lebensgefährdungen“ wie die Radioaktivität oder die UV-Wirkung der Sonne (Sonnenbrand), aber auch manche giftige Chemikalien wirken eher gemäß der linken Seite – Chlorungen oder Sauerstoff (Oxidationen) sowie andere Giftstoffe<sup>5</sup> wirken eher gemäß der rechten Seite.

In der Praxis steht die Sicherheit und Zuverlässigkeit einer Desinfektionsmaßnahme im Vordergrund. Verwendet werden deshalb einerseits häufig **UV-Desinfektionen** als lokale, kurzfristige Inaktivierung. Die Wasserprobe selbst verliert den Einfluss wieder rasch. Ähnliches gilt auch für die Ozonung, eine starke, aber kurzfristige Aktivierung der empfänglichen Moleküle, im Wasser lässt die

<sup>3</sup> also die Zugabe von Chlor oder Chlor-absplattend Substanzen

<sup>4</sup> Von diesen reaktiven Chlorverbindungen ist chemisch das Chloridion zu unterscheiden, welches in allen üblichen Wässern vorkommen kann. Dieses entsteht auch als Endprodukt der oben angeführten Desinfektionsmaßnahmen mit Chlor und Chlor-absplattend Substanzen, wobei eine Desinfektionswirkung dann nicht mehr gegeben ist

<sup>5</sup> z. B. Tetanus-oder Milzbrand-Toxine, Hämolsine

Wirkung ebenfalls rasch nach. Bei der Ozonzugabe steht im Trinkwasserbereich zumeist nicht die Desinfektionswirkung, sondern die Veränderung unerwünschter Inhaltsstoffe mit der Folge einer leichteren Entfernung im Vordergrund. Ist eine zuverlässige, z. T. auch längerfristige Desinfektion gewünscht, wird eher eine Chlorung verwendet. Ihre Wirksamkeit kann neben manchen weiteren Einflüssen über die Konzentration der zugesetzten Chlorsubstanzen moduliert werden. Als Höchstwert hat der Gesetzgeber unter normalen Bedingungen eine Konzentration von 0,3 mg / l festgesetzt. Diese darf bei akuten Gefährdungen auf 0,6 mg / l steigen.“

Soweit unser Zitat aus dem WASSERZEICHEN 50. Nach dem detaillierten Bericht über die Wirkungen von UV- und Ozon-Desinfektion im dort abgedruckten Teil 1 berichten wir im vorliegenden Teil 2 von den Ergebnissen unserer Untersuchungen an verschiedenen, mit Chlorgas, Hypochlorit oder Chlordioxid behandelten Wässern. Hinweise auf die chemischen Eigenschaften finden sich im weiteren Verlauf in den Tabellen 3 – 5.

### *Reaktivität einer Chlor-Desinfektion*

Ähnlich Ozon sind Chlor und Chlor-abspaltende Substanzen nicht stabil, sondern sehr reaktiv, insbesondere bei Anwesenheit von organischen Substanzen, und reagieren unter Chloridbildung. Abb. 1 zeigt die gemessenen Chlorkonzentrationen in den jeweiligen Wässern an Tag 1. Diese entsprachen auch den Chlorkonzentrationen bei den Algenuntersuchungen. Innerhalb von drei Tagen nahm die gemessene Gesamtchlorkonzentration kontinuierlich bis auf etwa 50 % ab. Die Tropfbilduntersuchungen wurden drei sowie vier Tage nach Probennahme durchgeführt, hier war also noch etwa 50 bzw. 40 % der angegebenen Chlormenge vorhanden.

Die wirkungssensorische Untersuchung wurde beginnend ab dem Tag der Probennahme zu wiederholten Zeiten durchgeführt. Hier zeigte sich bei den jeweiligen Untersuchungen nur ein geringer Unterschied in den Ergebnissen, es wurde also kein Abklingen der Wirkungen in Abhängigkeit von der Chlorkonzentration während der Untersuchungen festgestellt (jeweils unbewegt, dunkel und kühl aufbewahrte Proben).

## Proben

### A. Laborproben

Untersucht wurden im Labor behandeltes Stutzhofquellwasser.<sup>6</sup> Für die Laboruntersuchungen wurden hohe Chlorkonzentrationen an der Zulässigkeitsgrenze gemäß Trinkwasserverordnung ausgewählt:

- Ko Referenz** Stutzhofquellwasser (TOC: 0,2 – 0,3 mg / l)<sup>7</sup>
- Hy Hypochlorit:** HClO<sup>-</sup>-behandeltes Quellwasser (Zugabe von 0,63 mg freies Chlor/ l Ca(OCl)<sub>2</sub>,<sup>8</sup>
- Cl Chlorgas:** Cl<sub>2</sub>-behandeltes Quellwasser (Endkonzentration 0,45 mg freies Chlor / l).

Auf die Behandlung mit Chlordioxid (ClO<sub>2</sub>) im Labor musste aus verschiedenen Gründen verzichtet werden.

### B. Trinkwasserproben

Es wurde gechlortes Trinkwasser aus verschiedenen Gemeinden untersucht. Soweit möglich halten die Trinkwasserversorger die Chlorkonzentrationen niedrig. Alle Gemeindewasserproben wiesen eine deutlich niedrigere Konzentration als den zugelassenen Höchstwert auf, der bei 0,3 mg freiem Chlor / l liegt. Leider war es nicht möglich, die entsprechenden Wässer auch ungechlort zu untersuchen.<sup>8</sup>

- Ko Referenz** Stutzhofquellwasser (TOC: 0,2 – 0,3 mg / l)<sup>7</sup>
- Chlorgas-Behandlung:**
  - B-Cl** – Gemeinde B (0,126±0,015 mg freies Chlor / l)<sup>9</sup>
  - C-Cl** – Gemeinde C (0,039±0,01 mg freies Chlor / l)<sup>9</sup>
- Hypochlorit-Behandlung:**
  - F-Hy** – Gemeinde F (0,155±0,003 mg freies Chlor / l)<sup>9</sup>
  - G-Hy** – Gemeinde G (0,12±0,015 mg freies Chlor / l)<sup>9</sup>
- Chlordioxid-Behandlung:**
  - D-Di** – Gemeinde D (behandelt, aber an Nachweisgrenze: 0,011±0,012 mg freies Chlor / l)<sup>9</sup>
  - E-Di** – Gemeinde E (0,018±0,003 mg freies Chlor / l)<sup>9</sup>

