

**Gutachten über die Überprüfung des
Desinfektionseffektes des Anolytes
vom Gerät Enviolyte der Firma Enviolyte Industries
International Ltd. unter Berücksichtigung der
Anforderungen an ein Trinkwasser nach den
Kriterien der Trinkwasserverordnung**

Auftraggeber:

Enviolyte Industries International, Tallinn

Auftragsdatum:

29.02.2000

Gutachten Nr. G00-345b.tmd

Lollar, 06.07.2000

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	3
2. Prinzip und Arbeitsweise des Eurostel-Gerätes	5
3. Ziel des Gutachtens	7
4. Durchführung der Versuche und gaschromatographischen Analysen	8
4.1. Versuche mit Analyt ohne Testkeime (Blindversuche)	9
4.2. Versuche mit Analyt und Testkeimen	10
4.3. Anzucht und Nachweis der Testkeime und Keimzahlbestimmungen	11
4.4. Gaschromatographische Untersuchung der Versuchsansätze auf organische Chlorverbindungen (CKW) und Trihalogenmethane (THM)	12
4.5. Angewendete Verfahren	14
5. Ergebnisse der chemisch-physikalischen Untersuchungen in den Versuchsansätzen ohne Testkeime (Blindversuche)	20
6. Ergebnisse der chemisch-physikalischen und mikrobiologischen Untersuchungen in den Versuchsansätzen mit <i>Escherichia coli</i> mit hoher Keimkonzentration	30
7. Ergebnisse der chemisch-physikalischen und mikrobiologischen Untersuchungen in den Versuchsansätzen mit <i>Escherichia coli</i> mit mittlerer Keimkonzentration	41
8. Ergebnisse der chemisch-physikalischen und mikrobiologischen Untersuchungen in den Versuchsansätzen mit <i>Pseudomonas aeruginosa</i> mit hoher Keimkonzentration	45
9. Ergebnisse der chemisch-physikalischen und mikrobiologischen Untersuchungen in den Versuchsansätzen mit <i>Pseudomonas aeruginosa</i> mit mittlerer Keimkonzentration	56
10. Ergebnisse der chemisch-physikalischen und mikrobiologischen Untersuchungen in den Versuchsansätzen mit <i>Pseudomonas aeruginosa</i> mit mittlerer Keimkonzentration	67
11. Beurteilung	71

1. Einleitung

Die mikrobiologische Beschaffenheit eines Trinkwassers ist in Deutschland durch die Trinkwasserverordnung (letzte Fassung vom 12.12.1990) geregelt.

Die Trinkwasserverordnung schreibt im 1. Abschnitt (Beschaffenheit des Trinkwassers) in § 1 folgendes vor:

(1) Trinkwasser muß frei sein von Krankheitserregern. Dieses Erfordernis gilt als nicht erfüllt, wenn Trinkwasser in 100 ml Escherichia coli enthält (Grenzwert). Coliforme Keime dürfen in 100 ml nicht enthalten sein (Grenzwert).

(2) In Trinkwasser soll die Koloniezahl den Richtwert von 100 je ml bei einer Bebrütungstemperatur von $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ und bei einer Bebrütungstemperatur von $36\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ nicht überschreiten. In desinfiziertem Trinkwasser soll außerdem die Koloniezahl nach Abschluß der Aufbereitung den Richtwert von 20 je ml bei einer Bebrütungstemperatur von $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ nicht überschreiten.

(4) In Trinkwasser, das mit Chlor, mit Natrium-, Magnesium- oder Calciumhypochlorit oder mit Chlorkalk desinfiziert wird, muß außerdem nach Abschluß der Aufbereitung ein Restgehalt von mindestens 0,1 mg freiem Chlor je Liter nachweisbar sein und in Trinkwasser, das mit Chlordioxid desinfiziert wird, muß nach Abschluß der Aufbereitung ein Restgehalt von mindestens 0,05 mg Chlordioxid je Liter nachweisbar sein.

Aus diesen Anforderungen der Trinkwasserverordnung geht hervor, daß nach durchgeführter Desinfektion z.B. mit dem Anolyt des Gerätes Envirolytemindestens 0,1 mg/l freies Chlor nachweisbar sein muß. Darüberhinaus dürfen die Koloniezahlen 20 je ml nicht überschreiten und 100 ml des Wassers müssen frei sein von Escherichia coli und coliformen Keimen.

Die Trinkwasserverordnung regelt im 2. Abschnitt auch die Trinkwasseraufbereitung. In § 5 Absatz 1 steht:

Zur Trinkwasseraufbereitung werden die in der Anlage 3 Spalte b aufgeführten Zusatzstoffe

einschließlich ihrer Ionen, sofern diese durch Ionenaustauscher oder durch **Elektrolyse** zugeführt werden, zugelassen. Die Zusatzstoffe dürfen nur für die in Anlage 3 Spalte d genannten Zwecke zugesetzt werden.

Mit dem Gerät Enviolytewird aus der Kochsalzlösung Chlor erzeugt, so daß für diese Trinkwasseraufbereitung die laufende Nr. 1 der Anlage 3 Gültigkeit hat. Bei der Elektrolyse entsteht freies Chlor. Durch das Chlor wird das Wasser desinfiziert. Nach dieser Anlage der Trinkwasserverordnung kann die zulässige Zugabe maximal 1,2 mg/l betragen. Der Grenzwert nach Aufbereitung liegt bei 0,3 mg/l Chlor.

Nach § 5 Absatz 2 der Trinkwasserverordnung

dürfen die Zusatzstoffe zur Trinkwasseraufbereitung nur bis zu der in Anlage 3 Spalte e und f festgelegten Höhe zugegeben werden. Nach Abschluß der Aufbereitung darf der Ge-

halt an zugelassenen Zusatzstoffen und der Gehalt an den dort genannten Reaktionsprodukten im Trinkwasser die in Anlage 3 Spalte g festgesetzten Grenzwerte nicht überschreiten. Ferner dürfen nach Abschluß der Aufbereitung die in den Anlagen 2 und 4 festgesetzten Grenzwerte nicht überschritten werden.

Die Trihalogenmethanmethane dürfen als Summe nach der Anlage 3 0,01 mg/l nicht überschreiten. Bei der Desinfektion mit Chlor entstehen Trihalogenmethane als Reaktionsprodukte. Es handelt sich um folgende Verbindungen:

- Chloroform,
- Monobromdichlormethan,
- Dibrommonochlormethan und
- Bromoform.

2. Prinzip und Arbeitsweise des Enviolyte-Gerätes

Das für den Betrieb des Elektrolyse-Prozesses benötigte Salz (NaCl) wird dem Wasser im Eurostel-Gerät beigemischt. Im Gerät befinden sich zwei Elektroden, eine positiv und eine negativ gelade und beide Zonen sind durch ein Diaphragma abgetrennt. Im Bereich der Anode entsteht der so genannte Anolyt, der für die Desinfektion verwendet wird. An der Kathode entsteht dagegen der Katholyt, den man für andere Zwecke aber nicht für die Desinfektion verwenden kann.

Durch den elektrolytischen Prozeß zerfällt Natriumchlorid in Natriumionen (Na^+) und Chloridionen (Cl^-). Beim Durchfließen der Elektrolysezelle wandern die positiv geladenen Ionen (Na^+) zur Kathode, die negativ geladenen Ionen (Cl^-) zur Anode. Die an den Elektroden ankommenden Ionen entladen sich und scheiden sich als neutrale Atome bzw. Moleküle ab oder bilden mit Wasser neue Reaktionsprodukte. So bildet sich aus dem Chlorid (Cl^-) die „unterchlorige Säure“ (HOCl). Dies ist das Desinfektionsmittel und wird diesem Fall als Anolyt bezeichnet. An der anderen Elektrode, die durch das Diaphragma abgetrennt ist, bildet sich aus dem Natrium „Natriumhydroxid“ (NaOH).

Auf der nachfolgenden Abbildung (Abb. 1) ist Elektrolyse-Gerät schematisch dargestellt.

