

Zeitschrift: Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchungen und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène

Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit

Band: 91 (2000)

Heft: 1

Artikel: Neue Konzepte und Methoden für die mikrobiologische Qualitätssicherung des Trinkwassers

Autor: Snozzi, Mario

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-981853>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Neue Konzepte und Methoden für die mikrobiologische Qualitätssicherung des Trinkwassers*

Mario Snozzi, Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG), Dübendorf

Einleitung

In der Schweiz, wie in den meisten Ländern, werden für die mikrobiologische Beurteilung des Trinkwassers drei Parameter benutzt: Zahl der aeroben, mesophilen Keime, *Escherichia coli* und Enterokokken. Die Methoden werden seit bald hundert Jahren verwendet und haben sich seit Robert Koch nicht grundsätzlich geändert. Im Gegensatz dazu sind die chemischen Untersuchungen stark verändert und die Anzahl der untersuchten Parameter laufend erhöht worden. Die vorhandenen Statistiken zeigen aber, dass Zwischenfälle mit mikrobiologischen Verunreinigungen des Trinkwassers viel häufiger sind als Probleme mit chemischen Verschmutzungen (1).

Ein weiteres Merkmal der heute gebräuchlichen mikrobiologischen Beurteilung von Wasser ist, dass die gleiche Methodik angewendet wird, unabhängig davon, woher das Wasser stammt oder wie es zuvor behandelt worden ist. In Flaschen abgefülltes Mineralwasser (mit und ohne Kohlensäure), Trinkwasser vom Hahn und in vielen Fällen auch Badewasser wird nach denselben mikrobiologischen Parametern bewertet.

In letzter Zeit wird allerdings vermehrt Kritik gegen diese «veraltete» Methodik laut. Und es wird ein Wechsel zu modernen, schnelleren und leistungsfähigeren Detektionsmethoden gefordert (2). Diese Forderungen entstanden auf dem Hintergrund von zwei ganz unterschiedlichen Tatsachen:

1. Probleme mit «neuen» Pathogenen: Protozoen und Viren erscheinen immer häufiger als Verursacher von Trinkwasserproblemen. Besonders spektakulär war die Cryptosporidiose-Epidemie in Milwaukee 1993 (3, 4).

* Vortrag gehalten an der 32. Arbeitstagung der Schweiz. Gesellschaft für Lebensmittelhygiene, Zürich, 18. November 1999

2. Neue Nachweismethoden: Molekularbiologische Methoden erlauben heute sehr viel spezifischere Detektionen von pathogenen Organismen in wesentlich kürzerer Zeit. Sie werden deshalb als Ersatz der bisherigen Methoden vorgeschlagen. Es wird auch davon gesprochen, dass aufgrund solcher Messungen die Möglichkeit besteht, die Aufbereitung des Trinkwassers kurzfristig anzupassen.

Konzeptuelle Grundlagen

In einem OECD Workshop in Interlaken wurden 1998 die Möglichkeiten der neuen Nachweismethoden von einem grösseren Expertengremium diskutiert. In den Empfehlungen der Konferenz (5) wird neben der Weiterbearbeitung der neuen Methodik auch die Erarbeitung einer konzeptionellen Basis für die mikrobiologischen Qualitätskontrollen im Bereich Wasser gefordert.

Mikrobiologische Verunreinigungen werden oft in der gleichen Art und Weise wie chemische Kontaminationen behandelt (6, 7). In der Tabelle 1 sind die wesentlichen Unterschiede der beiden Problemkreise aufgeführt. Im Gegensatz zu den chemischen Verschmutzungen, die selten akute Krankheiten auslösen, kommt es bei mikrobiellen Verunreinigungen recht häufig zu akuten Erkrankungen. Im Prinzip

Tabelle 1
Vergleich der biologischen und der chemischen Gefährdungen im Trinkwasser