<sup>6</sup> im Folgenden auch als Quellwasser bezeichnet

<sup>7</sup> Der TOC-Gehalt, also die Konzentration des gesamten organischen Kohlenstoffs (total organic carbon) wird beim Stutzhofquellwasser weitgehend durch Huminstoffe bestimmt. Diese sind Bestandteil vieler natürlicher Wässer und reagieren ebenfalls mit dem Chlor bei Chlorzugabe

<sup>8</sup> Zu weiteren Hinweisen hierzu siehe die Erläuterungen im 1. Teil, siehe Anmerkung 1

<sup>9</sup> Nachweisgrenze 10 - 15 µg ± 1 µg freies Chlor / l, der Nachweis erfolgte photometrisch mittels DPD (= N, N-Diethyl-1,4-phenyldiamin

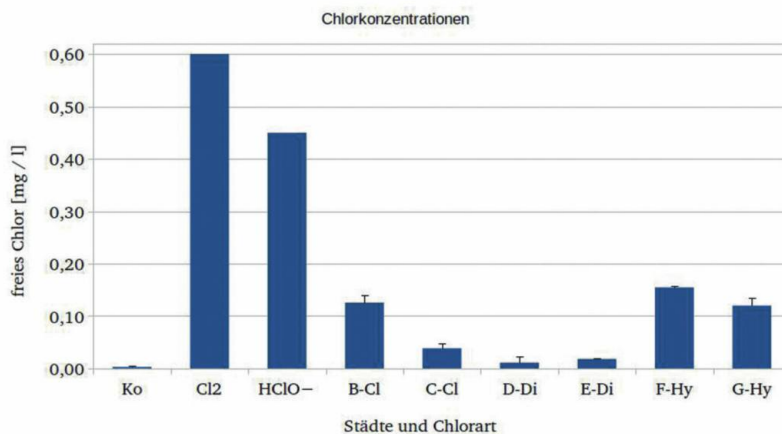
### Untersuchungsergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse unserer Untersuchung an gechlorten Wässern dargestellt.

### Chlorkonzentration

Abbildung 1 zeigt eine Übersicht über die Konzentrationen an freiem Chlor in den Laborproben und den Gemeindewasserproben.

Die Konzentration an Chlor in der Kontrolle war unter der Nachweisgrenze (NWG), die bei  $0,010 - 0,015 \pm 0,001$  mg freies Chlor / l liegt. Für das Wasser der Gemeinde D lag das Ergebnis an der Nachweisgrenze (siehe auch Abb. 1).



**Abbildung 1:** gemessene Konzentration an freiem Chlor in den verschiedenen Wasserproben.

Ko = Kontrolle: Stutzhofquellwasser ohne Chlorzusatz; Cl<sub>2</sub>: Laboruntersuchung, Chlorgas in Quellwasser gelöst; HClO<sub>-</sub>: Laboruntersuchung, Calciumhypochlorit in Quellwasser gelöst; B-Cl, C-Cl: Stadtwasser B-, bzw. C-, desinfiziert mit Chlorgas, D-Di, E-Di: Stadtwasser D-, bzw. E- desinfiziert mit Chlordioxid, F-Hy, G-Hy: Stadtwasser F-, bzw. G- desinfiziert mit Hypochlorit.

### Ergebnisse der Tropfbilduntersuchungen

Repräsentative Strömungsbilder zeigen die Abb. 2 – 8 (s. folgende Seiten).

Eine vergleichende Übersicht der Ergebnisse hinsichtlich Strömungsqualität und Konturierung der Einzelwirbel zeigt Abb. 9.

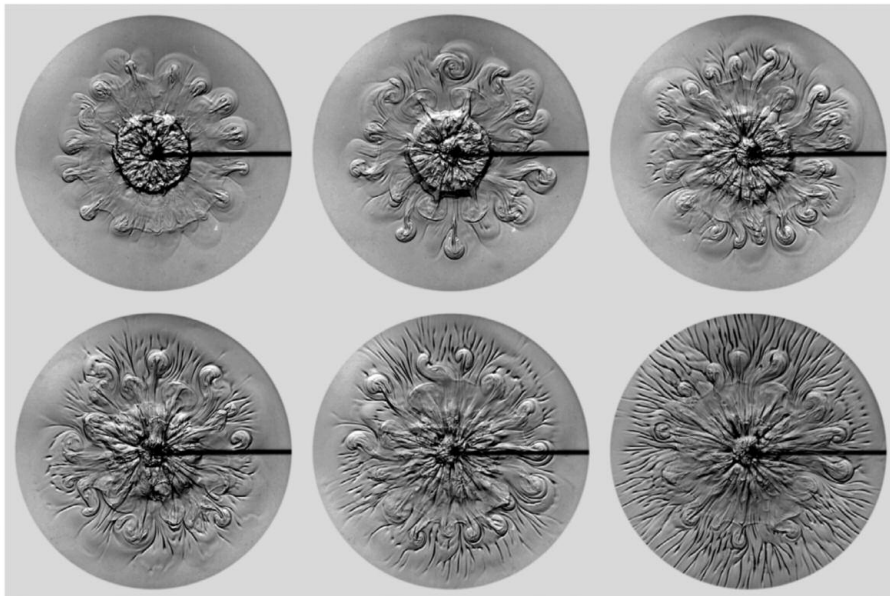
Weitere Charakterisierungen der Wirkungen werden in den Tabellen 2 – 5 ausgeführt.