Abb. 1: Schema der Elektrolyse-Anlage (Enviolyte der Fa. Enviolyte)

Das auf diese Art und Weise hergestellte Desinfektionsmittel auf Basis der unterchlorigen Säure wird normalerweise in einem Zwischenbehälter gelagert und durch eine Dosierpumpe dem Trinkwasser bzw Badewasser in einer entsprechenden Konzentration zudosiert. Im Rahmen der in diesem Gutachten beschriebenen Überprüfung wurde der so hergestellte Anolyt für die Verwendung zur Trinkwasserdesinfektion getestet.

Abb. 2: Fotografische Darstellung des Enviolyte-Gerätes der Fa. Enviolyte, von dem der Anolyt hergestellt wurde, mit dem die Versuche durchgeführt wurden

3. Ziel des Gutachtens

Im Rahmen dieses Gutachtens soll die desinfizierende Wirkung des vom Gerät Enviroltyeder Fa. Aquastel hergestellten Anolytes überprüft werden.

Bei der Überprüfung sollen die Kriterien der Trinkwasserverordnung berücksichtigt werden, d. h., daß die mikrobiologische Wirkung des Anolytes bei unterschiedlichen Konzentrationen auf verschiedene Testkeime wie

- Escherichia coli und
- Pseudomonas aeruginosa

überprüft werden muß.

Entsprechend den Anforderungen der Trinkwasserverordnung müssen auch die Reaktionsprodukte wie die Trihalogenmethane überprüft werden.

4. Durchführung der Versuche und der gaschromatographischen Analysen

Zur Durchführung der Versuche wurden uns von Herrn van Schaik verschiedene vom Gerät Envirolytehergestellte Anolyt-Lösungen mit Konzentrationen an freiem Chlor zwischen 300 und 500 mg/l zur Verfügung gestellt.

Zwecks einer praxisorientierten Anwendung wurden die für die Versuche verwendeten Testkeime

- Escherichia coli und
- Pseudomonas aeruginosa

von uns aus den in unserem Labor routinemäßig untersuchten Wasserproben isoliert und in Caso-Bouillon angezüchtet. Durch Verdünnung der so erhaltenen Keim-Stammsuspensionen mit steriler physiologischer Kochsalzlösung wurden daraus die für die Versuche benötigten Keim-Lösungen hergestellt. Für alle Versuchsansätze wurde das Leitungswasser der Stadt Lollar benutzt.

Alle Versuchsansätze und das für die Verdünnungen verwendete Wasser wurden auf die halogenierten Kohlenwasserstoffe sowie die Trihalogenmethane entsprechend der Trinkwasserverordnung (Anlage 2 und 3) überprüft.

4.1 Versuche mit Anolyt ohne Testkeime (Blindversuche)

Die Versuche wurden in einem 2 Liter fassenden Becherglas vorgenommen. Dieses wurde mit 1600 ml Leitungswasser gefüllt. In das Wasser wurde eine pH-Elektrode und eine Redox-Elektrode getaucht. Zunächst wurden die Versuche ohne Zugabe von Bakterien durchgeführt. Nachdem sich die auf den Meßgeräten angezeigten Werte stabilisiert hatten, wurde ein bestimmtes zur Erreichung der gewünschten Konzentration an freiem Chlor benötigtes Volumen des Anolytes zudosiert. Anschließend wurden jeweils nach

- 1 Minute,
 - 5 Minuten,
 - 10 Minuten,
 - 30 Minuten und
 - 60 Minuten
-
- der pH-Wert,
 - die Wassertemperatur und
 - das Redoxpotential

abgelesen und 100 ml Probe zur Messung der Konzentration an

- freiem Chlor,
- gebundenem Chlor und
- Gesamtchlor

entnommen. Zusätzlich wurden noch 10 ml Probe zur Untersuchung auf

- Trihalogenmethane

entnommen. Bei dieser zweiten Probe wurde unmittelbar nach Probenahme Natriumthiosulfat, ein Reagenz, das freies Chlor vernichtet, zugesetzt, um auszuschließen, daß das freie Chlor noch nach Probenahme weiterwirken kann.

4.2. Versuche mit Anolyt und Testkeimen

Die Versuche wurden in dem gleichen 2 Liter fassenden Becherglas vorgenommen wie die Versuche ohne Bakterien. Das Becherglas wurde mit 1600 ml Leitungswasser gefüllt und anschließend genau das Volumen der entsprechend verdünnten Keim-Suspension zugesetzt, das zur Einstellung der gewünschten Keim-Konzentration an Escherichia coli bzw Pseudomonas aeruginosa benötigt wurde. Noch vor Zugabe des Anolyts wurden 100 ml Probe zur Bestimmung der Keim-Anfangskonzentration entnommen. In das Wasser wurde wie bei den Versuchen ohne Bakterien eine pH-Elektrode und eine Redox-Elektrode getaucht. Nachdem sich die auf den Meßgeräten angezeigten Werte stabilisiert hatten, wurde ein bestimmtes zur Erreichung der gewünschten Konzentration an freiem Chlor benötigtes Volumen des Anolytes zudosiert. Anschließend wurden jeweils nach

- 1 Minute,
 - 5 Minuten,
 - 10 Minuten,
 - 30 Minuten und
 - 60 Minuten
-
- der pH-Wert und
 - die Wassertemperatur

abgelesen und 100 ml Probe zur Messung der Konzentration an

- freiem Chlor,
- gebundenem Chlor und
- Gesamtchlor

entnommen. Zusätzlich wurden noch 120 ml Probe zur Untersuchung auf

- Trihalogenmethane,
- zum Nachweis von Escherichia coli bzw Pseudomonas aeruginosa in 100 ml und
- zur Keimzahlbestimmung

entnommen. Bei dieser zweiten Probe wurde unmittelbar nach Probenahme Natriumthiosulfat, ein

Reagenz, das freies Chlor vernichtet, zugesetzt, um auszuschließen, daß das freie Chlor noch nach Probenahme weiterwirken kann.

4.3. Anzuchtung und Nachweis der Testkeime und Keimzahlbestimmung

Zur Keimzahlbestimmung wurden Verdünnungen im Bereich von 1:10 bis 1:10¹⁰ vorgenommen, 1 ml jeder Verdünnung wurde mit Nähragar übergossen, die so erhaltenen Nähragarplatten bei 36 °C bebrütet und nach zwei Tagen die gewachsenen Kolonien ausgezählt. Der Nachweis von *E. coli* und *Ps. aeruginosa* erfolgte mit Lactose- und Malachitgrün-Bouillon und im Falle einer positiven Reaktion nach 2 Tagen Bebrütung bei 36 °C wurde noch ein Ausstrich auf Endo- bzw. Cetremid-Agar vorgenommen.

Bei den den Testkeimen *Escherichia coli* und *Pseudomonas aeruginosa* werden jeweils drei verschiedene Keim-Konzentrationen angesetzt, und zwar im Bereich von

- 78.000 bis 150.000 KBE/100 ml (hohe Keimkonzentration),
- 4.100 bis 7.500 KBE/100 ml (mittlere Keimkonzentration) und
- 300 KBE/100 ml (niedrige Keimkonzentration).

Die bei den Versuchen eingestellten Anfangs-Konzentrationen an freiem Chlor lagen im Bereich von

- 0,15 mg/l
- 0,3 mg/l
- 0,5 mg/l und
- 1,2 mg/l.

Auf den nachfolgenden Seiten sind zunächst die Ergebnisse der Versuchsreihen ohne Testkeime (s. Tab. 1- 8) und dann die Ergebnisse der Versuchsreihen mit *Escherichia coli* und *Pseudomonas aeruginosa* bei unterschiedlichen Anfangskeimkonzentrationen (s. Tab. 9 - 36) dargestellt.

