

## Wie beeinflussen Desinfektionsmaßnahmen die Trinkwasserqualität?

Teil 1: Wirkung von Desinfektionsmaßnahmen im Labor und in der Praxis bei konkreten, einzelnen Trinkwässern



### Einleitung

Vor gut 100 Jahren entstanden mit den neuen Erkenntnissen und Entwicklungen von Robert Koch, Louis Pasteur, Max von Pettenkofer u. a. die Grundlagen unserer heutigen Hygienevorstellungen.

Unser Verständnis von Krankheitserregern, von Pathogenität wurde neu gefasst und Methoden zum Nachweis und zur Differenzierung der Ursachen entwickelt. Viele Standards zur Trinkwasserhygiene und -aufbereitung wurden in dieser Zeit gebildet, insbesondere nach der großen Cholera-Epidemie in Hamburg 1892 durch Robert Koch.

In einem natürlichen, hygienisch einwandfreien Wasser mit oft geringem Nährstoffgehalt ist die Zahl der auf den üblichen Wachstumsmedien kultivierbaren Bakterien gering. Koch entwickelt das Konzept der Gesamtkeimzahl, welches in einem Trinkwasser bei unter 100 sich vermehrenden Keimen je ml liegen sollte, da er feststellte, dass die Cholera durch ein solches Wasser nicht übertragen wird. Heute wird diese Keimzahl bei einem festgelegten Nährstoffangebot bei 22 sowie 36°C und Anzucht über 48 h bestimmt. Diese Anzahl der hiermit im Wasser nachgewiesenen Keime ist zunächst auch bestimmt durch die Nachweisbedingungen. Dazu dient sie als Indikator im Sinne Kochs. Wird diese Keimzahl von 100 Keimen je ml unterschritten und werden mit weiteren Tests keine Vertreter von coliformen Bakterien und Enterokokken in 100 ml der Wasserprobe nachgewiesen, gelten die hygienischen Anforderungen als erfüllt.<sup>1</sup> Dieses Vorgehen zeigt, dass es gerade auch wichtig ist, Veränderungen im lokalen Wasser zu beachten. Steigen z. B. die Keimzahlen im Laufe verschiedener Untersuchungen an, sollten die weiteren Bedingungen überprüft werden. Wie schon erwähnt, werden weiterhin gezielt einzelne Bakteriengruppen abgefragt, welche ebenfalls zumeist Indikatoren für mögliche Gesundheitsgefährdungen sind: die so genannten Coliformen Bakterien, darunter *E. coli* sowie Entero-

<sup>1</sup> In der Trinkwasserverordnung sind noch weitere Bedingungen gestellt, welche hier nicht weiter ausgeführt werden sollen, siehe hierzu auch: [https://www.gesetze-im-internet.de/trinkwv\\_2001/TrinkwV.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/trinkwv_2001/TrinkwV.pdf) sowie <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/service/begriffe-von-a-z/t/trinkwasser.html>

kokken, meist Darmbewohner von Säugetieren, welche in den Boden gelangt sind. Ihre Anwesenheit legt nahe, dass das Wasser mit ihren Ausscheidungen in Berührung kam, z. B. durch Gülle aus der Landwirtschaft oder durch Tiere und ihre Ausscheidungen im Brunnenbereich. Diese Anwesenheit muss nicht in jedem Fall zur Gesundheitsgefährdung führen. Doch ist diese möglich und sie zeigen weitere mögliche unerwünschte Veränderungen des als Trinkwasser genutzten Wassers an. Darüber hinaus wird bei Verdacht auch die Anwesenheit von weiteren Gruppen geprüft, so der *Pseudomonaden*, *Clostridien* oder *Legionellen*, letztere insbesondere in größeren zusammenhängenden Leitungsnetzen in Gebäudekomplexen. Diese Keime können selbst Krankheiten auslösen. Ihre Anwesenheit zeigt bei Nutzung als Trinkwasser in dieser Hinsicht Probleme an, welche überprüft und behoben werden sollten. Zum Teil ist eine Desinfektion des Wassers nötig. Diese verkürzte Beschreibung kann die Komplexität eines Wasserkörpers verdeutlichen, wo die reinen Zahlen der Untersuchungen Hinweise geben, welche anhand der Erfahrung der Verantwortlichen gedeutet werden sollten.

Ein natürliches Wasser und auch das Leitungswasser sind so nicht keimfrei, wie ja auch unsere Umgebung und die Luft, unsere Haut eine Vielzahl an Keimen enthält.

Die moderne Forschung stellt zunehmend neben diesen genannten Bakterien eine Vielzahl weiterer Keime in den Wässern fest. So kann ein hygienisch einwandfreies Trinkwasser mit geringen Keimgehalten, festgestellt mit den ange-deuteten Methoden<sup>2</sup>, um die 100 000 weiterer Keime je ml enthalten, welche mit diesen Nachweismethoden nicht feststellbar sind, aber mit heutigen verfeinerten Methoden aufzeigbar sind. Die hygienischen Bewertungsgrundlagen erfahren so in den letzten Jahren eine Neuorientierung und Aktualisierung.<sup>3</sup>

Der Blick richtet sich auf gesundheitlich relevante Keime. Sind diese entdeckt oder überschreiten die Keimzahlen festgelegte Vorgaben, ist zumeist eine Desinfektionsmaßnahme nötig. Die Art der Maßnahme muss aus den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten entschieden werden und kann hier an dieser Stelle nicht ausführlich erörtert werden. Dies soll in einer zukünftigen Darstellung nachgeholt werden. Es soll aber verdeutlicht werden, dass der Aspekt der Sicherheit, dass also ein Trinkwasser zuverlässig als hygienisch einwandfrei be-