*Kontrolle*



**Abb. 2:** Strömungsbilder der Kontrolle Ko.  
10., 15., 20., 25., 30. und 40. Strömungsbild

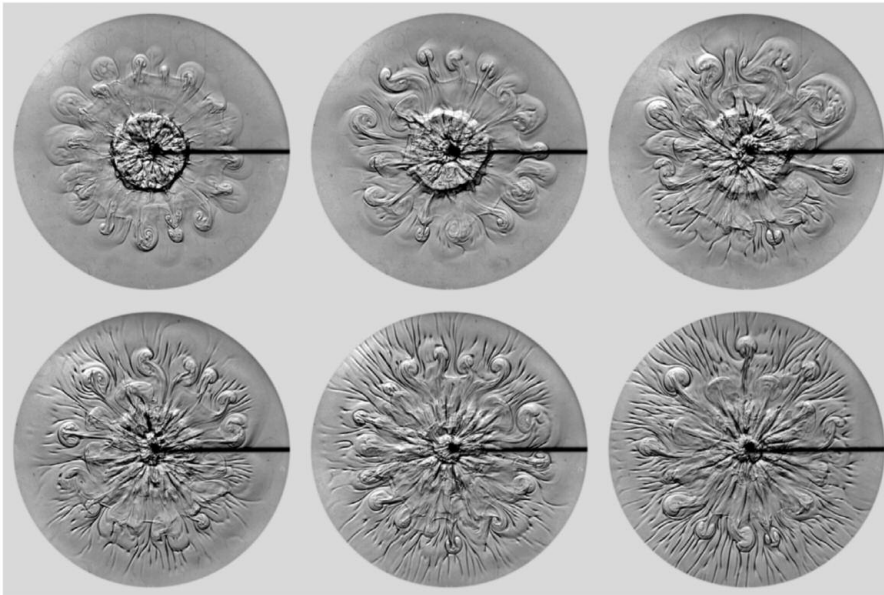
*Chlorgas, Probe Cl*



**Abb. 3:** Laborprobe Cl, Quellwasser mit Zusatz von Chlorgas  
(0,63 mg freies Chlor / l)  
10., 15., 20., 25., 30. und 40. Strömungsbild

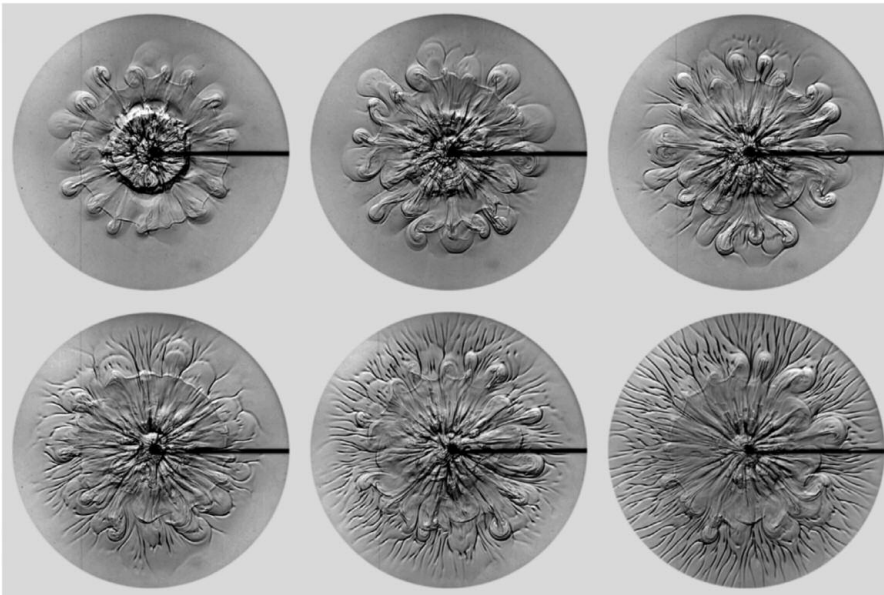


*Chlogas, Probe B-Cl*



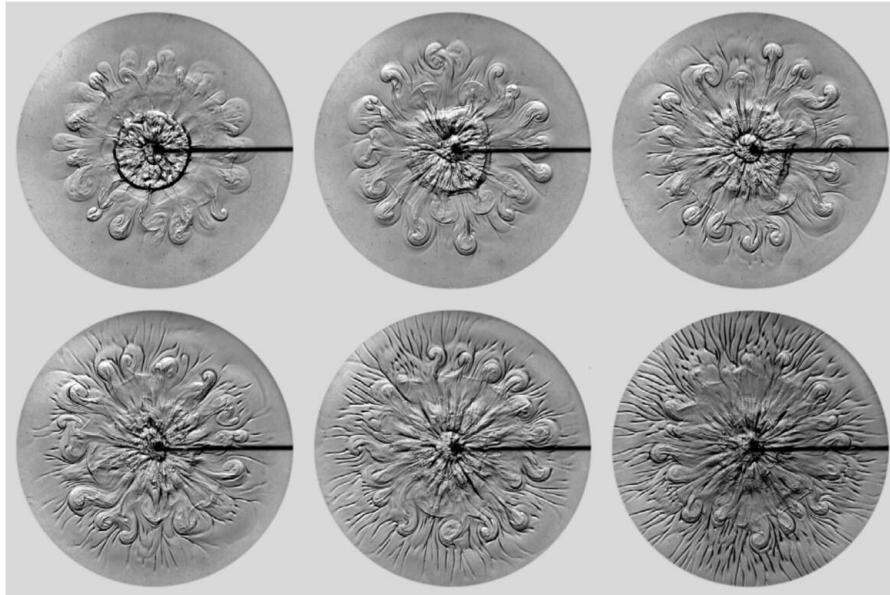
**Abb. 4:** Wasser der Gemeinde B mit Zusatz von Chlogas  
( $0,126 \pm 0,015$  mg freies Chlor / l)  
10., 15., 20., 25., 30. und 40. Strömungsbild