4.4. Gaschromatographische Untersuchung der Versuchsansätze auf organische Chlorverbindungen (CKW) und Trihalogenmethane (THM)

Alle im Rahmen dieser Überprüfung hergestellten Versuchsansätze wurden auf die organischen Chlorverbindungen (CKW)

- Dichlormethan,
- 1,1,1-Trichlorethan,
- Tetrachlormethan,
- Trichlorethen und
- Tetrachlorethen,

sowie auf die Trihalogenmethane (THM)

- Chloroform,
- Dichlorbrommethan,
- Dibromchlormethan und
- Bromoform

überprüft.

Für die Analyse wurden von den einzelnen Ansätzen jeweils 10 ml verwendet. Die Bestimmung erfolgte mit Hilfe der Kapillar-Gaschromatographie und für die Detektion wurde ein ECD-Detektor benutzt.

Parameter der gaschromatographischen Analysen

Säule: Kapillarsäule JW DB 624, Säulendicke 1,8 µm
Temperaturen am GC: Injektor: 150 °C
Detektor (CD): 300 °C
Temperaturprogramm
des GC-Ofens: isotherm 4 min 30 °C
5 ° / min auf 135 °C

Die Analyse erfolgte mit der Headspace-Technik. Es wurde jeweils 1 ml der temperierten Gasphase injiziert.

Als Blindprobe wurde zuerst das Leitungswasser (Trinkwasser Lollar) auf chlorierte Kohlenwasserstoffe und Trihalogenmethane überprüft. Danach wurden die Ansätze, denen zur Einstellung von Konzentrationen an freiem Chlor im Bereich von 0,15 bis 1,2 mg/l entsprechende Mengen des Analyts zudosiert wurden, analysiert und schließlich erfolgte die Überprüfung der mit den Testkeimen *Escherichia coli* und *Pseudomonas aeruginosa* kontaminierten Ansätze, die die gleichen Analyt-Mengen enthielten wie die entsprechenden Ansätze ohne Testkeime.

4.5. Angewendete Verfahren

Alle hier beschriebenen Untersuchungen und Messungen erfolgten nach folgenden DIN-Vorschriften:

Temperatur-Messung:	DIN 38404 C4
pH-Messung:	DIN 38404 C5
Redoxpotential-Messung:	DIN 38404 C6
Bestimmung des freien und gebundenen Chlors:	DIN 38408 G4
Bestimmung der organischen chlorierten Kohlenwasserstoffe und Trihalogenmethane	EN ISO 10301
Bestimmung der Gesamtkoloniezahl	DIN 38411 K5
Nachweis von Escherichia coli:	DIN 38411 K6
Nachweis von Pseudomonas aeruginosa:	DIN 38411 K8

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Gaschromatogramme

- der Testmischung von organischen Chlorverbindungen und Trihalogenmethanen (Abb. 3),
- des Versuchsansatzes (Leitungswasser) ohne Testkeime und ohne Analyt (Abb. 4),
- des Versuchsansatzes ohne Testkeime und mit Analyt mit einer Anfangskonzentration von 1,2 mg/l freiem Chlor nach einer Versuchsdauer von 60 Minuten (Abb. 5),
- des Versuchsansatzes mit hoher Konzentration an Escherichia coli und mit Analyt mit einer Anfangskonzentration von 1,2 mg/l freiem Chlor nach einer Versuchsdauer von 60 Minuten (Abb. 6) und
- des Versuchsansatzes mit hoher Konzentration an Pseudomonas aeruginosa und mit Analyt mit einer Anfangskonzentration von 1,2 mg/l freiem Chlor nach einer Versuchsdauer von 60 Minuten (Abb. 7)

**Abb. 3: Gaschromatogramm einer Testmischung von chlorierten Kohlenwasserstoffen
und Trihalogenmethanen (Konz. 0,00080 mg/l)**

Abb. 4: Gaschromatogramm des Versuchsansatzes ohne Testkeime und Analyt

Abb. 5: Gaschromatogramm des Versuchsansatzes ohne Testkeime und mit Analyt mit einer Anfangskonzentration von 1,2 mg/l freiem Chlor nach einer Versuchsdauer von 60 Minuten

Abb. 6: Gaschromatogramm des Versuchsansatzes mit hoher Konzentration an *Escherichia coli* und mit Analyt mit einer Anfangskonzentration von 1,2 mg/l freiem Chlor nach einer Versuchsdauer von 60 Minuten

Abb. 7: Gaschromatogramm des Versuchsansatzes mit hoher Konzentration an *Pseudomonas aeruginosa* und mit Anolyt mit einer Anfangskonzentration von 1,2 mg/l freiem Chlor nach einer Versuchsdauer von 60 Minuten

5. Ergebnisse der chemisch-physikalischen Untersuchungen in den Versuchsansätzen ohne Testkeime (Blindversuche)

In den nachfolgenden Tabellen sind die aktuellen Kriterien, wie Temperatur, pH-Wert, Redox-Potential bei unterschiedlichen Chlorkonzentrationen dargestellt.

Darüberhinaus wurde bei allen Versuchsansätzen auch die Bildung der Trihalogenmethane und organischen Chlorverbindungen bei den unterschiedlichen Anfangschlorkonzentrationen überprüft.

Tab. 1: Chemisch-physikalische Parameter des Versuchsansatzes ohne Testkeime in Abhängigkeit von der Zeit

Chlor-Konzentrationsbereich: 0,15 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser vor Zugabe des Analyts	Versuchsansatz aus Leitungswasser nach Zugabe des Analyts				
			nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min	nach 60 min
freies Chlor	mg/l	0	0,16	0,16	0,15	0,12	0,09
gebundenes Chlor	mg/l	0	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02
Gesamt-Chlor	mg/l	0	0,16	0,16	0,16	0,14	0,10
Redox-potential	mV	245	668	668	668	667	666
pH-Wert	-	7,80	7,78	7,77	7,77	7,78	7,83
Temperatur	° C	12,8	13,1	13,5	14,1	16,4	19,3

Tab. 2: Organische Chlorverbindungen + Trihalogenmethane ohne Testkeime in Abhängigkeit von der Zeit

Chlor-Konzentrationsbereich: 0,15 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser	Versuchsansatz aus Leitungswasser nach Zugabe des Analyts				
			nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min	nach 60 min

Organische Chlorverbindungen nach Anlage 2 Lfd. Nr. 12 der TVO

1,1,1-Trichlorethan	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Trichlorethen	mg/l	0,00006	0,00006	0,00007	0,00006	0,00007	0,00007
Tetrachlorethen	mg/l	0,00012	0,00009	0,00010	0,00009	0,00010	0,00009
Dichlormethan	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tetrachlormethan	mg/l	0,00002	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002
-------------------------	------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Grenzwert nach TVO = 0,003 mg/l

Trihalogenmethane (THM) nach Anlage 3 der TVO

Chloroform	mg/l	0,00045	0,00041	0,00049	0,00052	0,00051	0,00053
Dichlorbrommethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Dibromchlormethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Bromoform	mg/l	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tab. 3: Chemisch-physikalische Parameter des Versuchsansatzes ohne Testkeime in Abhängigkeit von der Zeit

Chlor-Konzentrationsbereich: 0,3 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser vor Zugabe des Analyts	Versuchsansatz aus Leitungswasser nach Zugabe des Analyts				
			nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min	nach 60 min
freies Chlor	mg/l	0	0,31	0,31	0,30	0,27	0,24
gebundenes Chlor	mg/l	0	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
Gesamt- Chlor	mg/l	0	0,31	0,31	0,31	0,28	0,25
Redox- potential	mV	245	705	705	704	704	702
pH-Wert	-	7,83	7,79	7,78	7,78	7,80	7,82
Temperatu r	° C	17,1	17,2	17,3	17,4	18,5	19,7

Tab. 4: Organische Chlorverbindungen + Trihalogenmethane ohne Testkeime in Abhängigkeit von der Zeit

Chlor-Konzentrationsbereich: 0,3 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser	Versuchsansatz aus Leitungswasser nach Zugabe des Analyts				
			nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min	nach 60 min