<i>Chemische Verunreinigungen</i>	<i>Kontamination mit pathogenen Organismen</i>
Chemische Verunreinigungen des Trinkwassers sind meist für chronische Krankheiten verantwortlich. Ihre Konzentration ist meist viel zu gering, um akute Probleme zu verursachen.	Mikrobiologische Verunreinigungen des Trinkwassers werden meist aufgrund der ausgebrochenen Seuchen erkannt.
Langzeitexposition bei geringen Konzentrationen führt zu chronischen Beschwerden, teilweise auch weil eine Bioakkumulation möglich ist.	Die meisten Leute sind in der Lage, eine Immunität gegen kleine Konzentrationen von pathogenen Mikroorganismen zu entwickeln. Diese Immunität kann sogar vor höheren Dosen von Erregern Schutz bieten. Immunkompromitierte Personen reagieren allerdings völlig unterschiedlich.
	Pathogene Bakterien können sich in der Nahrung vermehren oder nach Konsumation im Verdauungstrakt und auf diese Weise kann die Gefahr einer Infektion vergrössert werden, selbst wenn ursprünglich im Trinkwasser die Konzentration nur minimal war.
Kurzzeitige Unzulänglichkeiten bei der Aufbereitung wirken sich in vielen Fällen in Bezug auf die chemische Belastung nur gering aus, da die Konzentrationen im Rohwasser in der Regel schon sehr tief sind.	Kurze Durchbrüche von pathogenen Organismen können bereits zu einer Seuche führen. Sie sind viel gefährlicher, als konstante, aber kleine Konzentrationen von Krankheitserregern.

kann ein einziger pathogener Organismus nach Einnahme mit dem Wasser zu einer Infektion führen. Je nach Organismus ist diese Wahrscheinlichkeit aber sehr unterschiedlich, zum Teil fast verschwindend klein. Eine weitere Besonderheit liegt darin, dass nicht jede Infektion auch zum Ausbruch der Krankheit führt. Zudem kann aufgrund einer vorhergehenden Infektion eine unterschiedlich lang anhaltende Immunität erworben werden. Das heisst im Klartext, dass geringe Konzentrationen von Mikroorganismen nicht wie bei chemischen Substanzen zu chronischen Problemen führen, sondern vielfach sogar einen erhöhten Schutz bewirken können. Das darf allerdings nicht in dem Sinne verstanden werden, dass hier eine «Impfung» über das Trinkwasser empfohlen werde.

In diesem Sinne wird auch klar, weshalb bei den Organismen kurzzeitige Spitzen viel problematischer sind als dauernde, aber sehr kleine Konzentrationen (8). Einige Aufbereitungsverfahren führen aber zu einer «Verklumpung» von Organismen (9), so dass in kleinen Volumina sehr viel höhere Konzentrationen auftreten können, als dies im Mittel der Fall ist. Gerade solche Verschmutzungswellen stellen aber für den Konsumenten eine besonders hohe Gefahr dar.

Eine weitere Eigenschaft vieler pathogener Organismen ist die Tatsache, dass sie sich in Speisen vermehren können. Auch wenn im dafür verwendeten Trinkwasser nur wenige Organismen enthalten sind, kann dies dazu führen, dass die eingenommene Menge bereits so gross ist, dass eine Infektion mit anschliessender Erkrankung wahrscheinlich wird. In diesem Zusammenhang muss auch erwähnt werden, dass infizierte oder erkrankte Personen ihrerseits wieder dazu beitragen, dass das Infektionsrisiko der übrigen Bevölkerung ebenfalls ansteigen kann.

Aufgrund dieser Erkenntnisse ergibt sich, dass die Prüfung der Endqualität des Trinkwassers alleine nie genügen wird. Dies gilt unabhängig von der verwendeten Methodik. Das bisherige Konzept der Untersuchungen muss konsequent weiterentwickelt werden. Das heisst, analog zum Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP)-Konzept in der Lebensmittelindustrie braucht es beim Trinkwasser auch ein fundiertes Konzept, das die wichtigen Schritte und Kontrollen von der Wasserressource bis zum Trinkwasser beim Konsumenten einschliesst.