*Chlogas, Probe Hy*



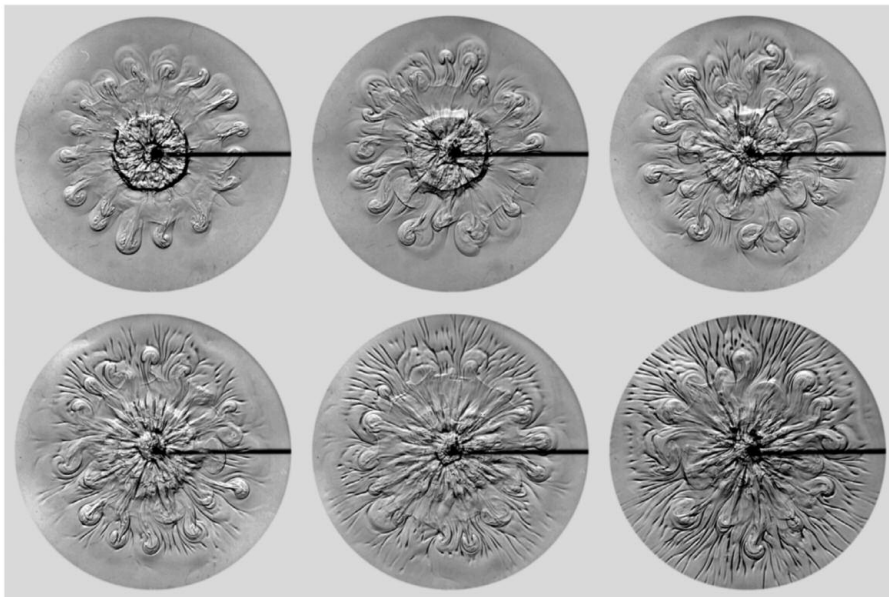
**Abb. 5:** Laborprobe Hy, Quellwasser mit Zusatz von Calciumhypochlorit  
( $0,45$  mg freies Chlor / l)  
10., 15., 20., 25., 30. und 40. Strömungsbild

*Hypochlorit, Probe G-Hy*



**Abb. 6:** Wasser der Gemeinde G mit Zusatz von Hypochlorit  
( $0,12 \pm 0,015$  mg freies Chlor / l)  
10., 15., 20., 25., 30. und 40. Strömungsbild

*Chlordioxid, Probe D-Di*



**Abb. 7:** Wasser der Gemeinde D mit Zusatz von Chlordioxid  
(an der Nachweisgrenze:  $0,011 \pm 0,012$  mg freies Chlor / l)  
10., 15., 20., 25., 30. und 40. Strömungsbild



Chlordioxid, Probe E-Di

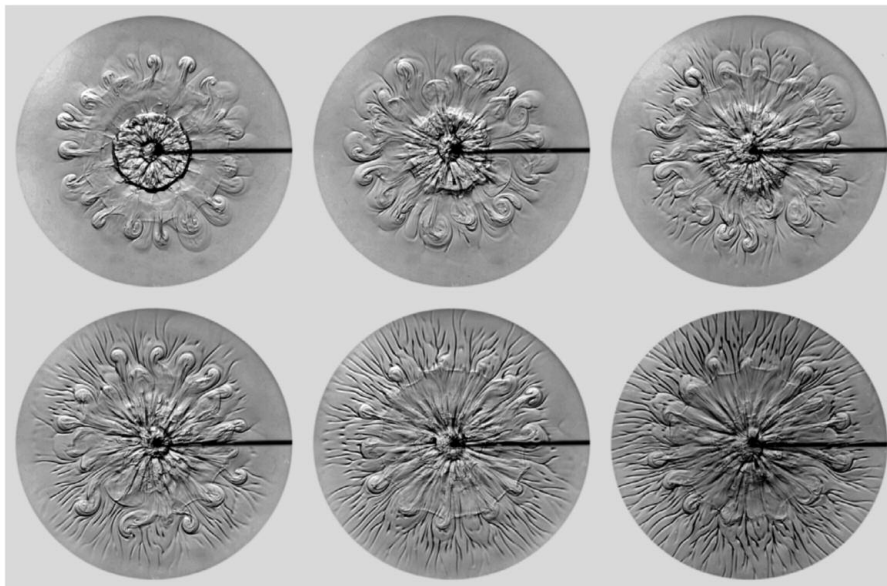


Abb. 8: Wasser der Gemeinde E mit Zusatz von Chlordioxid (0,018±0,003 mg freies Chlor / l) – 10., 15., 20., 25., 30. und 40. Strömungsbild

Übersicht der Ergebnisse der Tropfbildmethode

Abbildung 9 zeigt eine vergleichende Übersicht der Strömungsbewegung der verschiedenen Wasserproben sowie der Konturierung der einzelnen Wirbel in ihren Strömungsbildern.

Merkmale:	Zusammenfassende Ergebnisse der Wasserproben						
Strömungsbewegung	Ko Hy    FHy    GHy    CI CCIBCI EDi    DDi						
	erstarrt	schwach	mäßig bewegt	vielfältig	kräftig bewegt		
Konturierung der Einzelwirbel	Ko Hy    FHy    GHy    BCI CCI    CI DDi EDi						
	aufgelöst	schwach	mittel		ausgeprägt	scharf	
Zusammenfassende Strömungsqualität im Vergleich zum Referenzwasser	Ko Hy    FHy    GHy    CI CCI    BCI    DDi EDi						
	---	--	-	±	+	++	+++

Abb. 9: Übersicht über einige der im Tropfbild untersuchten Eigenschaften

- Ko – Referenzwasser = Kontrolle: Quellwasser ohne Behandlung
- Hy, FHy, GHy – Behandlung mit Calciumhypochlorit
- CI, BCI, CCI – Behandlung durch Cl<sub>2</sub> – Chlorgas
- DDi, EDi – Behandlung durch ClO<sub>2</sub> – Chlordioxid

Eine deutliche Streuung der Ergebnisse zwischen den unterschiedlichen Proben, die mit derselben Chlorungsart behandelt waren, zeigte sich im Tropfbild. Dies deutet an, dass die Ausgangsbeschaffenheit des jeweiligen Wassers einen mindestens ebenso großen Einfluss auf die Strömungsqualität hat wie die jeweilige Chlorungsart.

### **Ergebnisse der Algenuntersuchung:**

Die im Labor behandelten, stark gechlorten Wässer bewirkten einen Wachstumsstillstand bei den Algen unabhängig von den beiden untersuchten Chlorungsarten. Die zugeführte Chlorkonzentration hemmte also das Algenwachstum. Die Hemmung des Wachstums von Mikroorganismen entspricht ja dem Ziel der Chlorung, dies wurde also bei den im Labor verwendeten Chlorkonzentrationen erreicht.