Organische Chlorverbindungen nach Anlage 2 Lfd. Nr. 12 der TVO

1,1,1-Trichlorethan	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Trichlorethen	mg/l	0,00011	0,00010	0,00009	0,00009	0,00010	0,00012
Tetrachlorethen	mg/l	0,00018	0,00012	0,00016	0,00014	0,00012	0,00012
Dichlormethan	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tetrachlormethan	mg/l	0,00002	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00003
-------------------------	------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Grenzwert nach TVO = 0,003 mg/l

Trihalogenmethane (THM) nach Anlage 3 der TVO

Chloroform	mg/l	0,00043	0,00044	0,00047	0,00049	0,0051	0,00056
Dichlorbrommethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001
Dibromchlormethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	0,0002
Bromoform	mg/l	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tab. 5: Chemisch-physikalische Parameter des Versuchsansatzes ohne Testkeime in Abhängigkeit von der Zeit**Chlor-Konzentrationsbereich: 0,5 mg/l**

Parameter	Einheit	Leitungswasser vor Zugabe des Analyts	Versuchsansatz aus Leitungswasser nach Zugabe des Analyts				
			nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min	nach 60 min
freies Chlor	mg/l	0	0,54	0,54	0,53	0,49	0,46
gebundenes Chlor	mg/l	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Gesamt-Chlor	mg/l	0	0,55	0,55	0,54	0,50	0,47
Redox-potential	mV	245	734	733	733	732	730
pH-Wert	-	7,84	7,79	7,78	7,78	7,78	7,81
Temperatur	° C	10,3	10,8	11,1	11,8	13,8	16,4

Tab. 6: Organische Chlorverbindungen + Trihalogenmethane ohne Testkeime in Abhängigkeit von der Zeit

Chlor-Konzentrationsbereich: 0,5 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser	Versuchsansatz aus Leitungswasser nach Zugabe des Analyts				
			nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min	nach 60 min

Organische Chlorverbindungen nach Anlage 2 Lfd. Nr. 12 der TVO

1,1,1-Trichlorethan	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Trichlorethen	mg/l	0,00011	0,00007	0,00006	0,00006	0,00004	0,00008
Tetrachlorethen	mg/l	0,00018	0,00009	0,00009	0,00009	0,00010	0,00012
Dichlormethan	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tetrachlormethan	mg/l	0,00002	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00003
-------------------------	------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Grenzwert nach TVO = 0,003 mg/l

Trihalogenmethane (THM) nach Anlage 3 der TVO

Chloroform	mg/l	0,00038	0,00066	0,00058	0,00060	0,00063	0,00079
Dichlorbrommethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	0,0002
Dibromchlormethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	0,0003	0,0006
Bromoform	mg/l	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tab. 7: Chemisch-physikalische Parameter des Versuchsansatzes ohne Testkeime in Abhängigkeit von der Zeit**Chlor-Konzentrationsbereich: 1,2 mg/l**

Parameter	Einheit	Leitungswasser vor Zugabe des Analyts	Versuchsansatz aus Leitungswasser nach Zugabe des Analyts				
			nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min	nach 60 min
freies Chlor	mg/l	0	1,22	1,21	1,20	1,18	1,14
gebundenes Chlor	mg/l	0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Gesamt-Chlor	mg/l	0	1,24	1,23	1,22	1,20	1,16
Redox-potential	mV	245	772	772	772	770	768
pH-Wert	-	7,88	7,71	7,71	7,72	7,74	7,76
Temperatur	° C	17,0	17,1	17,2	17,4	18,4	19,3

Tab. 8: Organische Chlorverbindungen + Trihalogenmethane ohne Testkeime in Abhängigkeit von der Zeit

Chlor-Konzentrationsbereich: 1,2 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser	Versuchsansatz aus Leitungswasser nach Zugabe des Analyts				
			nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min	nach 60 min

Organische Chlorverbindungen nach Anlage 2 Lfd. Nr. 12 der TVO

1,1,1-Trichlorethan	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Trichlorethen	mg/l	0,00005	0,00019	0,00006	0,00005	0,00010	0,00014
Tetrachlorethen	mg/l	0,00016	0,00019	0,00021	0,00021	0,00019	0,00025
Dichlormethan	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tetrachlormethan	mg/l	0,00002	0,00004	0,00004	0,00003	0,00004	0,00006
-------------------------	------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Grenzwert nach TVO = 0,003 mg/l

Trihalogenmethane (THM) nach Anlage 3 der TVO

Chloroform	mg/l	0,00051	0,00158	0,00153	0,00133	0,0152	0,00144
Dichlorbrommethan	mg/l	<0,0001	0,0003	0,0004	0,0003	0,0006	0,0005
Dibromchlormethan	mg/l	<0,0001	0,0003	0,0004	0,0003	0,0007	0,0009
Bromoform	mg/l	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0006	0,0010

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tab. 9: Übersicht über die chemisch-physikalischen Kriterien mit steigendem Chlorgehalt bei der Versuchsreihe ohne Testkeime nach jeweils 60 Minuten Reaktionszeit

Kriterium	Einheit	Anfangskonzentration an freiem Chlor [mg/l]			
		0,15	0,30	0,50	1,20
gebundenes Chlor	[mg/l]	0,02	0,01	0,02	0,02
Redox-Potential	[mV]	666	702	730	768
pH-Wert	[-]	7,83	7,82	7,81	7,76
Trihalogenmethane im Versuchsansatz	[mg/l]	0,00123	0,00136	0,00209	0,00384
Trihalogenmethane im Versuchsansatz nach Abzug der Trihalogenmethane im Leitungswasser	[mg/l]	0,00008	0,00021	0,00094	0,00269

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß das Redoxpotential, das beim Lollarer Leitungswasser bei 245 mV liegt, durch die Anolyt-Zugabe entsprechend ansteigt, und zwar auf etwa 666 mV bei einer freien Chlorkonzentration von 0,15 mg/l und auf etwa 770 mV bei einer freien Chlorkonzentration von 1,2 mg/l. Diese Werte liegen im für eine Desinfektion optimalen Bereich.

Der pH-Wert des Leitungswassers wird nur geringfügig durch den Anolyt beeinflusst wird. Da der Anolyt eine saure Lösung ist, bewirkt er nach Zudosierung eine Erniedrigung des pH-Wertes des Leitungswassers. Diese pH-Absenkung liegt aber selbst bei einer so hohen Anolyt-Zugabe, die einer freien Chlorkonzentration von 1,2 mg/l entspricht, unter 0,2 pH-Einheiten.

Die durch die Anolyt-Zugabe entstehenden Trihalogenmethane liegen deutlich unter dem Grenzwert nach der Trinkwasserverordnung von 0,01 mg/l und auch das gebundene Chlor zeigt selbst nach einer Reaktionszeit von 1 Stunde mit 0,02 mg/l einen sehr niedrigen Wert.

6. Ergebnisse der chemisch-physikalischen und mikrobiologischen Untersuchungen in den Versuchsansätzen mit *Escherichia coli* mit hoher Keimkonzentration

Escherichia coli-Konzentration in den Versuchsansätzen: 78.000 - 140.000 KBE/100 ml

In den nachfolgenden Tabellen sind die aktuellen Kriterien, wie Temperatur, pH-Wert und die mikrobiologischen Kriterien bei unterschiedlichen Chlorkonzentrationen dargestellt.

Darüberhinaus wurde bei allen Versuchsansätzen auch die Bildung der Trihalogenmethane und organischen Chlorverbindungen bei den unterschiedlichen Anfangschlorkonzentrationen überprüft.