---

<sup>2</sup> z. B. den vorgeschriebenen Methoden der Trinkwasserverordnung

<sup>3</sup> siehe hierzu auch den Artikel von Eckart Hitsch (2014): Der Biofilm, WZ39, sowie Manfred Schleyer (2013): Neue Anwendungen in der Trinkwasserhygiene, WZ38, beides zum download unter: [stroemungsinstitut.de/aktuelle-veroeffentlichungen](http://stroemungsinstitut.de/aktuelle-veroeffentlichungen)

trachtet werden kann, ein sehr wichtiges Kriterium darstellt, welches insbesondere auch für empfindliche oder gesundheitlich beeinträchtigte Verbraucher sichergestellt werden muss. Hier soll ausschließlich eine erste Beurteilung der Frage versucht werden, inwieweit Desinfektionsmaßnahmen die über die reine hygienisch-chemische Betrachtung hinausgehende Wasserqualität im Vergleich zu unbehandeltem, aber hygienisch einwandfreiem Trinkwasser verändern oder gar vermindern. Der Verbraucher ist dann selbst angehalten, entsprechend der vor Ort zur Verfügung stehenden Möglichkeiten, die für ihn sachgerechte und gewünschte Lösung zu finden.<sup>4</sup>

Vorausschickend muss vielleicht daraufhin gewiesen werden, dass Desinfektionsmaßnahmen die Abtötung oder zumindest Inaktivierung von Lebensprozessen zum Ziel haben müssen. Der Eingriff soll also eine starke Wirkung auf das Lebendige und seine Prozesse ausüben! Es muss sich die Frage stellen, ob hierbei nicht auch der später das Wasser trinkende Mensch betroffen sein kann. Je nach Wasserbeschaffenheit (z. B. Trübung) oder Stabilität des Wassers (also Veränderlichkeit im Jahreslauf auch in hygienischer Hinsicht) sind je nach Bedingungen weitere begleitende Behandlungen erforderlich, um das gewünschte Ziel zu erreichen. Diese können innerhalb des hier vorgestellten Projekts mit seinen Ergebnissen nur begrenzt in eine Beurteilung einfließen.

### ***Anlass des Untersuchungsprojektes und Durchführung***

Ausgangspunkt zur Entwicklung des Projekts waren wiederkehrende Untersuchungsergebnisse, dass insbesondere gechlorte Trinkwässer sich in unseren Methoden als von deutlich verminderter Qualität darstellten. Da diese Wässer zum Teil auch weitere Beeinträchtigungen aufweisen, z. B. landwirtschaftliche Belastungen, stellte sich der Wunsch, nur gezielt die Wirkung der Desinfektion selbst zu untersuchen. Zur möglichst breiten Beurteilung sollten wieder unsere bewährten Untersuchungsmethoden Anwendung finden:

*Zur Frage einer Keimbelastung:* Mikrobiologische Untersuchung,

*Zur eigentlichen Wasserbeschaffenheit:* Untersuchung der Strömungsdynamik anhand der Tropfbildmethode,

*Zur Wirkung auf Organismen:* Wachstums- und Vitalitätsuntersuchungen an Süßwasseralgen,

*Zur Wirkung auf den Menschen:* Wirkungssensorische Untersuchung.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> siehe auch den zweiten Teil der Ausführungen für weitergehende Empfehlungen

<sup>5</sup> Innerhalb des Projekts wurde ebenfalls eine Untersuchung der Proben mittels Fluoreszenz-Anregungs-Spektroskopie durchgeführt, deren Ergebnisse hier nicht ausgeführt sind. Siehe hierzu den ausführlichen Untersuchungsbericht (Schleyer et al. (2019))

Die Untersuchungsmethoden sollen hier nur kurz beschrieben werden. Eine ausführliche Darstellung findet sich auf unserer Website<sup>6</sup> und im Projektbericht<sup>7</sup> zu den hier beschriebenen Untersuchungen.

### *Mikrobiologische Untersuchung*

Mit den in der Trinkwasserverordnung aufgeführten Verfahren wurde die Zahl der sich auf festgelegten Nährmedien vermehrenden Bakterien bestimmt. Diese stellen normalerweise nur einen kleinen Teil der sich in einer Wasserprobe befindlichen Keime dar.

### *Strömungsdynamik: Tropfbildmethode*

Natürlich reines Grund- und Quellwasser vollzieht vielfältige innere Bewegungen mit vielgestaltigen Formen. Dies kann durch die Tropfbildmethode sichtbar gemacht werden. Anhand der Entwicklung, Ausgestaltung und Anordnung der Strömungsformen einer Wasserprobe kann im Tropfbild abgelesen werden, wieweit dies Wasser einem natürlich reinen, unverdorbenen Grundwasser vergleichbar ist.<sup>8</sup> Ebenso kann die Tropfbildmethode zeigen, ob sich das Strömungsverhalten eines beeinträchtigten Wassers nach einer Behandlung wieder demjenigen von reinem, natürlichem Quellwasser annähert.

### *Algenuntersuchungen*

Algen werden heute in der Toxikologie und zum Teil auch in der Trinkwasserversorgung als Indikatoren für die Wasserqualität verwendet.<sup>9</sup> Mithilfe dieser Standardmethode unter Hinzunahme der morphologischen Eigenschaften (Ausbildung der Zellformen) zeigen die verwendeten Algen ein Gesamtbild der Wirkung einer Wasserprobe, wodurch auch schwache Beeinflussungen der Wasserqualität aufgezeigt werden können.<sup>10</sup>

### *Wirkungssensorische Untersuchung*

Die hier verwendete wirkungssensorische Untersuchung beschreibt alle bei einer Untersuchung der Wässer auftretenden Wahrnehmungen des Probanden. Die im Vergleich vorher – nachher zusätzlich oder abweichend auftretenden Wahrnehmungen werden notiert und durch wiederholte Durchführungen im

---

6 <http://stroemungsinstitut.de/untersuchungsmethoden>, für die Fluoreszenz-Anregungs-Spektroskopie siehe Strube, Stolz (2004).