Strukturen der Qualitätssicherung beim Trinkwasser

In der Tabelle 2 sind die Stationen der Qualitätssicherung zusammengefasst: beginnend mit den notwendigen Informationen über die Qualität und speziell wichtig auch über den Schwankungsbereich der Qualität des Rohwassers. In diesem Zusammenhang müssen auch mögliche Gefahrenquellen und ihre Auswirkung auf die Wasserqualität zusammengestellt werden. Für den mikrobiologischen Bereich heisst die Frage in erster Linie: gibt es Anzeichen für fäkale Verunreinigungen oder besteht die Möglichkeit einer solchen Kontamination? Im gemässigten Klimabereich kann diese Frage auch heute anhand der gängigen Methoden befriedigend beantwortet werden. Die Bestimmung der Anzahl Kolonien von *coliformen*, fäkal *coliformen* Bakterien oder *E.coli* und Enterokokken können zur Erkennung fäkaler

Tabelle 2

Die drei Bereiche der Qualitätssicherung beim Trinkwasser

Wasserressource	Ohne Kenntnis der Ausgangsqualität und ihrer Variabilität lässt sich keine vernünftige Aufbereitung planen.
Prozess Effizienz/Prozess Überwachung	Jeder verwendete Prozess in der Aufbereitung muss hinsichtlich des Desinfektionspotentials charakterisiert werden. Es sind geeignete Kontrollmöglichkeiten zu definieren, die eine einfache Überwachung des Aufbereitungsschrittes erlauben.
Endkontrolle/Qualitätssicherung	Das fertige Produkt soll auch in mikrobiologischer Hinsicht getestet werden. In diese Überwachung muss auch das Verteilnetz mit eingeschlossen werden.

Einflüsse innerhalb der vergangenen Wochen gut gebraucht werden (10). Ihre Konzentration in der Wasserprobe korreliert in vielen Fällen mit dem Ausmass der Verschmutzung.

Je nach Einzugsgebiet können sich zusätzliche Untersuchungen aufdrängen, insbesondere in jenen Fällen, in denen keine Aufbereitung des Wassers geplant ist. In solchen Situationen muss die Frage einer Verschmutzung durch Viren oder Protozoen abgeklärt werden, da die bakteriellen Indikatoren für diese Organismen nur eine beschränkte Aussagekraft aufweisen. Gerade solche Wasserversorgungen, die meist nur einige hundert bis einige tausend Konsumenten bedienen und oft kein qualifiziertes Betreuungspersonal aufweisen, brauchen eine solide Abklärung durch Fachleute.

Wo das Rohwasser eine ungenügende Qualität aufweist oder nicht durch natürliche Barrieren genügend vor Verschmutzung geschützt ist, muss das durch eine Aufbereitung sichergestellt werden. Die meisten Aufbereitungsverfahren haben auch eine mehr oder weniger ausgeprägte Wirkung auf den Gehalt und die Lebensfähigkeit von pathogenen Organismen. Für die Sicherheit des fertigen Trinkwassers ist es nun entscheidend, dass die Desinfektionswirkung je nach Organismus im Sinne einer Typenprüfung bestimmt und charakterisiert wird. Im weiteren müssen geeignete Parameter bestimmt werden, die es erlauben, während des Betriebs das zuverlässige Funktionieren dieser Aufbereitungsstufe zu überwachen. Wo immer möglich sollte es sich dabei um einfache Messungen handeln, die idealerweise online erfasst werden können.

Diese Forderungen sollen anhand der UV-Desinfektion etwas detaillierter erläutert werden. Mit den Prüfvorschriften W294 der DVGW und der ÖNORM M5873 liegen hier bereits Unterlagen vor, die in diesem Sinne abgefasst wurden. Die Vorschriften gelten übrigens seit September 1998 auch für die Schweiz (11).