Tab. 10: Chemisch-physikalische und mikrobiologische Parameter des Versuchsansatzes mit *Escherichia coli* in Abhängigkeit von der Zeit

Escherichia coli-Konzentration: 120.000 KBE/100 ml
Chlor-Konzentrationsbereich: 1,2 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser nach Zugabe der Keime	Versuchsansatz aus Leitungswasser und Keimen nach Zugabe des Analyts				
			nach Durch- mischung	nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min
freies Chlor	mg/l	0	1,23	1,22	1,21	1,15	1,10
gebundenes Chlor	mg/l	0	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05
Gesamt- Chlor	mg/l	0	1,25	1,24	1,23	1,19	1,15
pH-Wert	-	7,81	7,69	7,70	7,71	7,73	7,78
Temperatu- r	° C	10,6	11,0	11,3	11,7	13,6	16,0
100 ml des Ansatzes in Lactose- Bouillon		pos	neg	neg	neg	neg	neg
Ausstrich auf Endo- Agar		pos	neg	neg	neg	neg	neg
Koloniezah- l in 1 ml bei 36 °C	KBE pro 1 ml	1.200	0	0	0	0	0
Escherichia coli in 100 ml	KBE pro 100 ml	120.000	0	0	0	0	0

Tab. 11: Organische Chlorverbindungen + Trihalogenmethane mit *Escherichia coli* in Abhängigkeit von der Zeit

Escherichia coli-Konzentration: 120.000 KBE/100 ml
Chlor-Konzentrationsbereich: 1,2 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser	Versuchsansatz aus Leitungswasser nach Zugabe des Analyts				
			nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min	nach 60 min

Organische Chlorverbindungen nach Anlage 2 Lfd. Nr. 12 der TVO

1,1,1-Trichlorethan	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Trichlorethen	mg/l	0,00005	0,00007	0,00012	0,00018	0,00005	0,00003
Tetrachlorethen	mg/l	0,00063	0,00011	0,00030	0,00021	0,00011	0,00008
Dichlormethan	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tetrachlormethan	mg/l	0,00002	0,00002	0,00004	0,00002	0,00002	0,00002
-------------------------	------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Grenzwert nach TVO = 0,003 mg/l

Trihalogenmethane (THM) nach Anlage 3 der TVO

Chloroform	mg/l	0,00051	0,00088	0,00082	0,00072	0,0096	0,00083
Dichlorbrommethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0004
Dibromchlormethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	0,0002	0,0002	0,0004	0,0006
Bromoform	mg/l	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tab. 12: Chemisch-physikalische und mikrobiologische Parameter des Versuchsansatzes mit *Escherichia coli* in Abhängigkeit von der Zeit

Escherichia coli-Konzentration: 140.000 KBE/100 ml
Chlor-Konzentrationsbereich: 0,5 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser nach Zugabe der Keime	Versuchsansatz aus Leitungswasser und Keimen nach Zugabe des Analyts				
			nach Durch- mischung	nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min
freies Chlor	mg/l	0	0,47	0,44	0,43	0,40	0,35
gebundenes Chlor	mg/l	0	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05
Gesamt- Chlor	mg/l	0	0,48	0,46	0,45	0,43	0,40
pH-Wert	-	7,81	7,76	7,75	7,75	7,78	7,84
Temperatu- r	° C	10,7	11,5	11,8	12,3	14,0	16,8
100 ml des Ansatzes in Lactose- Bouillon		pos	neg	neg	neg	neg	neg
Ausstrich auf Endo- Agar		pos	neg	neg	neg	neg	neg
Koloniezah- l in 1 ml bei 36 °C	KBE pro 1 ml	1.400	0	0	0	0	0
Escherichia coli in 100 ml	KBE pro 100 ml	140.000	0	0	0	0	0

Tab. 13: Organische Chlorverbindungen + Trihalogenmethane mit *Escherichia coli* in Abhängigkeit von der Zeit

Escherichia coli-Konzentration: 140.000 KBE/100 ml
Chlor-Konzentrationsbereich: 0,5 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser	Versuchsansatz aus Leitungswasser nach Zugabe des Analyts				
			nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min	nach 60 min

Organische Chlorverbindungen nach Anlage 2 Lfd. Nr. 12 der TVO

1,1,1-Trichlorethan	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Trichlorethen	mg/l	0,00011	0,00018	0,00011	0,00013	0,00008	0,00008
Tetrachlorethen	mg/l	0,00018	0,00022	0,00015	0,00021	0,00013	0,00011
Dichlormethan	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tetrachlormethan	mg/l	0,00002	0,00003	0,00002	0,00002	0,00001	0,00002
-------------------------	------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Grenzwert nach TVO = 0,003 mg/l

Trihalogenmethane (THM) nach Anlage 3 der TVO

Chloroform	mg/l	0,00038	0,00068	0,00061	0,00097	0,0066	0,00086
Dichlorbrommethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	0,0001	0,0002	0,0002	0,0004
Dibromchlormethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	0,0001	0,0003	0,0005	0,0008
Bromoform	mg/l	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0006	0,0008

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tab. 14: Chemisch-physikalische und mikrobiologische Parameter des Versuchsansatzes mit *Escherichia coli* in Abhängigkeit von der Zeit

Escherichia coli-Konzentration: 120.000 KBE/100 ml
Chlor-Konzentrationsbereich: 0,3 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser nach Zugabe der Keime	Versuchsansatz aus Leitungswasser und Keimen nach Zugabe des Anolyts				
			nach Durch- mischung	nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min
freies Chlor	mg/l	0	0,32	0,30	0,29	0,26	0,21
gebundenes Chlor	mg/l	0	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04
Gesamt- Chlor	mg/l	0	0,33	0,32	0,31	0,28	0,25
pH-Wert	-	7,78	7,76	7,75	7,75	7,78	7,85
Temperatu- r	° C	11,5	12,0	12,3	12,7	14,5	16,8
100 ml des Ansatzes in Lactose- Bouillon		pos	neg	neg	neg	neg	neg
Ausstrich auf Endo- Agar		pos	neg	neg	neg	neg	neg
Koloniezah- l in 1 ml bei 36 °C	KBE pro 1 ml	1.200	0	0	0	0	0
Escherichia coli in 100 ml	KBE pro 100 ml	120.000	0	0	0	0	0

Tab. 15: Organische Chlorverbindungen + Trihalogenmethane mit *Escherichia coli* in Abhängigkeit von der Zeit

Escherichia coli-Konzentration: 120.000 KBE/100 ml
Chlor-Konzentrationsbereich: 0,3 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser	Versuchsansatz aus Leitungswasser nach Zugabe des Analyts				
			nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min	nach 60 min

Organische Chlorverbindungen nach Anlage 2 Lfd. Nr. 12 der TVO

1,1,1-Trichlorethan	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Trichlorethen	mg/l	0,00011	0,00013	0,00011	0,00017	0,00011	0,00011
Tetrachlorethen	mg/l	0,00018	0,00017	0,00022	0,00017	0,00017	0,00028
Dichlormethan	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tetrachlormethan	mg/l	0,00002	0,00001	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002
-------------------------	------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Grenzwert nach TVO = 0,003 mg/l

Trihalogenmethane (THM) nach Anlage 3 der TVO

Chloroform	mg/l	0,00043	0,00057	0,00064	0,00063	0,0072	0,00050
Dichlorbrommethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Dibromchlormethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	0,0001	0,0002	0,0004	0,0004
Bromoform	mg/l	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tab. 16: Chemisch-physikalische und mikrobiologische Parameter des Versuchsansatzes mit *Escherichia coli* in Abhängigkeit von der Zeit

Escherichia coli-Konzentration: 78.000 KBE/100 ml
Chlor-Konzentrationsbereich: 0,15 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser nach Zugabe der Keime	Versuchsansatz aus Leitungswasser und Keimen nach Zugabe des Analyts				
			nach Durch- mischung	nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min
freies Chlor	mg/l	0	0,17	0,15	0,14	0,12	0,09
gebundenes Chlor	mg/l	0	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04
Gesamt- Chlor	mg/l	0	0,18	0,17	0,16	0,15	0,13
pH-Wert	-	7,81	7,79	7,79	7,78	7,84	7,97
Temperatu- r	° C	13,3	13,5	14,0	14,6	16,7	19,7
100 ml des Ansatzes in Lactose- Bouillon		pos	pos	neg	neg	neg	neg
Ausstrich auf Endo- Agar		pos	pos	neg	neg	neg	neg
Koloniezah- l in 1 ml bei 36 °C	KBE pro 1 ml	780	0	0	0	0	0
Escherichia coli in 100 ml	KBE pro 100 ml	78.000	≥ 1 < 100	0	0	0	0