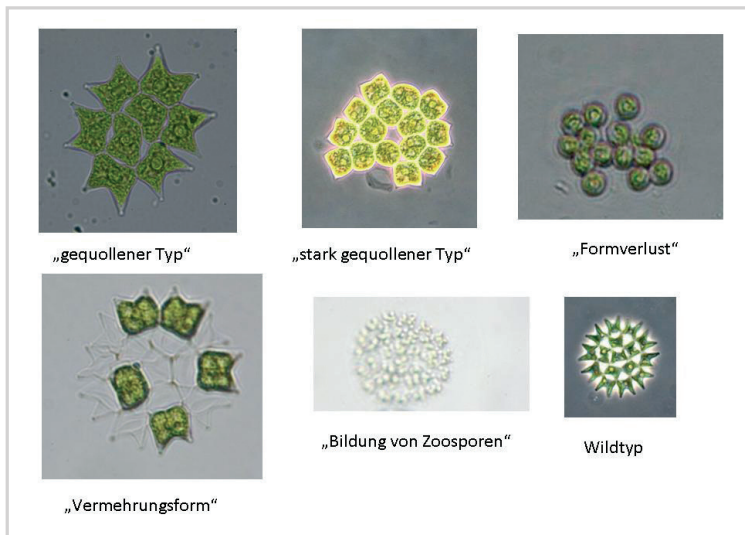
7 Schleyer *et al.* (2019)

8 Wilkens *et al.* (2000), Schwenk (2004), Schwenk (2001)

9 EC Dir. 92 / 69 EEC, EPA (2012), OECD (2011)

10 siehe hierzu: Platzer *et al.* (2019): Ecotoxicological use of *Pediastrum duplex* versus *Desmodesmus subspicatus* as a test system, in preparation

zunächst verblindeten oder teilverblindeten Versuch verifiziert.<sup>11</sup> Die Wahrnehmungen werden vorurteilslos und objektiv aufgenommen, zunächst rein beschreibend und ohne Wertung.<sup>12</sup>



**Abb. 1:** Beispiele Veränderungen der Zellform der verwendeten Algenart *Pediastrum duplex*

### Zielsetzung

Das Projekt gliederte sich in zwei große Teile:

1. Wirkung von Desinfektionsmaßnahmen im Labor und in der Praxis bei konkreten, einzelnen Trinkwässern auf deren qualitative Eigenschaften;
2. Maßnahmen zur Verbesserung der qualitativen Eigenschaften von desinfizierten Trinkwässern, da immer wieder Qualitätsbeeinträchtigungen in desinfizierten Wässern festgestellt wurden.

Hier soll zunächst über die Ergebnisse des ersten Teils berichtet werden. Innerhalb der Möglichkeiten und Finanzierbarkeit solcher Projekte für das Institut für Strömungswissenschaften wurden zum Teil 1 zwei Kernfragen gestellt:

1. Wie ist die Wirkung von üblichen ausgewählten Desinfektionsmaßnahmen im Labor unter kontrollierten Bedingungen? Hierbei sollten Wässer vor und nach der Desinfektion untersucht werden.<sup>13</sup>
2. Wie stellt sich die Wirkung von üblicherweise verwendeten Desinfektionsmaßnahmen in verschiedenen Wässern von Trinkwasserversorgern dar? Wie-

11 Unverblindet: Der Proband weiß, welche Proben er untersucht. Teilverblindet: Der Proband weiß, welche Proben er untersucht, kennt aber nicht die genaue Zuordnung z.B. von Kontrollen und Proben. Verblindet: Der Proband weiß nicht, welche Proben er untersucht

12 Eine ausführliche Darstellung dieser Methode findet sich in: D. Schmidt (2010), sowie J. Strube (2010)

13 Zur Untersuchung der Desinfektionsverfahren unter Praxisbedingungen hatten sich erfreulicherweise verschiedene Trinkwasserversorger bereit erklärt, ihre Wässer vor und nach einer Desinfektionsmaßnahme zur Verfügung zu stellen.

derum sollten Wässer vor und nach der Desinfektion untersucht werden.

### *Desinfektionsverfahren*

Zur Abtötung von Keimen kommen 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 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 Vernetzungen zwischen zwei Bestandteilen, den Thyminbasen zu so genannten Thyminindimeren. 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>14</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>15</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 eher gemäß der rechten Seite.

In der Praxis steht die Sicherheit und Zuverlässigkeit einer Desinfektionsmaßnahme im Vor-

<sup>14</sup> also die Zugabe von Chlor oder Chlor-ablespaltenden Substanzen

<sup>15</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-ablespaltenden Substanzen, wobei eine Desinfektionswirkung dann zum Erliegen gekommen ist.



dergrund. Verwendet werden deshalb einerseits häufig UV-Desinfektionen als lokale Inaktivierung. Die Wasserprobe selbst verliert den Einfluss wieder rasch. Ähnliches gilt auch für die Ozonung mit einer starken, aber kurzfristigen Aktivierung der empfänglichen Moleküle, welche stark verändert werden, im Wasser lässt die 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 (durch späteren Abbau, Aktivkohlebehandlung und weiteres) 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.

Nach Beginn des Projekts zogen alle angefragten Trinkwasserversorger ohne Angabe von Gründen unvermittelt ihre Zusagen zurück, ihr Wasser untersuchen zu können. Es stellte sich heraus, dass kurz zuvor innerhalb von deutschsprachigen Trinkwasserbetreibern eine interne Diskussion über Desinfektionsmaßnahmen und insbesondere auch die Chlorung stattgefunden hatte. Bei Desinfektionsmaßnahmen entstehen auch durch die Chloranlagerung an organische Substanzen der Lebewesen chlorierte organische Verbindungen, wenn auch in kleinen Mengen. Viele von ihnen stehen im Verdacht, die Entstehung von Krebserkrankungen zu unterstützen. Insbesondere die zulässigen Mengen und die Art der Verabreichung werden immer wieder wissenschaftlich diskutiert. Oft werden deshalb die entstehenden organischen Chlorverbindungen im Wasserwerk durch anschließende Aktivkohlebehandlung wieder entfernt. Diese Diskussion führte vermutlich zu einer Vorsicht unsere Untersuchungen zu unterstützen.