Bestimmung der Desinfektionswirkung und Überwachung am Beispiel von UV-Anlagen

UV-Strahlen im Wellenlängenbereich von 260 nm induzieren Schäden in der DNS von Organismen. Diese Schäden, falls ihr Umfang genügend gross ist, führen zum Tod des Organismus. Bei ungenügender Dosis kann die Zahl der koloniebildenden Einheiten vorübergehend stark abnehmen, nach einigen Tagen können die Organismen aber infolge von Reparaturmechanismen ihre Vermehrungsfähigkeit wieder zurückgewinnen (12). Die Gefahr besteht darin, dass einige Stunden nach erfolgter Desinfektion eine falsche Erfolgsquote gemessen wird.

Ein weiteres Problem stellt in diesem Zusammenhang die Berechnung der Dosis in einem Durchlaufsystem dar. Aus hygienischer Sicht ist nicht die mittlere Dosis interessant, sondern die minimale Dosis, die garantiert auf jeden Volumenteil bei der Passage durch die Bestrahlungskammer einwirkt. Diese Dosis ist natürlich auch stark von der UV-Absorption des Wassers beeinflusst. Je höher diese ist, desto geringere Intensitäten erhält man in den von den Leuchtkörpern entfernteren Bereichen.

Bei den Problemstellungen wird den erwähnten Vorschriften Rechnung getragen, indem die Desinfektionsleistung anhand von biosimetrischen Messungen im Betriebsbereich der Anlage bestimmt wird (13). Dazu wird das Testwasser mit Sporen von *Bacillus subtilis* versetzt, und es werden unter den Betriebsbedingungen Proben vor der UV-Anlage mit Proben nach erfolgter Desinfektion verglichen. Die Sporen von *B. subtilis* weisen eine relativ hohe Resistenz gegenüber UV auf. Gleichzeitig kann aufgrund der vernachlässigbaren metabolischen Aktivität ein Reparaturmechanismus ausgeschlossen werden. Eine Sporensuspension kann denn auch über Monate aufbewahrt werden, ohne dass sich die Empfindlichkeit gegenüber UV-Strahlung ändert. Aus den biosimetrischen Messungen erhält man eine Dimensionierungskurve (Abb. 1), die als Funktion der UV-Transmission des Wassers den zulässigen Durchfluss angibt, bei welchem mindestens eine Dosis von 400 J/m² auf die Organismen im Wasser einwirkt. Ein Lichtsensor muss in der Bestrahlungskammer so angebracht werden, dass das erfasste Signal eine genügende Empfindlichkeit gegenüber der UV-Absorption des Wassers aufweist. So lange die Messresultate des Sensors diesen Minimalwert nicht unterschreiten und alle Leuchtröhren eingeschaltet sind, ist eine genügende Desinfektion des Wassers gewährleistet.

Wird im turbulenten Durchflussbereich gearbeitet, ist die Dosis umgekehrt proportional zum Durchfluss über einen sehr weiten Bereich. Es hat sich allerdings gezeigt, dass Anlagen mit querangeströmten Lichtquellen in dieser Beziehung einen engeren Betriebsbereich aufweisen als längsangeströmte Anlagen. Letztere Anlagen bieten durch den längeren Weg entlang der Leuchtröhren tendenziell auch eine höhere Sicherheit.