		0,15	0,30	0,50	1,20
gebundenes Chlor	[mg/l]	0,04	0,04	0,05	0,05
pH-Wert	[-]	7,97	7,85	7,84	7,78
Trihalogenmethane im Versuchsansatz	[mg/l]	0,00171	0,00150	0,00286	0,00183
Trihalogenmethane im Versuchsansatz nach Abzug der	[mg/l]	0,00126	0,00107	0,00248	0,00132
Trihalogenmethane im Leitungswasser					

Beurteilung der Versuchsreihe mit Escherichia coli bei hoher Keimkonzentration

Bei der Versuchsreihe mit der hohen Keimkonzentration an Escherichia coli waren bei Anfangs-Chlorkonzentrationen im Bereich von 1,2 bis 0,3 mg/l schon nach 1 Minute in 100 ml keine Keime mehr nachweisbar. Nur bei der niedrigsten eingestellten Anfangs-Chlorkonzentration von 0,15 mg/l zeigten 100 ml des Versuchsansatzes in Lactose-Bouillon und der entsprechende Ausstrich auf Endo-Agar eine positive Reaktion. Da in 1 ml des Versuchsansatzes nach 1 Minute aber keine Keime nachweisbar waren, bedeutet dies, daß nach 1 Minute in 100 ml des Versuchsansatzes die Keimzahl kleiner als 100 KBE/100 ml aber mindestens 1 KBE/100 ml ist.

Deshalb wurde noch eine Versuchsreihe mit mittlerer Escherichia coli-Konzentration durchgeführt.

7. Ergebnisse der chemisch-physikalischen und mikrobiologischen Untersuchungen in den Versuchsansätzen mit *Escherichia coli* mit mittlerer Keimkonzentration

Escherichia coli-Konzentration im Versuchsansatz: 7.500 KBE/100 ml

In den nachfolgenden Tabellen sind die aktuellen Kriterien, wie Temperatur, pH-Wert und die mikrobiologischen Kriterien bei unterschiedlichen Chlorkonzentrationen dargestellt.

Darüberhinaus wurde bei allen Versuchsansätzen auch die Bildung der Trihalogenmethane und organischen Chlorverbindungen bei den unterschiedlichen Anfangschlorkonzentrationen überprüft.

Tab. 19: Chemisch-physikalische und mikrobiologische Parameter des Versuchsansatzes mit *Escherichia coli* in Abhängigkeit von der Zeit

Escherichia coli-Konzentration: 7.500 KBE/100 ml
Chlor-Konzentrationsbereich: 0,15 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser nach Zugabe der Keime	Versuchsansatz aus Leitungswasser und Keimen nach Zugabe des Analyts				
			nach Durch- mischung	nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min
freies Chlor	mg/l	0	0,16	0,15	0,14	0,12	0,09
gebundenes Chlor	mg/l	0	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Gesamt- Chlor	mg/l	0	0,17	0,16	0,15	0,14	0,12
pH-Wert	-	7,81	7,79	7,79	7,79	7,82	7,93
Temperatu- r	° C	13,1	13,3	13,9	14,4	16,7	19,9
100 ml des Ansatzes in Lactose- Bouillon		pos	neg	neg	neg	neg	neg
Ausstrich auf Endo- Agar		pos	neg	neg	neg	neg	neg
Koloniezah- l in 1 ml bei 36 °C	KBE pro 1 ml	75	0	0	0	0	0
Escherichia coli in 100 ml	KBE pro 100 ml	7.500	0	0	0	0	0

Tab. 20: Organische Chlorverbindungen + Trihalogenmethane mit Escherichia coli in Abhängigkeit von der Zeit

Escherichia coli-Konzentration: 7.500 KBE/100 ml
Chlor-Konzentrationsbereich: 0,15 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser	Versuchsansatz aus Leitungswasser nach Zugabe des Analyts				
			nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min	nach 60 min

Organische Chlorverbindungen nach Anlage 2 Lfd. Nr. 12 der TVO

1,1,1-Trichlorethan	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Trichlorethen	mg/l	0,00006	0,00005	0,00003	0,00005	0,00005	0,00001
Tetrachlorethen	mg/l	0,00012	0,00007	0,00006	0,00005	0,00003	0,00003
Dichlormethan	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tetrachlormethan	mg/l	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
-------------------------	------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Grenzwert nach TVO = 0,003 mg/l

Trihalogenmethane (THM) nach Anlage 3 der TVO

Chloroform	mg/l	0,00045	0,00040	0,00057	0,00054	0,0045	0,00036
Dichlorbrommethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Dibromchlormethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0002
Bromoform	mg/l	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Beurteilung der Versuchsreihe mit Escherichia coli bei mittlerer Keimkonzentration

Da bei einer Escherichia coli-Konzentration von 7.500 KBE/100 ml schon nach 1 Minute bei der kleinsten Anfangs-Chlorkonzentration von 0,15 mg/l in 100 ml des Versuchsansatzes Escherichia coli nicht mehr nachweisbar war, erübrigte sich die Untersuchung höherer Anfangs-Chlorkonzentrationen bei der mittleren E. coli-Konzentration und auch weitere Untersuchungen bei noch kleineren Escherichia coli-Konzentrationen bei unterschiedlichen Anfangs-Chlorkonzentrationen.

8. Ergebnisse der chemisch-physikalischen und mikrobiologischen Untersuchungen in den Versuchsansätzen mit *Pseudomonas aeruginosa* mit hoher Keimkonzentration

Pseudomonas aeruginosa-Konzentration

in den Versuchsansätzen: 120.000 - 150.000 KBE/100 ml

In den nachfolgenden Tabellen sind die aktuellen Kriterien, wie Temperatur, pH-Wert und die mikrobiologischen Kriterien bei unterschiedlichen Chlorkonzentrationen dargestellt.

Darüberhinaus wurde bei allen Versuchsansätzen auch die Bildung der Trihalogenmethane und organischen Chlorverbindungen bei den unterschiedlichen Anfangschlorkonzentrationen überprüft.

Tab. 21: Chemisch-physikalische und mikrobiologische Parameter des Versuchsansatzes mit *Pseudomonas aeruginosa* in Abhängigkeit von der Zeit

***Pseudomonas aeruginosa*-Konzentration: 140.000 KBE/100 ml**
Chlor-Konzentrationsbereich: 1,2 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser nach Zugabe der Keime	Versuchsansatz aus Leitungswasser und Keimen nach Zugabe des Analyts				
			nach Durch- mischung	nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min
freies Chlor	mg/l	0	1,16	1,14	1,13	1,07	1,01
gebundenes Chlor	mg/l	0	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05
Gesamt- Chlor	mg/l	0	1,18	1,17	1,16	1,11	1,06
pH-Wert	-	7,82	7,70	7,69	7,69	7,71	7,79
Temperatu- r	° C	13,4	13,9	14,3	14,8	17,1	20,2
100 ml des Ansatzes in Malachitgr ün-Bouil.		pos	pos	neg	neg	neg	neg
Ausstrich auf Cetremid- Agar		pos	pos	neg	neg	neg	neg
Koloniezah- l in 1 ml bei 36 °C	KBE pro 1 ml	1.400	0	0	0	0	0
Ps. aeru- ginosa in 100 ml	KBE pro 100 ml	140.000	≥ 1 <100	0	0	0	0

Tab. 22: Organische Chlorverbindungen + Trihalogenmethane mit *Pseudomonas aeruginosa* in Abhängigkeit von der Zeit

***Pseudomonas aeruginosa*-Konzentration: 140.000 KBE/100 ml**
Chlor-Konzentrationsbereich: 1,2 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser	Versuchsansatz aus Leitungswasser nach Zugabe des Analyts				
			nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min	nach 60 min