Als Notmaßnahme entschieden wir so, zumindest verschiedene uns schon bekannte durch Chlorung desinfizierte Wässer zu untersuchen, also den Schritt nachher durchzuführen. Die Zahl der untersuchten Wässer wurde erhöht in der Hoffnung hiermit doch zu auswertbaren Ergebnissen gelangen zu können. Die schließlich durchgeführten Untersuchungen waren nun:

### 1. Laboruntersuchungen (Referenz Stutzhofquellwasser (TOC: 0,2 – 0,3 mg / l)<sup>16</sup>:

- UV-behandeltes Quellwasser (Energiedichte: 600 J / m<sup>2</sup>),
- Hypochlorit: HClO<sup>-</sup>-behandeltes Quellwasser (Zugabe von 0,63 mg / l Ca(OCl)<sub>2</sub>,
- Chlorgas: Cl<sub>2</sub>-behandeltes Quellwasser (Endkonzentration 0,45 mg / l).

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

---

<sup>16</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

**2. Trinkwasseruntersuchungen** (Referenz Stutzhofquellwasser):

- UV: Wasser der Stadt A ohne (0-Kontrolle) und Wasser der Stadt A mit UV-Behandlung,
- Chlorgas-Behandlung:    – Stadt B (0,1 mg / l freies Chlor)<sup>17</sup>  
                                  – Stadt C (0,03 mg / l freies Chlor)<sup>14</sup>
- Hypochlorit-Behandlung: – Stadt F (0,13 mg / l freies Chlor)<sup>14</sup>  
                                  – Stadt G (0,10 mg / l freies Chlor)<sup>14</sup>
- Chlordioxid-Behandlung: – Stadt D (behandelt, aber im Wasser an Nachweisgrenze)<sup>14</sup>  
                                  – Stadt E (0,017 mg / l freies Chlor)<sup>14</sup>

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der UV- und Ozon-Behandlung dargestellt werden. In einem zweiten Teil werden die Ergebnisse der verschiedenen Chlordesinfektionsarten und die Zusammenfassung folgen.

**Untersuchungsergebnisse**

Zum Vergleich sind die Eigenschaften des Referenzwassers der institutseigenen Stutzhofquelle in Tab. 1 aufgelistet.

<b>Eigenschaften des Stutzhofquellwassers = Referenz</b>	
Chemisch-mikrobiologische Merkmale:	Mineralstoffarmes, leicht saures Urgesteinswasser, Anwesenheit von Huminsäuren (Gesamtgehalt org. Kohlenstoffverbindungen = TOC von 0,2 – 0,3 mg / l); geringe Gesamtkeimgehalte (0 – 5 / ml)
Strömungsqualität:	Gut bis vielfältig bewegt, bis Ende kräftig gestaltete Strömungsformen, z. T. etwas nachlassend in diesem Projekt Strömungsdynamik: ++ bis leicht +++
Wirkung auf Algen:	normal geformte, differenzierte Kolonien
Kräftwirkungen:	Wasser mit wässrig-welligen, wässrig schlängelnden und wirbelnden Elementen. Aufstrebende Bewegung und schalenförmig offene, aufnehmende Geste. Unterstützender, belebender Prozess beim Menschen, freilassend und nachwirkend.

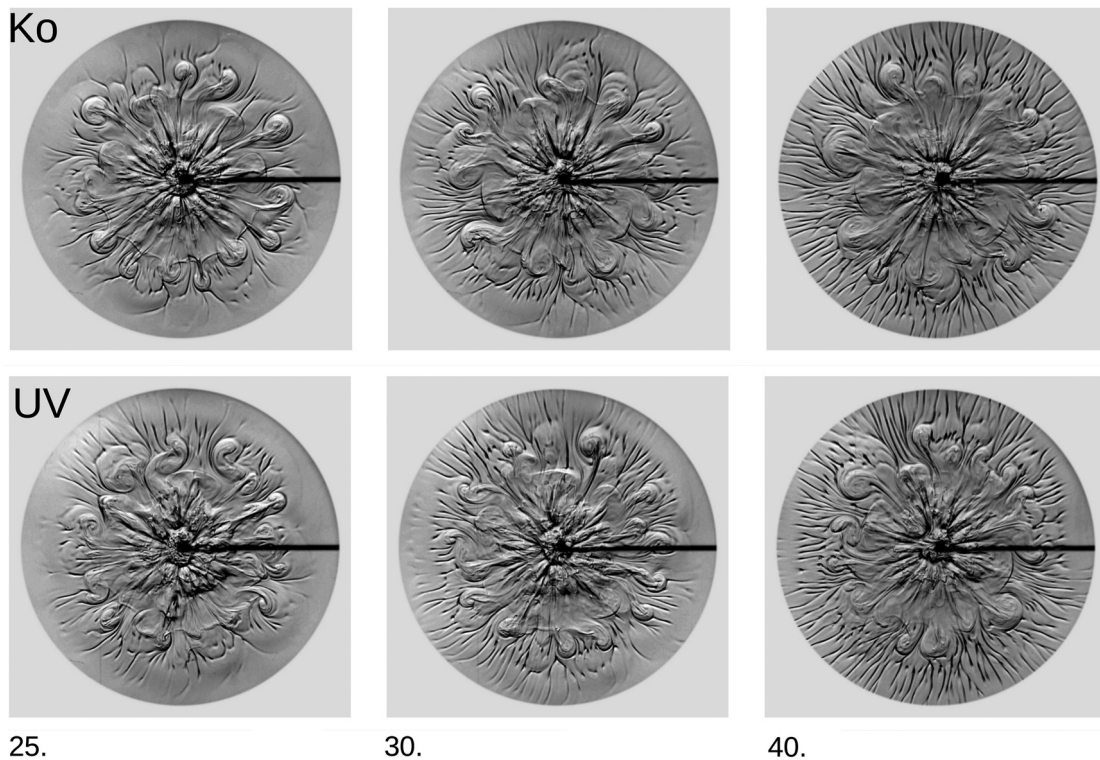
**Tab. 1:** Eigenschaften der Stutzhofquelle bei Untersuchung mit den vier Untersuchungsmethoden