Morphologisch wurde sichtbar, dass die einzelnen Algenzellen ihre Farbe verloren und alle Algen in der ausgebleichten Normalform (Nfb) vorlagen (siehe Tab. 1, Bildbeispiel siehe Abb. 10). Dies lässt auf eine Störung im Energiestoffwechsel schließen, die Algen nutzen dann alle verfügbaren Energiereserven und bauen auch ihr Chlorophyll ab.

Die Untersuchung der Stadtwässer zeigte bei geringeren Chlorgesamtkonzentrationen ein differenzierteres Bild (Tab. 1, Abb. 11).

	$\mu$ nach 24 h	$\mu$ nach 72 h	mg freies Chlor / l bei Algenzusatz
Kontrolle	<b>1,14±0,22</b>	<b>1,03±0,05</b>	<b>0</b>
Chlorgas Cl <sub>2</sub> :			
Laborprobe Cl <sub>2</sub>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,63</b>
B-Cl	<b>0,56±0,04</b>	<b>0,92±0,08</b>	<b>0,126±0,015</b>
C-Cl	<b>0,63±0,05</b>	<b>0,91±0,03</b>	<b>0,039±0,01</b>
Chlordioxid ClO <sub>2</sub> :			
D-Di	<b>0,29±0,19</b>	<b>0,62±0,04</b>	an NWG: <b>0,011±0,012</b>
E-Di	<b>0,24±0,04</b>	<b>0,63±0,06</b>	<b>0,018±0,003</b>
Hypochlorit HClO <sup>-</sup> :			
Laborprobe Hy	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,45</b>
G-Hy	<b>0,18±0,26</b>	<b>0,57±0,05</b>	<b>0,12±0,015</b>

**Tab. 1:** Wachstumsraten  $\mu$  mit Standardabweichung der jeweiligen Algenuntersuchungen und die Chlorkonzentrationen bei Versuchsbeginn

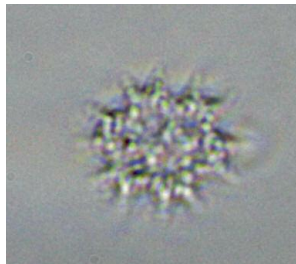


Abb. 10: morphologisches Bild einer ausgebleichten Algenkolonie (=Nfb)

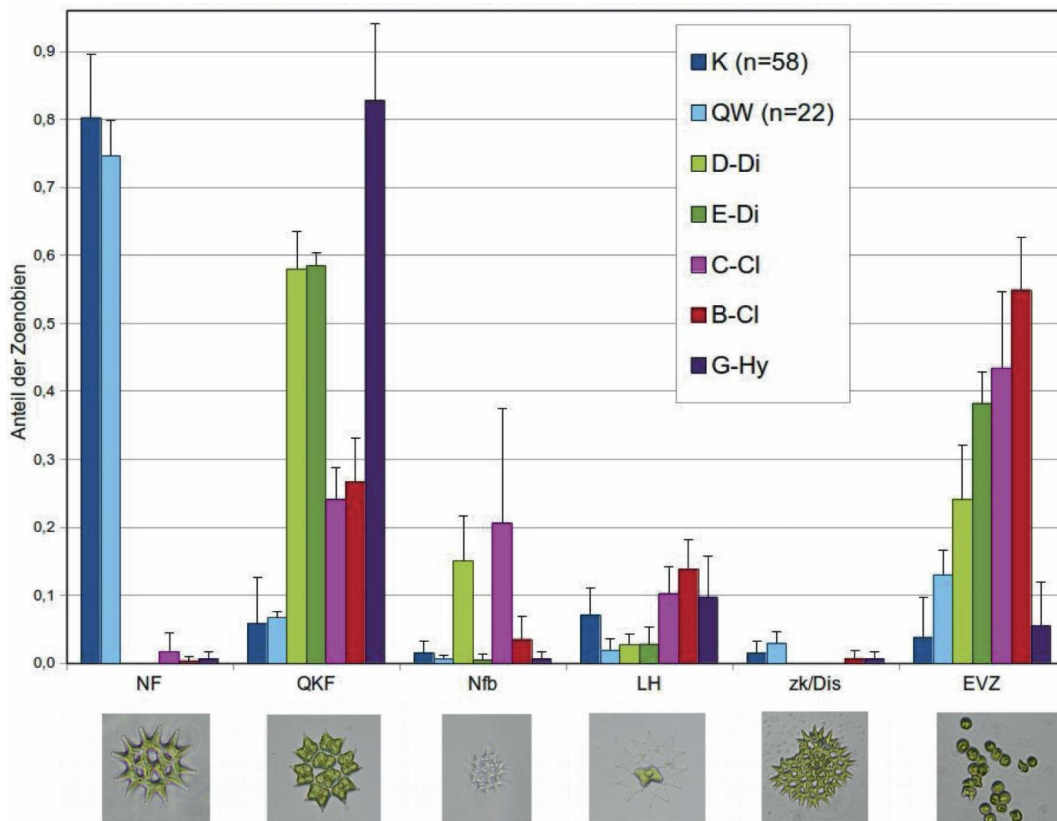


Abb. 11: Durchschnittliche Anteile der morphologischen Gruppen von Pediastrum duplex nach 24h (mit Standardabweichung; wenn nicht anders angegeben: n = 3; Anordnung von links nach rechts mit steigender Chlorgesamtkonzentration der Proben. Die Proben B-Cl und G-Hy wiesen ähnliche Konzentration von 0,12 bzw. 0,13 mg freiem Chlor / l auf), von links nach rechts: gewachsen unter Kontrollbedingungen (Ko); in Quellwasser (QW); und den Stadtwässern D – G (-Di: enthält Chlordioxid; -Cl: enthält Chlorgas; -Hy: enthält Hypochlorit). Anordnung nach den morphologischen Typen: NF – Normalform; QKF – Quellformen; Nfb – ausgebleichte Normalform; LH – leere Zellhülle; zk/Dis – disharmonische Formen; EVZ – einfache Vermehrungsformen.