Mit Hilfe von Laborbestrahlungsanlagen kann die UV-Empfindlichkeit der *B. subtilis*-Sporen mit der anderer Organismen verglichen werden (14). Aus solchen Untersuchungen und der Kenntnis der Variation der UV-Transmission und der

Auslegungskennlinie

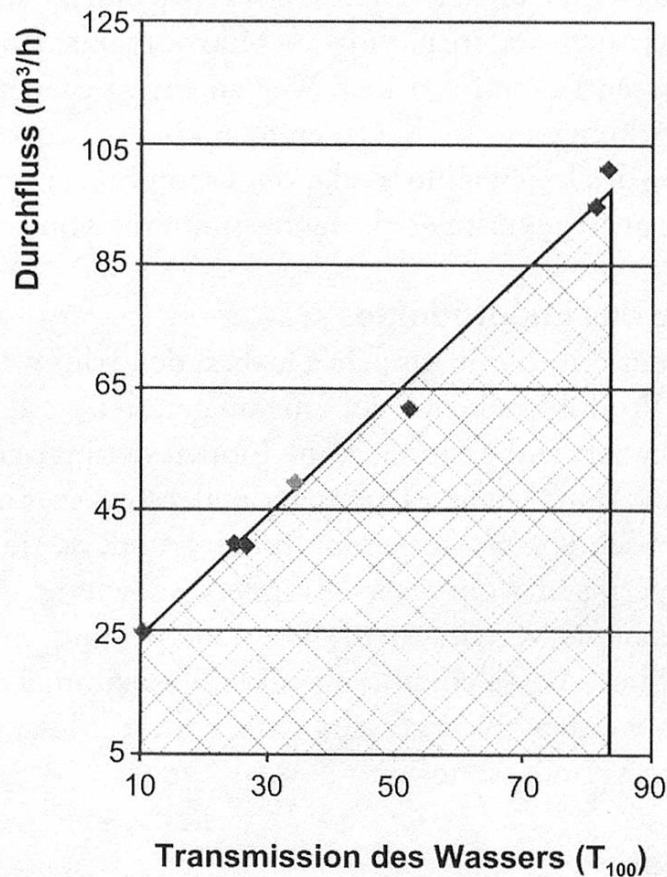


Abbildung 1 **Dimensionierungskurve für eine UV-Desinfektionsanlage (T₁₀₀: % Transmission bei 254,7 nm und 100 mm Schichtdicke)**. Die Punkte stellen die im Rahmen der Zertifizierung gemessenen Betriebspunkte dar. Der grau unterlegte Bereich stellt somit Kombinationen aus Durchflusswerten und UV-Transmissionen dar, die eine minimale Dosis von 400 J/m² sicherstellen

Keimzahl im zufließenden Wasser kann die durch die UV-Anlage gegebene Sicherheit abgeleitet werden. Im Prinzip könnten die biosimmetrischen Bestimmungen auch dazu verwendet werden, andere, eventuell höhere UV-Dosen sicherzustellen, um auch weniger empfindliche Organismen sicher abzutöten.

UV-Desinfektion ist auch ein gutes Beispiel dafür, dass die üblichen Indikatorbakterien nicht sinnvoll genutzt werden können. Die übliche Bestimmung der koloniebildenden Einheiten nach der Bestrahlung ergibt bei einer Dosis von 400 J/m² eine Reduktion der Lebendkeime um den Faktor 10⁶ bis 10⁷ mit den entsprechenden analytischen Problemen. Der Einsatz der sehr empfindlichen PCR ist nach UV-Bestrahlung ebenfalls limitiert: es scheint, dass durch die Schädigung der DNS nicht mehr definierte Produkte der Polymerasereaktion entstehen und auf diese Weise eine Quantifizierung verhindert wird (15).

Auch nach einer Desinfektion mit Ozon oder Chlor macht die Bestimmung von *E. coli* oder von *coliformen* Bakterien wenig Sinn, da diese Organismen sehr empfindlich auf diese Substanzen reagieren. Ein «Verschwinden» von *E. coli* heisst aber noch lange nicht, dass auch andere pathogene Mikroorganismen zuverlässig abgetötet sind. Auch in diesen Fällen führt kein Weg an einer genauen Charakterisierung der Desinfektionswirkung bei verschiedenen Krankheitserregern vorbei. Im Betrieb ist dann die Messung des freien Chlors oder der Ozonkonzentration zusammen mit der Einwirkzeit viel aussagekräftiger als die Bestimmung von Indikator KBE.