Organische Chlorverbindungen nach Anlage 2 Lfd. Nr. 12 der TVO

1,1,1-Trichlorethan	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Trichlorethen	mg/l	0,00004	0,00005	0,00003	0,00005	0,00005	0,00001
Tetrachlorethen	mg/l	0,00005	0,00007	0,00006	0,00005	0,00003	0,00003
Dichlormethan	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tetrachlormethan	mg/l	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
-------------------------	------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Grenzwert nach TVO = 0,003 mg/l

Trihalogenmethane (THM) nach Anlage 3 der TVO

Chloroform	mg/l	0,00040	0,00040	0,00057	0,00054	0,00045	0,00036
Dichlorbrommethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Dibromchlormethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001
Bromoform	mg/l	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tab. 23: Chemisch-physikalische und mikrobiologische Parameter des Versuchsansatzes mit *Pseudomonas aeruginosa* in Abhängigkeit von der Zeit

***Pseudomonas aeruginosa*-Konzentration: 150.000 KBE/100 ml**
Chlor-Konzentrationsbereich: 0,5 mg/l

Organische Chlorverbindungen nach Anlage 2 Lfd. Nr. 12 der TVO

1,1,1-Trichlorethan	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Trichlorethen	mg/l	0,00015	0,00005	0,00002	0,00003	0,00003	0,00005
Tetrachlorethen	mg/l	0,00015	0,00007	0,00006	0,00007	0,00014	0,00013
Dichlormethan	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tetrachlormethan	mg/l	0,00003	0,00001	0,00001	0,00002	0,00002	0,00002
-------------------------	------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Grenzwert nach TVO = 0,003 mg/l**Trihalogenmethane (THM) nach Anlage 3 der TVO**

Chloroform	mg/l	0,00057	0,00028	0,00032	0,00035	0,00057	0,00058
Dichlorbrommethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Dibromchlormethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0002	0,0004
Bromoform	mg/l	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tab. 25: Chemisch-physikalische und mikrobiologische Parameter des Versuchsansatzes mit *Pseudomonas aeruginosa* in Abhängigkeit von der Zeit

***Pseudomonas aeruginosa*-Konzentration: 140.000 KBE/100 ml**
Chlor-Konzentrationsbereich: 0,3 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser nach Zugabe der Keime	Versuchsansatz aus Leitungswasser und Keimen nach Zugabe des Analyts				
			nach Durchmischung	nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min
freies Chlor	mg/l	0	0,29	0,28	0,26	0,23	0,19
gebundenes Chlor	mg/l	0	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Gesamt-Chlor	mg/l	0	0,30	0,30	0,28	0,25	0,22
pH-Wert	-	7,80	7,79	7,79	7,78	7,85	7,95
Temperatur	° C	13,2	13,5	14,0	14,6	16,8	19,7
100 ml des Ansatzes in Malachitgrün-Bouill.		pos	pos	neg	neg	neg	neg
Ausstrich auf Cetremid-Agar		pos	pos	neg	neg	neg	neg
Koloniezahl in 1 ml bei 36 °C	KBE pro 1 ml	1.400	0	0	0	0	0
<i>Ps. aeruginosa</i> in 100 ml	KBE pro 100 ml	140.000	≥ 1 <100	0	0	0	0

Tab. 26: Organische Chlorverbindungen + Trihalogenmethane mit *Pseudomonas aeruginosa* in Abhängigkeit von der Zeit

***Pseudomonas aeruginosa*-Konzentration: 140.000 KBE/100 ml**
Chlor-Konzentrationsbereich: 0,3 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser	Versuchsansatz aus Leitungswasser nach Zugabe des Analyts				
			nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min	nach 60 min

Organische Chlorverbindungen nach Anlage 2 Lfd. Nr. 12 der TVO

1,1,1-Trichlorethan	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Trichlorethen	mg/l	0,00005	0,00004	0,00006	0,00004	0,00004	0,00003
Tetrachlorethen	mg/l	0,00007	0,00009	0,00011	0,00011	0,00009	0,00008
Dichlormethan	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tetrachlormethan	mg/l	0,00004	0,00003	0,00003	0,00004	0,00002	0,00002
-------------------------	------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Grenzwert nach TVO = 0,003 mg/l

Trihalogenmethane (THM) nach Anlage 3 der TVO

Chloroform	mg/l	0,00048	0,00070	0,00067	0,00079	0,00078	0,00090
Dichlorbrommethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Dibromchlormethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0002	0,0001	0,0001
Bromoform	mg/l	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tab. 27: Chemisch-physikalische und mikrobiologische Parameter des Versuchsansatzes mit *Pseudomonas aeruginosa* in Abhängigkeit von der Zeit

Pseudomonas aeruginosa-Konzentration: 120.000 KBE/100 ml
Chlor-Konzentrationsbereich: 0,15 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser nach Zugabe der Keime	Versuchsansatz aus Leitungswasser und Keimen nach Zugabe des Analyts				
			nach Durch- mischung	nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min
freies Chlor	mg/l	0	0,16	0,13	0,11	0,09	0,06
gebundenes Chlor	mg/l	0	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
Gesamt- Chlor	mg/l	0	0,17	0,15	0,13	0,12	0,09
pH-Wert	-	7,80	7,78	7,79	7,79	7,82	7,96
Temperatu- r	° C	13,8	14,4	14,8	15,2	17,2	20,1
100 ml des Ansatzes in Malachitgr ün-Bouil.		pos	pos	neg	neg	neg	neg
Ausstrich auf Cetremid- Agar		pos	pos	neg	neg	neg	neg
Koloniezah- l in 1 ml bei 36 °C	KBE pro 1 ml	1.200	0	0	0	0	0
Ps. aeru- ginosa in 100 ml	KBE pro 100 ml	120.000	≥ 1 <100	0	0	0	0

Tab. 28: Organische Chlorverbindungen + Trihalogenmethane mit *Pseudomonas aeruginosa* in Abhängigkeit von der Zeit

***Pseudomonas aeruginosa*-Konzentration: 120.000 KBE/100 ml**
Chlor-Konzentrationsbereich: 0,15 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser	Versuchsansatz aus Leitungswasser nach Zugabe des Analyts				
			nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min	nach 60 min

Organische Chlorverbindungen nach Anlage 2 Lfd. Nr. 12 der TVO

1,1,1-Trichlorethan	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Trichlorethen	mg/l	0,00004	0,00003	0,00009	0,00004	0,00003	0,00003
Tetrachlorethen	mg/l	0,00006	0,00005	0,00009	0,00010	0,00005	0,00005
Dichlormethan	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tetrachlormethan	mg/l	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001
-------------------------	------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Grenzwert nach TVO = 0,003 mg/l

Trihalogenmethane (THM) nach Anlage 3 der TVO

Chloroform	mg/l	0,00050	0,00030	0,00046	0,00030	0,00028	0,00051
Dichlorbrommethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Dibromchlormethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001
Bromoform	mg/l	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tab. 29: Übersicht über die chemisch-physikalischen Kriterien mit steigendem Chlorgehalt bei den Versuchansätzen mit *Pseudomonas aeruginosa* bei hoher Keimkonzentration nach jeweils 60 Minuten Reaktionszeit

Kriterium	Einheit	Anfangskonzentration an freiem Chlor [mg/l]			
		0,15	0,30	0,50	1,20
gebundenes Chlor	[mg/l]	0,03	0,03	0,04	0,05
pH-Wert	[-]	7,96	7,95	7,86	7,79
Trihalogenmethane im Versuchsansatz	[mg/l]	0,00061	0,00100	0,00098	0,00046
Trihalogenmethane im Versuchsansatz nach Abzug der Trihalogenmethane im Leitungswasser	[mg/l]	0,00011	0,00052	0,00041	0,00006

Beurteilung der Versuchsreihe mit *Pseudomonas aeruginosa* bei hoher Keimkonzentration

Bei der Versuchsreihe mit der hohen Keimkonzentration an *Pseudomonas aeruginosa* waren bei allen untersuchten Anfangs-Chlorkonzentrationen erst nach 5 Minuten in 100 ml keine Keime mehr nachweisbar. Nach 1 Minute Versuchszeit zeigten 100 ml des Versuchsansatzes in Malachitgrün-Bouillon und der entsprechende Ausstrich auf Cetremid-Agar eine positive Reaktion, und zwar bei allen untersuchten Anfangs-Chlorkonzentrationen. Da in 1 ml dieser Versuchsansätze nach 1 Minute aber keine Keime nachweisbar waren, bedeutet dies, daß nach 1 Minute in 100 ml der Versuchsansätze die Keimzahl kleiner als 100 KBE/100 ml aber mindestens 1 KBE/100 ml ist.