Untere Bildreihe: Beispiel für den morphologischen Typus

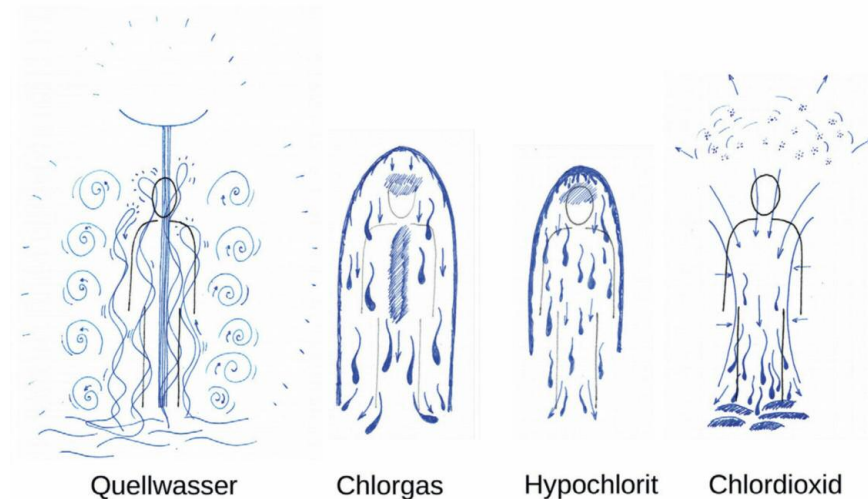
Wie in Tab. 1 verdeutlicht, zeigte sich eine Erholung der Algen nach 72 h im Vergleich zu 24h, ausgedrückt durch eine höhere Wachstumsrate  $\mu$ , welche aber in keinem Fall den Wert der Kontrolle erreichte. Es ist hier von einer Chlorzehrung durch die organischen Substanzen der Algen auszugehen, d. h. einer Verringerung der wirksamen Konzentration an freiem Chlor durch Reaktion mit den Algen.

In den Gemeindewasserproben, deren Chlorkonzentrationen deutlich geringer war als die der Laborwässer (unterhalb einer Konzentration von 0,15 mg freies Chlor / l), war den Algen ein langsames Wachstum möglich. Im Vergleich der Gemeindewässer untereinander zeigte sich bei den mit Chlorgas desinfizierten Wässern eine geringere Wachstumshemmung im Gegensatz zu den mit anderen Chlorungsarten behandelten, und zwar unabhängig von der Konzentration an freiem Chlor.

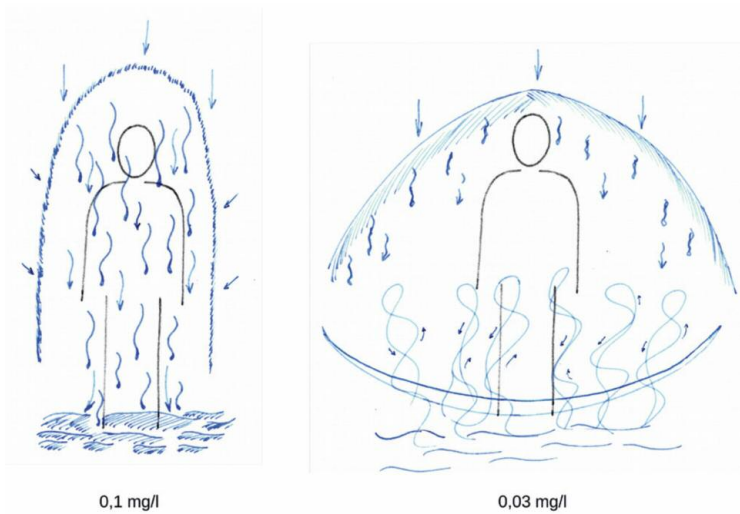
Eine drastische Reduktion der Anteile der Normalformen trat bei allen in Gemeindewässern gewachsenen Algen auf, und dies unabhängig von der Chlorkonzentration und der verwendeten Chlorungsart (Chlorgas, Chlordioxid, Hypochlorit). Stattdessen nahm der Anteil der Quellformen (QKF) und Formen aus dem Spektrum einfacher Vermehrungsformen (EVZ) zu. Der Vermehrungszyklus war schon bei sehr niedrigen Chlorkonzentrationen gestört.

### **Wirkungssensorische Untersuchung**

Die zeichnerische Darstellung der Ergebnisse zeigt Abb. 12. Weitere Beschreibungen zu den Wirkungen werden in den Tabellen 2 – 5 ausgeführt.



**Abb. 12:** Skizze der Wirkungen einer Wasserprobe auf den Verkoster. – Von links nach rechts: Stutzhofquellwasser (QW), QW nach Behandlung mit Chlorgas; QW nach Behandlung mit Calciumhypochlorit; Gemeindewasser nach Behandlung mit Chlordioxid.



**Abb. 13:** Skizze der Wirkungen von zwei Wasserproben mit Chlorgas auf den Verkoster. Links: Gemeindewasser B-Cl mit  $(0,13 \pm 0,015 \text{ mg freies Chlor / l})$ ; rechts Gemeindewasser C-Cl  $(0,039 \pm 0,01 \text{ mg freies Chlor / l})$ ,

**Zusammenfassung der Ergebnisse der drei Untersuchungsmethoden**

Die folgenden Tabellen 2 – 5 geben eine zusammenfassende Darstellung der Untersuchungsergebnisse für das unbehandelte Quellwasser, die mit Chlorgas, die mit Hypochlorit und die mit Chlordioxid behandelten Wässer hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Strömungsqualität, auf das Algenwachstum und den Menschen.

Eigenschaften des Stutzhofquellwassers = Referenz	
Strömungsqualität:	Gut bis vielfältig bewegt, bis Ende kräftig gestaltete Strömungsformen, z. T. etwas nachlassend in diesem Projekt
Wirkung auf Algen:	normal geformte, differenzierte Kolonien
Kräftewirkungen:	Wasser mit wässrig-welligen, wässrig schlängelnden und wirbelnden Elementen. Aufstrebende Bewegung und schalenförmig offene, aufnehmende Geste. Unterstützender, belebender Prozess beim Menschen, freilassend und nachwirkend.