<sup>17</sup> Nachweisgrenze 10 - 15 µg ± 1 µg / l freies Chlor / l, der Nachweis erfolgte photometrisch mittels DPD (= N, N-Diethyl-1,4-phenyldiamin)



### UV-Behandlung

Bei einer UV-Behandlung fließt das Wasser in der Regel durch das Behandlungsgerät, welches eine ausreichend intensive UV-Bestrahlung sicherstellt. In unseren Laboruntersuchungen wurde deshalb das UV-behandelte Wasser mit dem Referenzwasser verglichen, welches das abgestellte Gerät durchfloss (=0-Kontrolle). Infolge der Baueigenschaften des Geräts trat eine leichte Druckerhöhung auf. Das Wasser der Kontrolle zeigte eine leichte Hemmung in der Strömungsdynamik, wahrscheinlich infolge der Kunststoffmaterialien. Im Vergleich hierzu trat nach UV-Behandlung eine leicht anregende Wirkung auf die Strömungen auf. In früheren Untersuchungen wurde auch ein Wasser ohne Materialeinfluss mit einer UV-Lampe bestrahlt mit vergleichbaren Resultaten aber Ergebnissen des unbehandelten Wassers vergleichbar der Kontrolle.<sup>18</sup>

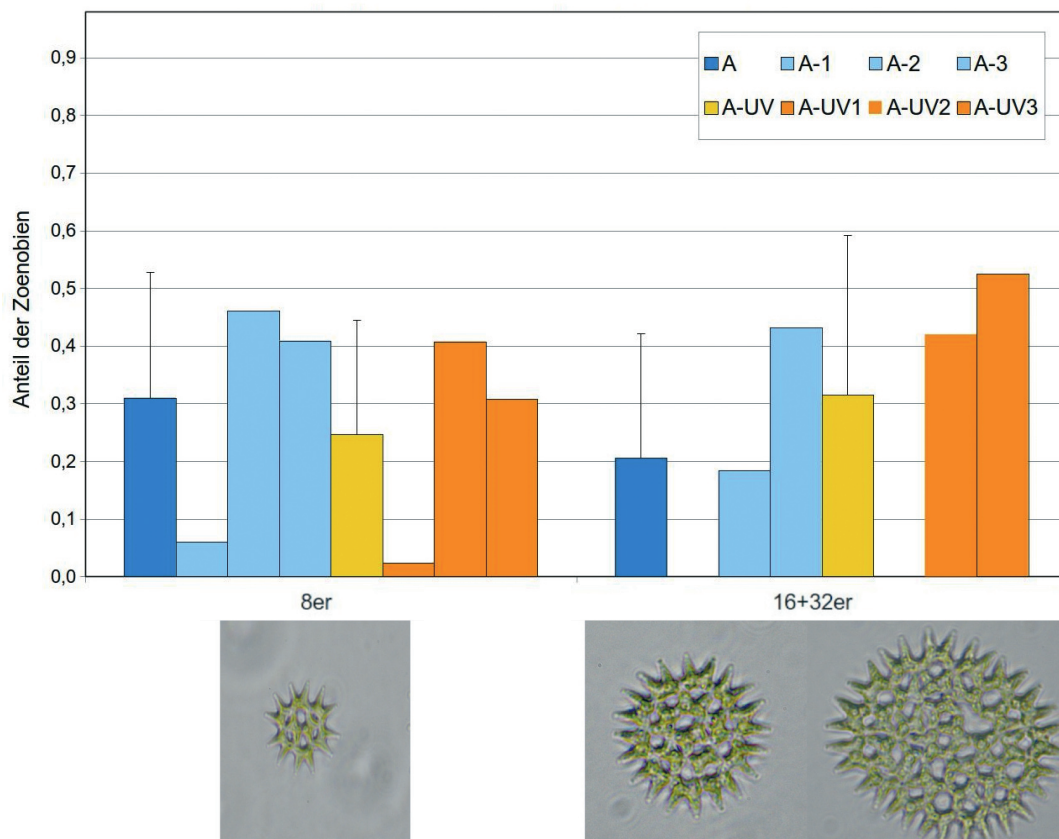


**Abb. 2:** Strömungsbilder des letzten Versuchsdrittels (jeweils oben wie unten von links nach rechts 25., 30. sowie 40. Bild), obere Reihe: Stutzhofquellwasser nach Durchfluss durch das ausgeschaltete Gerät, unten: UV-behandeltes Stutzhofquellwasser

<sup>18</sup> siehe z. B. M. Schleyer (2015): Lässt sich eine UV-Wirkung auf Wasser wieder entfernen? WasserZeichen 41, Herrischried; C. Sutter-Picariello, M. Schleyer (2012): Einfluss einer UV-Behandlung auf verschiedene Wässer; Untersuchungsbericht Herrischried; M. Schleyer (2012): Zur Qualität von Leitungswasser, WasserZeichen 35, Herrischried; zum download des ersten und letzten Artikels siehe [stroemungsinstitut.de/aktuelle-veroeffentlichungen](http://stroemungsinstitut.de/aktuelle-veroeffentlichungen)

Die Ergebnisse des Tropfbildes bestätigten frühere Ergebnisse mit einer leichteren, früheren und stärkeren Dendritenbildung, also Elemente einer Erstarrung der Strömungsdynamik. Hier trat zusätzlich im Vergleich zur Kontrolle, dem infolge durch das Kunststoffgerät fließenden Wasser leicht gehemmten Strömungsgeschehens eine anregende Wirkung auf (Abb. 2).