Qualitätskontrolle des Endproduktes

Die Bedeutung der mikrobiologischen Qualität des Trinkwassers erfordert, dass auch beim fertigen Produkt mikrobielle Aspekte getestet werden. Da bei einer zuverlässigen Funktion der Aufbereitung keine Indikatorbakterien mehr vorkommen sollten, ist es sinnvoll, noch weitere Parameter ins Testprogramm einzubauen. Hier stehen vor allem Sporen von Bakterien im Vordergrund, da sie aufgrund ihrer Resistenz und ihres geringen Volumens besonders schwierig zu eliminieren sind. Wichtig ist, dass auch das Verteilnetz in diese Überprüfung mit einbezogen wird. Einerseits kann auf diese Weise ein übermässiges Wachstum der Bakterien im Netz rechtzeitig erkannt werden. Andererseits geben diese Messungen Hinweise auf Kontaminationen im Verteilsystem.

Schlussfolgerungen

Neue Nachweismethoden bringen keine grundlegende Änderung für die Qualitätssicherung beim Trinkwasser. Viele der oben beschriebenen Bestimmungen lassen sich mit konventionellen Techniken ebenso gut lösen wie mit den molekularbiologischen Methoden. Ohne Überwachung des Rohwassers und des Aufbereitungsprozesses sind auch diese modernen Techniken nicht in der Lage, die Unbedenklichkeit des Trinkwassers zu gewährleisten. Diese molekularbiologischen Methoden bieten aber in der Epidemiologie und bei der Abklärung von Trinkwasserseuchen eine sehr willkommene Erweiterung.

Zusammenfassung

Obwohl schon etwas in die Jahre gekommen, ist das Konzept der mikrobiologischen Trinkwasser-Qualitätskontrolle nicht vollständig überholt. Bei aufbereitetem Trinkwasser sind jedoch Anpassungen notwendig. Dabei kann auf die Erkenntnisse der Lebensmittelindustrie zurückgegriffen werden, wo viele Probleme mittels HACCP-Konzepten gelöst werden konnten. In der Routineüberwachung ist es in der Regel auch mit den modernen, molekularbiologischen Nachweismethoden nicht sinnvoll, auf die Bestimmung einzelner Krankheitserreger zu wechseln. Die neuen Techniken bedeuten jedoch eine grosse Hilfe bei der Untersuchung von Trinkwasserseuchen.

Résumé

Même s'il a plus de 100 ans, le concept du contrôle microbiologique de l'eau potable est toujours actuel. Des adaptations sont cependant nécessaires avec l'introduction des procédés de traitement de l'eau potable. Pour résoudre ces questions, les expériences de l'industrie alimentaire avec HACCP se révèlent très utiles. Dans le contrôle de routine, il n'est cependant pas indiqué de procéder à un dépistage de germes pathogènes, même si des méthodes d'analyses modernes et rapides existent. C'est en cas de pollution épidémiques de l'eau potable que les nouvelles techniques de la biologie moléculaire constituent un moyen de dépistage très utile.

Summary «New Concepts and Methods for the Evaluation of the Microbial Quality of Drinking Water»

Microbial testing of drinking water has not significantly changed during almost one hundred years. Nevertheless the concept of using indicator organisms is still valid. But especially for treated drinking water, adaptation of the testing is needed. A lot can be learned in this respect from the food industry, where this problem has been solved by the HACCP (hazard assessment and critical control points) concept. Routine detection of pathogens in the finished drinking water using molecular methods will not improve safety of drinking water. These methods will, however, be of extreme value for the study of outbreaks.