**Tab. 2:** Eigenschaften des unbehandelten Stutzhofquellwassers (Ko)



<b>Chemische Eigenschaften von Chlorgas</b>	
	Gelbgrünes schweres Gas, erstickend – reizend. Ersetzt in organischen Substanzen Wasserstoff- (Leichte / Feuer) durch Chlor-Moleküle, Lebensmoleküle werden starrer, unbeweglicher, schwerer, nicht mehr so reaktiv und sind in die Umgebungsprozesse nicht mehr so eingebunden, z. T. giftig. Starker Geruch und Geschmack. In Wasser gelöst bildet es Hypochlorit-Ionen, Bildung von Trihalogenmethanen bei Reaktion mit org. Substanzen
<b>Eigenschaften des Stutzhofquellwassers bzw. verschiedener Stadtwässer nach Chlorgas-Behandlung - Cl<sub>2</sub></b>	
Strömungsqualität:	Laborprobe: intensive, abwechslungsreiche Bewegungen, durchstrahlte Strömungsbilder mit kürzeren Dendriten, gut bewegt und gestaltet bis zum Versuchsende. Gemeindewasserproben: stark abhängig von der weiteren Wasserbeschaffenheit, mit abnehmender Chlorkonzentration können auch wieder wassertypische Eigenschaften auftreten.
Wirkung auf Algen:	Laborprobe: Hemmung des Energiestoffwechsels. Stadtwasser: Beeinträchtigung des Wachstums auch bei niedrigen Konzentrationen.
Kräftewirkungen:	Sehr umschließende, einengende, verdunkelnde Bewegung, Bewusstsein dämpfend, sehr schwächender Prozess beim Menschen, nicht freilassend, sehr nachwirkend.

**Tab. 3:** Eigenschaften der Wasserproben Cl, B-Cl und C-Cl behandelt mit Chlorgas

Chemische Eigenschaften des Hypochlorit	
	Gelöst als leichte Säure vorliegend, Ersetzt Wasserstoff- (Leichte / Feuer) durch Chlormoleküle, Lebensmoleküle werden starrer, unbeweglicher, schwerer, nicht mehr so reaktiv und sind in die Umgebungsprozesse nicht mehr so eingebunden, z. T. giftig. Bildung von Trihalogenmethanen bei Reaktion mit org. Substanzen, Starker Geruch und Geschmack
Eigenschaften des Stutzhofquellwassers bzw. verschiedener Stadtwässer nach Hypochlorit-Behandlung - $\text{HClO}^-$	
Strömungsqualität:	Laborprobe: ringförmig gebundene Strömungsformen mit geringerer Wirbelbildung und intensiverer Durchstrahlung. Gemeindewasserproben: stark abhängig von der weiteren Wasserbeschaffenheit, mit abnehmender Chlorkonzentration traten auch wieder wassertypische Eigenschaften auf.
Wirkung auf Algen:	Laborprobe: Hemmung des Energiestoffwechsels. Gemeindewasserproben: Beeinträchtigung des Wachstums auch bei niedrigen Konzentrationen.
Kräftwirkungen:	Sehr umschließende, einengende, verdunkelnde und herabdrückende Bewegung, das Bewusstsein dämpfend. Sehr schwächender Prozess beim Menschen, nicht freilassend, sehr nachwirkend.

Tab. 4: Eigenschaften der Wasserproben Hy, F-Hy und G-Hy, behandelt mit Hypochlorit

Chemische Eigenschaften des Chlordioxid - $\text{ClO}_2$	
	Bildung von Sauerstoff-Radikalen, Wirkt vornehmlich oxidierend bei Chlorid- und Chlorit-Bildung, nur geringe Hypochlorit-Bildung, kaum Bildung von Trihalogenmethanen wie bei den übrigen Chlorarten
Eigenschaften des Stutzhofquellwassers bzw. verschiedener Stadtwässer nach Chlordioxid-Behandlung - $\text{ClO}_2$	
Strömungsqualität:	Gut bis vielfältig bewegt, bis Ende kräftig gestaltete Wirbel, teils nachlassend. stark abhängig von der weiteren Wasserbeschaffenheit
Wirkung auf Algen:	Gemeindewasserproben: Geringe Konzentrationen beeinträchtigen Fortpflanzung. Anteile der Quellformen steigen.
Kräftwirkungen:	Wasser mit dunklen herabfließenden, herabdrückenden Bewegungen einerseits und einer Hülle mit hochstrebenden bläschenartigen, funkelnden, leichten Elementen andererseits, keine wassertypischen Eigenschaften auch bei geringen Konzentrationen an freiem Chlor. Nicht unterstützender, sondern schwächender Prozess beim Menschen, nicht freilassend, leicht nachwirkend.

Tab. 5: Eigenschaften der Wasserproben D-Di und E-Di, behandelt mit Chlordioxid

**Zusammenfassendes Fazit (Teil 1 und 2)**

Muss ein Trinkwasser infolge einer bakteriologischen Belastung behandelt werden, sollte geprüft werden, ob andere Maßnahmen möglich sind. Kann die Quelle, die Quellsfassung besser geschützt werden? Sind Reinigungsmaßnahmen möglich? Kann auf unbelastetes Wasser ausgewichen werden?

Desinfektionsmaßnahmen wirken immer qualitativ beeinträchtigend, Bakterien sollen abgetötet werden – dies ist ja der Sinn. Muss ein Wasser desinfiziert werden, ist, wo möglich, eine UV-Behandlung vorzuziehen. Die durch diese Desinfektionsart bewirkten Beeinträchtigungen im Wasser sind anhand unserer bisherigen Ergebnisse zwar deutlich, verlieren sich aber oft im weiteren Transport hin zum Verbraucher. Ein bewegtes Wasser scheint also die UV-Beeinträchtigungen wieder abgeben zu können.

Ein Chlordesinfektion hingegen bewirkt eine deutliche Beeinträchtigung der Wasserqualität mit etwas mildereren Wirkungen bei Chlordioxid.