In der Algenuntersuchung kam es zu einer Zunahme des Anteils von Kolonien mit höherer Zellzahl<sup>19</sup>, hierbei wurde jeweils das Wasser UV-behandelt, nicht die Algen (Abb. 3). Die Ergebnisse deuten auf eine anhaltende Stressantwort hin.<sup>20</sup>

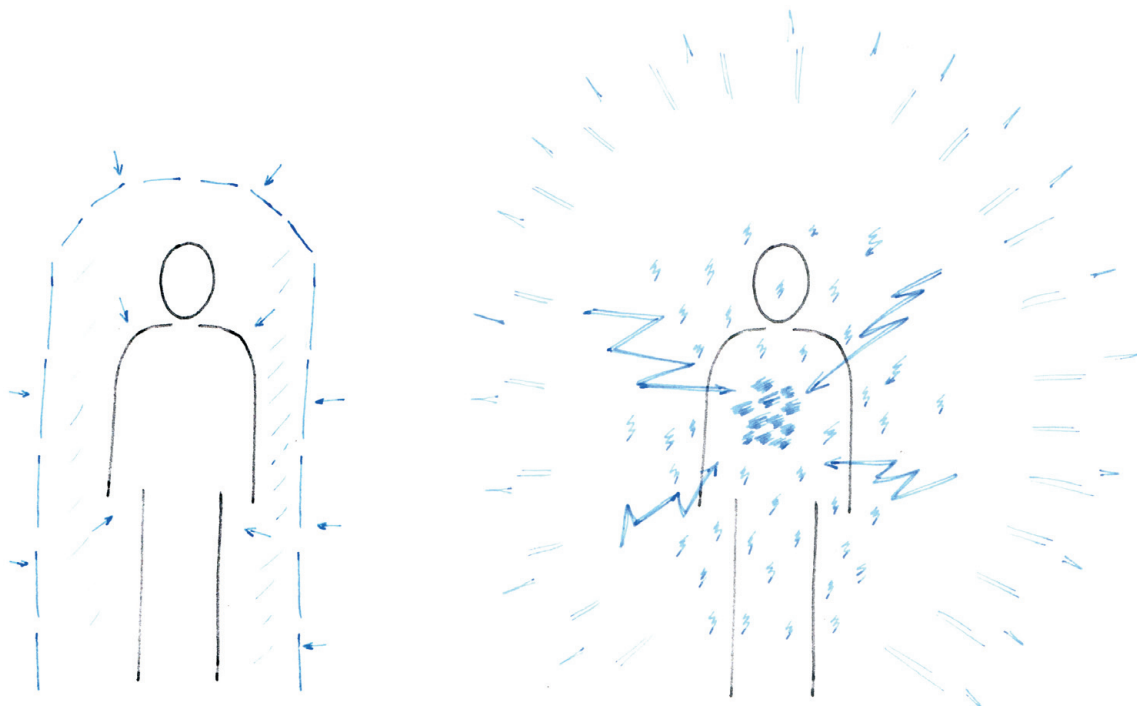


**Abb. 3:** Durchschnittliche Anteile von Kolonien der Alge *Pediastrum duplex* mit 8 Zellen (links) bzw. 16 oder 32 Zellen (rechts). Von links: Kontrolle (A, dunkelblau mit Standardabweichung: Wasserprobe nach Durchfluss durch das Gerät ohne UV-Strahlung), der Einzelergebnisse der Kontrolle (hellblau: ebenfalls ohne UV-Bestrahlung) sowie nach Wachstum im UV-behandeltem Wasser (A-UV: Ergebnis mit Standardabweichung sowie rechts folgend die Einzelergebnisse); untere Bildreihe: Beispiel für den morphologischen Typus

19 Verschiebung von 8- zu 16- bzw. 32-zelligen Kolonien

20 Auffällig war hier wie bei manchen anderen Stressfaktoren, dass die Algen der drei Parallelansätze des Versuches nicht gleichartig reagierten. Grundsätzlich bestehen verschiedene so genannte Fluchtreaktionen gegen Stressoren. Welche der Möglichkeiten gewählt wird, kann variieren, oft reagieren aber die Algen eines Versuchsansatzes gleich. Zu betrachten ist hier die Richtung der Stressantwort, in diesem Fall hin zu mehrzelligen Algenkolonien

Die Wirkungssensorik schließlich ergab Wirkungen von intensivem, kalt grellem Licht in der Körperhülle wie im Kopfbereich, von sehr eindringlichen, hochfrequenten, zackigen Vibrationen, von außen eindringend und langanhaltend Nervosität, Unruhe und einen rastlosen Tätigkeitsdrang auslösend. Im Wasser verschwanden dabei dessen wassergemäße Eigenschaften in der Wahrnehmung, es traten Wirkungen auf, welche als nicht förderlich für die menschliche Konstitution und lebendige Organismen eingestuft werden können (Abb. 4, siehe auch die Diskussion im zweiten Teil). Eine Zusammenfassung der Ergebnisse gibt Tab. 2.



**Abb. 4** Skizze der Wirkungen einer Wasserprobe auf den Verkoster mithilfe der Wirkungssensorik, links: Stutzhofquellwasser nach Durchfluss durch das ausgeschaltete Gerät, rechts: Stutzhofquellwasser nach UV-Behandlung

Ergänzend sollte bemerkt werden, dass Materialeffekte durch das Bestrahlungsgerät bei großtechnischen Anlagen in der Regel nicht von uns gefunden werden, dies aber bei Geräten für den Hausgebrauch oft der Fall ist. Hier wäre auf die Vermeidung von Kunststoffmaterialien zu dringen.

Diese Laborergebnisse entsprechen denen, welche wir bei UV-behandelten

Eigenschaften des Stutzhofquellwassers nach UV-Behandlung	
Chemisch-mikrobiologische Merkmale:	Energiereiche Strahlung führt zu Verhärtungen und Erstarrung im Organischen (Thymin-Dimere / Proteine) bei Einwirkung auf org. Substanzen. Im natürlichen, nährstoffarmen Grund- oder Quellwasser sind in der Regel keine Veränderungen nachweisbar
Strömungsqualität:	ausdrucksvolle Wirbelkränze, etwas variable Ausprägung der Gesten: z. T. sehr bewegt und gut gestaltet, z. T. gehemmte Bewegungen Strömungsdynamik: + bis ++
Wirkung auf Algen:	sehr leichte Stressreaktion (weniger 8er, mehr 32er), später Anregung der Fortpflanzungsprozesse
Kräftwirkungen:	stark eindringende vibrierend-zackige Bewegungen, Mineralisierungsprozess in der Mitte, scharfes, grelles Licht. Nicht unterstützend, nicht freilassend, sehr nachwirkend.