Key words

Drinking water, Indicator organisms, Molecular detection, Microbial quality

Literatur

- 1 Moore, A.C., Herwaldt, B.L., Craun, G.F., Calderon, R.L., Highsmith, A.K and Juranek, D.D.: Waterborne disease in the United States 1991 and 1992. *J. Amer. Water Assoc.* **86**, 87–99 (1994).
- 2 Young, P.: Safe drinking water: A call for global action. The American Academy of Microbiology warns of serious consequences from deteriorating water quality. *ASM News* **62**, 349–352 (1996).
- 3 Edwards, D.D.: Troubled waters in Milwaukee. Local crisis prompts rapid official response, exemplifies national problems with water supplies. *ASM News* **59**, 342–345 (1993).
- 4 Mac Kenzie, W.R., Hoxie, N.J., Proctor, M.E., Gradus, M.S., Blair, K.A., Peterson, D.E., Kazmierczak, J.J., Addiss, D.G., Fox, K.R., Rose, J.B. and Davis, J.P.: A massive outbreak in Milwaukee of *Cryptosporidium* infection transmitted through the public water supply. *N Engl. J. Med.* **331**, 161–167 (1994).
- 5 Anonymous: Molecular technologies for safe drinking water: The Interlaken workshop. OECD, Paris 1999.
- 6 Farland, W.H. and Gibb, H.J.: US Perspective on balancing chemical and microbial risks of disinfection. In: Craun, G.F. (Ed) *Safety of water disinfection: Balancing chemical and microbial risks*. ILSI Press, Washington DC, 1993.
- 7 Bartram, J.: Policy and administrative issues. In: *Proceedings of the OECD Workshop Interlaken 1998*, http://www.eawag.ch/publications_e/proceedings/oecd/proceedings/Bartram.pdf (1999)

- 8 *Frost, F. and Craun, G.:* The importance of acquired immunity in the epidemiology of Cryptosporidiosis and Giardiasis. In: Proceedings of the OECD Workshop Interlaken 1998, http://www.eawag.ch/publications_e/proceedings/oecd/proceedings/Frost.pdf (1999)
- 9 *Gale, P., Van-Dijk, P.A.H. and Stanfield, G.:* Drinking water treatment increases micro-organism clustering: The implications for microbiological risk assessment. *Aqua* **46**, 117–126 (1997).
- 10 *Payment, P.:* Waterborne viruses and parasites: resistance to treatment and disinfection. In: Proceedings of the OECD Workshop Interlaken 1998, http://www.eawag.ch/publications_e/proceedings/oecd/proceedings/Payment.pdf (1999)
- 11 *Snozzi, M., Haas, R., Leuker, G., Kolch, A. und Bergman, R.:* Prüfung und Zertifizierung von UV-Anlagen. *Gas, Wasser, Abwasser* **79**, 380–385 (1999).
- 12 *Mechsner, K. und Fleischmann, T.:* Vergleichende Untersuchungen zur Wiederverkeimung des Wassers nach Ultraviolettdesinfektion. *Gas, Wasser, Abwasser* **72**, 807–811 (1992).
- 13 *Sommer, R. and Cabaj, A.:* Evaluation of the efficiency of a UV plant for drinking water disinfection. *Wat. Sci. Tech.* **27**, 357–362 (1993).
- 14 *Sommer, R., Weber, G., Cabaj, A., Wekerle, J., Keck, G. und Schauburger, G.:* UV – Inaktivierung von Mikroorganismen in Wasser. *Zbl. Hyg.* **189**, 214–224 (1989).
- 15 *Zimmermann, B. and Snozzi, M.:* PCR detection of *E. coli* after disinfection with UV or ozone. In: Proceedings of the OECD Workshop Interlaken 1998, http://www.eawag.ch/publications_e/proceedings/oecd/proceedings/Zimmermann.pdf (1999)

Dr. Mario Snozzi, Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG), Ueberlandstrasse 133, CH-8600 Dübendorf