Anhand von Erfahrungen aus dem Reinigungsprojekt (siehe WASSERZEICHEN 43 bzw. 46) empfehlen wir eine nachfolgende Behandlung mit Aktivkohle, was diese Beeinträchtigung deutlich verringern kann.

**Zusammenfassung der Ergebnisse der verschiedenen Desinfektionsarten:**

Behandlungsart	Chemie	TB	AU	WS	Beurteilung
Quellwasser			NF	Belebend, unterstützend	empfehlenswert
UV-Behandlung	Verhärtung, Erstarrung	Leichte Verhärtung	Stress, beeinträchtigte Fortpflanzung	Hochfrequente-zackige Vibrationen, überhelles, scharfes Licht, Mineralisierung	Verhärtende Beeinträchtigung
Ozon	Anregung, „ins Irdische“ starke Wirkung z. B. mit org. Substanzen	Hier stark verändertes Tropfbild durch Reaktionsprodukte	Anregung, Stress, beeinträchtigte Fortpflanzung	Stechende, zehrende Bewegungen, anregend und zerreißend, Prozess der Lähmung	„Anregender Angriff“
Chlorgas (Cl <sub>2</sub> )	Erstickend – reizendes Gas, sehr reaktiv, inaktiviert Lebensmoleküle	Wirbelige Bewegungen, leicht durchstrahlt	Hemmung des Energiestoffwechsels, beeinträchtigte Fortpflanzung	Verdunkelnde Bewegung, Dumpfheit und Müdigkeit erzeugend, schwächend	Sehr schwächend
Chlor (HClO)	Leichte Säure, sehr reaktiv, inaktiviert Lebensmoleküle	Bewegungen, leicht durchstrahlt je nach weiteren Wassereigenschaften	Hemmung des Energiestoffwechsels, beeinträchtigte Fortpflanzung	Verdunkelnde herabdrückende Bewegung, Dumpfheit und Müdigkeit erzeugend, sehr schwächend	Sehr schwächend
Chlordioxid	Oxidiert, „greift an“	Vielfältig bewegt, bis Ende geformt	beeinträchtigte Fortpflanzung	Dunkle, herabdrückende Bewegungen, dabei auch funkelnde Elemente und Leichte, schwächend	Schwächend

**Tab. 6:** Zusammenfassung der Ergebnisse des Gesamtprojekts, Abk.: TB: Tropfbilduntersuchungen, AU: Algenuntersuchung, WS: wirkungsensorische Untersuchung, NF: Normalform

### *Literatur, 1. und 2. Teil*

- EPA 712-C-006 (2012): Ecological Effects Test Guidelines OCSPP 850.4500: Algal Toxicity, Washington, USA
- European Community Directive 92/69/EEC C.3. Algal Inhibition Test, (O. J. L383A). Liess, C., C. Sutter, P. Stolz, M. Schleyer (2016): Entwicklung von Verfahren zur Qualitätsverbesserung von gefilterten bzw. gereinigten Trinkwässern, Teil 1: Reinigungsverfahren. Projektbericht, Herrischried
- OECD (2011): Organisation for Economic Cooperation and Development: Algal growth inhibition test. OECD Guidelines for Testing of Chemicals 201, adopted 23. 3. 2006, Annex 5 corrected: 28 July 2011. Paris, France.
- Platzer, K., M. Schleyer, M. Simon (2019): Ecotoxicological use of *Pediastrum duplex* versus *Desmodesmus subspicatus* as a test system, in preparation
- Schleyer, M. (2019a): Wie beeinflussen Desinfektionsmaßnahmen die Trinkwasserqualität. Teil 1: Wirkung von Desinfektionsmaßnahmen im Labor und in der Praxis bei konkreten, einzelnen Trinkwässern: Ergebnisse einer UV-Bestrahlung bzw. Ozon-Behandlung. WASSERZEICHEN 50, Herrischried
- Schleyer, M. (2016): Entwicklung von Verfahren zur Qualitätsverbesserung von gefiltertem bzw. gereinigtem Trinkwasser. Kurzfassung des Berichts. WASSERZEICHEN 43, Herrischried
- Schleyer, M. (2016): Trinkwasser behandeln? Beurteilung von Trinkwasserqualität und Einflüsse von Behandlungen, Lebendige Erde 2, Darmstadt.
- Schleyer, M. (2012): Zur Qualität von Leitungswasser; mit besonderem Blick auf Desinfektionsverfahren; WASSERZEICHEN 35, 26-32, Herrischried
- Schleyer, M., E. Wohlleben, M. Jacobi, C. Liess, P. Stolz, C. Sutter (2019b): Wirkung verschiedener Desinfektionsmaßnahmen auf die Eigenschaften von Trinkwässern - Regeneration der belebenden Wirkung von Trinkwasser nach Desinfektion. Projektbericht, Herrischried
- Schleyer, M., C. Sutter (2015): Lässt sich eine UV-Einwirkung auf Wasser wieder entfernen? WASSERZEICHEN 41, Herrischried.
- Schmidt, D. (2010): Lebenskräfte - Bildekräfte: Methodische Grundlagen zur Erforschung des Lebendigen. Einführung in die Bildekräfteforschung 1, Stuttgart.
- Schwenk, W. (2001) (Hrsg.): Schritte zur positiven Charakterisierung des Wassers als Lebensvermittler. Sensibles Wasser 6, Herrischried.
- Schwenk, W. (2004): Gestaltungsprozesse im Wasser als Qualitätsaspekt. Wasserforschung mit der Tropfbildmethode. In: B. Voigt (Hrsg.): Wasser. Schatz der Zukunft. S. 65-69, München.
- Strube, J. (2010): Die Beobachtung des Denkens – Rudolf Steiners „Philosophie der Freiheit“ als Weg zur Bildekräfte-Erkenntnis. Dornach, Schweiz.
- Strube, J., P. Stolz (2004). Lebensmittel vermitteln Leben - Lebensmittelqualität in erweiterter Sicht. Dipperz, KWALIS Qualitätsforschung Fulda GmbH, 3-935769-01-6
- Wilkens, A., M. Jacobi und W. Schwenk (2000): Die Versuchstechnik der Tropfbildmethode – Dokumentation und Anleitung. Sensibles Wasser 5, Herrischried.