**Tab. 2** Eigenschaften der Stutzhofquelle bei Untersuchung mit den vier Untersuchungsmethoden nach UV-Behandlung

Trinkwässern direkt nach der Behandlung feststellen können. Bewegt sich ein Trinkwasser auf dem Weg zum Verbraucher weiter, werden unserer Erfahrung nach die UV-Wirkungen oft wieder abgegeben. Dies war auch in diesem Projekt bei den UV-behandelten Wässern der Trinkwasserversorger der Fall (nicht gezeigt).

### *Ozon-Behandlung (O<sub>3</sub>)*

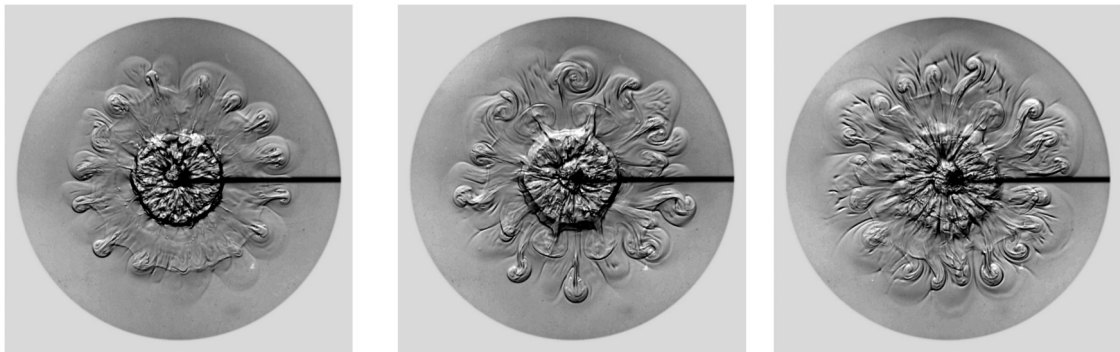
Der Einfluss einer Ozon-Behandlung konnte nur im Laborbetrieb untersucht werden. In Trinkwasserbetrieben ist die Behandlung in der Regel Teil einer Reihe weiterer Maßnahmen, so wird oft eine Aktivkohlebehandlung oder Langsandsandfiltration angeschlossen. Da wir hierzu keine Wasserproben vorher – nachher untersuchen konnten, war diese weitergehende Analyse innerhalb des Projektes nicht möglich.

Das Referenzwasser der Stutzhofquelle wurde durch ein Ozongerät behandelt, welches aus dem Sauerstoff der angesaugten Luft durch Anlegen einer Hochspannung Ozon, also dreiwertigen Sauerstoff herstellt. Dies ist eine vor-

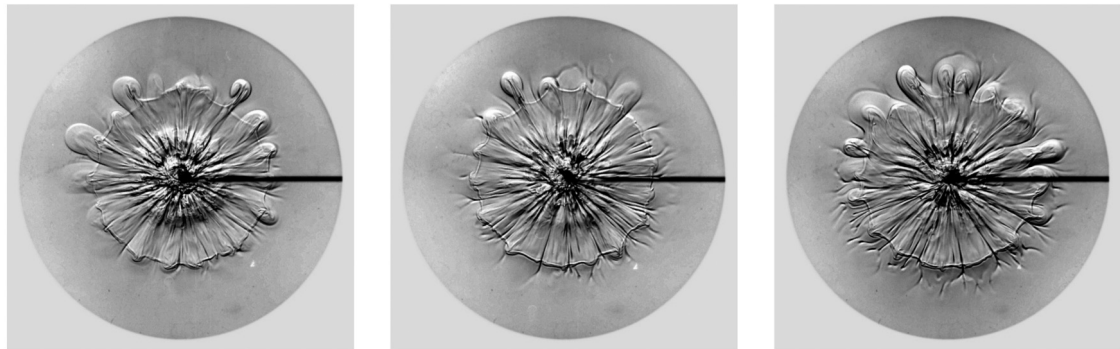
herrschende Herstellungsart, da Ozon wie auch das Chlor selbst nicht stabil ist und rasch zerfällt. Wiederum wurde das Wasser, welches das nicht aktive Gerät durchfloss, mit dem Ozon-behandelten Wasser verglichen ( $O_3$ -Konzentration etwa 0,04 mg / l).

Im Tropfbild zeigte sich eine drastische Hemmung der Strömungsaktivitäten hin zu einfach ringartig verbundenen Strömungen bei Hemmung der Wirbelbildung (Abb. 5). Gleiches tritt auch bei der Anwesenheit von organischen Verunreinigungen auf. Als Ursache ist zunächst deshalb eine Reaktion des Ozon mit vorhandenen Kunststoffmaterialien zu vermuten, welches zu organischen Verunreinigungen führt.

Desinfektion I Kontr. 03 Q32969



Desinfektion I 0, Q32970



10.

15.

20.

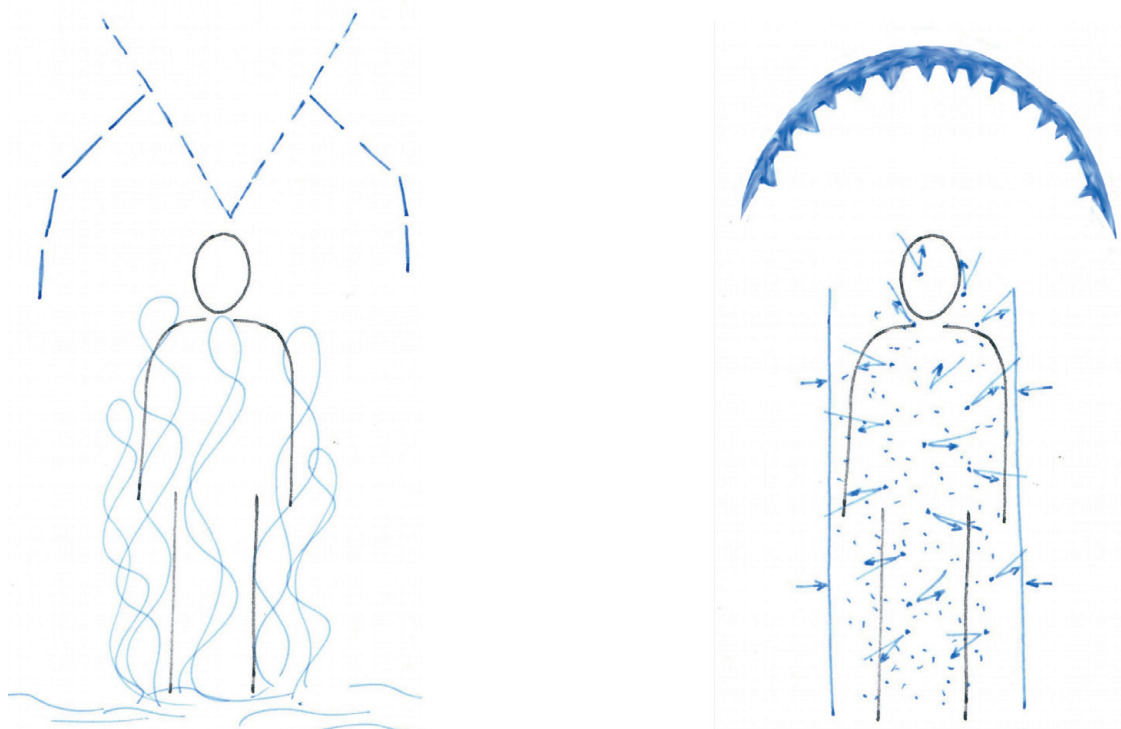
**Abb. 5** Strömungsbilder des zweiten Versuchsdrittels (jeweils oben wie unten 10., 15. sowie 20. Bild), obere Reihe: Stutzhofquellwasser nach Durchfluss durch das ausgeschaltete Gerät, unten: Ozon-behandeltes Stutzhofquellwasser

In der Algenuntersuchung trat bei der Kontrolle (Stutzhofquellwasser, geflossen durch das ausgeschaltete Gerät) eine leichte Zunahme von Vermehrungsstadien bei allerdings hoher Varianz auf. Im Vergleich hierzu traten bei den Algen, gewachsen im Ozon-behandelten Wasser ein geringerer Anteil dieser Formen



auf bei allerdings leichter Erhöhung des Anteils an 32-zelligen Kolonien. Diese Veränderungen nahmen im weiteren Versuchsverlauf (drei Tage) ab (nicht gezeigt). Für eine gesicherte Aussage wäre eine Wiederholung der Versuchsreihe wünschenswert. Diese Ergebnisse der Algenuntersuchung decken sich jedoch mit denen der weiteren Untersuchungsmethoden und sollen deshalb hier erwähnt werden.

Eine Veränderung der Eigenschaften des Stutzhofquellwassers der Kontrollsituation ergab sich auch in der Wirkungssensorik, wobei noch manche wassertypische Eigenschaften erhalten blieben. Zusätzlich traten hier aber Druckwirkungen auf. Die Ozonbehandlung führte einerseits zu sehr intensiven, anregenden, prickelnd herausstechenden Wirkungen. Andererseits traten neuartige, umhüllende, gräuliche Elemente auf, eventuell ebenfalls von Kunststoffnebenprodukten herrührend infolge einer chemischen Reaktion mit dem Ozon (Abb. 6).



**Abb. 6** Skizze der Wirkungen einer Wasserprobe auf den Verkoster mithilfe der Wirkungssensorik. Links: Stutzhofquellwasser nach Durchfluss durch das ausgeschaltete Gerät, rechts: Stutzhofquellwasser nach Ozon-Behandlung



Eigenschaften des Stutzhofquellwassers nach Ozon-Behandlung	
Chemisch-mikrobiologische Merkmale:	bildet hoch reaktive Sauerstoffradikale (O•), führt Substanzen „ins Irdische“, regt Reaktionen an, fördert Abbau und Zugänglichkeit für Lebensprozesse, anregend. Im natürlichen, nährstoffarmen Grund- oder Quellwasser sind in der Regel keine weiteren Veränderungen nachweisbar. Bei Anwesenheit von Huminstoffen werden diese gespalten und kleine sehr vielfältige Reaktionsprodukte gebildet
Strömungsqualität:	durchgehend ringförmig verbunden, Wirbelbildung gehemmt Strömungsdynamik: – – bis – – –
Wirkung auf Algen:	Anregung: mehr 32er, aber auch stärker hin zu Normalformen (NF, Kontrolle mit Stresszeichen), Abklingen der Veränderungen
Kräftwirkungen:	scharfe, prickelnde, heraus-stechende, aufzehrende Bewegungen in gräulicher Umgebung. Anregend aber auch auszehrend, fast zerreißend. Nicht unterstützender, schwächender Prozess beim Menschen, nicht freilassend, sehr nachwirkend.

**Tab. 3** Eigenschaften der Stutzhofquelle bei Untersuchung mit den vier Untersuchungsmethoden nach Ozon-Behandlung

Da Ozon als chemisch sehr reaktive Substanz insbesondere auch mit den organisch vorhandenen Materialien reagiert, ist gleiches für die Laborversuche anzunehmen mit den entsprechenden Veränderungen. Zu bevorzugen wären Herstellungsprozesse ohne Beteiligung von Kunststoffmaterialien, welche aber für den Hausgebrauch schwer erhältlich sind.

Eine Fortsetzung folgt im zweiten Teil.

*Manfred Schleyer*