Deshalb wurde noch eine Versuchsreihe mit mittlerer *Pseudomonas*-Konzentration bei allen vier Anfangs-Chlorkonzentrationen durchgeführt.

9. Ergebnisse der chemisch-physikalischen und mikrobiologischen Untersuchungen in den Versuchsansätzen mit *Pseudomonas aeruginosa* mit mittlerer Keimkonzentration

***Pseudomonas aeruginosa*-Konzentration in den Versuchsansätzen: 4.100 - 5.600 KBE/100 ml**

In den nachfolgenden Tabellen sind die aktuellen Kriterien, wie Temperatur, pH-Wert und die mikrobiologischen Kriterien bei unterschiedlichen Chlorkonzentrationen dargestellt.

Darüberhinaus wurde bei allen Versuchsansätzen auch die Bildung der Trihalogenmethane und organischen Chlorverbindungen bei den unterschiedlichen Anfangschlorkonzentrationen überprüft.

Tab. 30: Chemisch-physikalische und mikrobiologische Parameter des Versuchsansatzes mit *Pseudomonas aeruginosa* in Abhängigkeit von der Zeit

Pseudomonas aeruginosa-Konzentration: 5.400 KBE/100 ml
Chlor-Konzentrationsbereich: 1,2 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser nach Zugabe der Keime	Versuchsansatz aus Leitungswasser und Keimen nach Zugabe des Analyts				
			nach Durchmischung	nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min
freies Chlor	mg/l	0	1,21	1,20	1,19	1,17	1,14
gebundenes Chlor	mg/l	0	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Gesamt-Chlor	mg/l	0	1,23	1,22	1,21	1,20	1,17
pH-Wert	-	7,87	7,76	7,76	7,77	7,77	7,78
Temperatur	° C	16,9	17,1	17,2	17,4	18,1	19,2
100 ml des Ansatzes in Malachitgrün-Bouill.		pos	neg	neg	neg	neg	neg
Ausstrich auf Cetremid-Agar		pos	neg	neg	neg	neg	neg
Koloniezahl in 1 ml bei 36 °C	KBE pro 1 ml	54	0	0	0	0	0
Ps. aeruginosa in 100 ml	KBE pro 100 ml	5.400	0	0	0	0	0

Tab. 31: Organische Chlorverbindungen + Trihalogenmethane mit *Pseudomonas aeruginosa* in Abhängigkeit von der Zeit

***Pseudomonas aeruginosa*-Konzentration: 5.400 KBE/100 ml**
Chlor-Konzentrationsbereich: 1,2 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser	Versuchsansatz aus Leitungswasser nach Zugabe des Analyts				
			nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min	nach 60 min

Organische Chlorverbindungen nach Anlage 2 Lfd. Nr. 12 der TVO

1,1,1-Trichlorethan	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Trichlorethen	mg/l	0,00004	0,00005	0,00004	0,00011	0,00010	0,00012
Tetrachlorethen	mg/l	0,00028	0,00030	0,00030	0,00030	0,00031	0,00030
Dichlormethan	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tetrachlormethan	mg/l	0,00001	0,00002	0,00002	0,00003	0,00003	0,00003
-------------------------	------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Grenzwert nach TVO = 0,003 mg/l

Trihalogenmethane (THM) nach Anlage 3 der TVO

Chloroform	mg/l	0,00045	0,00043	0,00051	0,00050	0,00047	0,00066
Dichlorbrommethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Dibromchlormethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001	0,0001
Bromoform	mg/l	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tab. 32: Chemisch-physikalische und mikrobiologische Parameter des Versuchsansatzes mit *Pseudomonas aeruginosa* in Abhängigkeit von der Zeit

Pseudomonas aeruginosa-Konzentration: 4.100 KBE/100 ml
Chlor-Konzentrationsbereich: 0,5 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser nach Zugabe der Keime	Versuchsansatz aus Leitungswasser und Keimen nach Zugabe des Analyts				
			nach Durchmischung	nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min
freies Chlor	mg/l	0	0,51	0,50	0,48	0,47	0,44
gebundenes Chlor	mg/l	0	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Gesamt-Chlor	mg/l	0	0,52	0,52	0,50	0,49	0,47
pH-Wert	-	7,87	7,82	7,83	7,82	7,84	7,86
Temperatur	° C	16,8	16,9	17,1	17,4	18,1	19,1
100 ml des Ansatzes in Malachitgrün-Bouill.		pos	neg	neg	neg	neg	neg
Ausstrich auf Cetremid-Agar		pos	neg	neg	neg	neg	neg
Koloniezahl in 1 ml bei 36 °C	KBE pro 1 ml	41	0	0	0	0	0
Ps. aeruginosa in 100 ml	KBE pro 100 ml	4.100	0	0	0	0	0

Tab. 33: Organische Chlorverbindungen + Trihalogenmethane mit *Pseudomonas aeruginosa* in Abhängigkeit von der Zeit

***Pseudomonas aeruginosa*-Konzentration: 4.100 KBE/100 ml**
Chlor-Konzentrationsbereich: 0,5 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser	Versuchsansatz aus Leitungswasser nach Zugabe des Analyts				
			nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min	nach 60 min

Organische Chlorverbindungen nach Anlage 2 Lfd. Nr. 12 der TVO

1,1,1-Trichlorethan	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Trichlorethen	mg/l	0,00004	0,00003	0,00003	0,00004	0,00006	0,00006
Tetrachlorethen	mg/l	0,00019	0,00024	0,00020	0,00021	0,00027	0,00026
Dichlormethan	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tetrachlormethan	mg/l	0,00001	0,00002	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003
-------------------------	------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Grenzwert nach TVO = 0,003 mg/l

Trihalogenmethane (THM) nach Anlage 3 der TVO

Chloroform	mg/l	0,00028	0,00032	0,00041	0,00046	0,00049	0,00056
Dichlorbrommethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Dibromchlormethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Bromoform	mg/l	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tab. 34: Chemisch-physikalische und mikrobiologische Parameter des Versuchsansatzes mit *Pseudomonas aeruginosa* in Abhängigkeit von der Zeit

***Pseudomonas aeruginosa*-Konzentration: 5.600 KBE/100 ml**
Chlor-Konzentrationsbereich: 0,3 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser nach Zugabe der Keime	Versuchsansatz aus Leitungswasser und Keimen nach Zugabe des Analyts				
			nach Durch- mischung	nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min
freies Chlor	mg/l	0	0,28	0,27	0,27	0,23	0,20
gebundenes Chlor	mg/l	0	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Gesamt- Chlor	mg/l	0	0,29	0,28	0,28	0,25	0,22
pH-Wert	-	7,87	7,84	7,86	7,86	7,86	7,87
Temperatu- r	° C	16,7	16,8	16,9	17,0	18,0	19,3
100 ml des Ansatzes in Malachitgr ün-Bouil.		pos	neg	neg	neg	neg	neg
Ausstrich auf Cetremid- Agar		pos	neg	neg	neg	neg	neg
Koloniezah- l in 1 ml bei 36 °C	KBE pro 1 ml	56	0	0	0	0	0
Ps. aeru- ginosa in 100 ml	KBE pro 100 ml	5.600	0	0	0	0	0

Tab. 35: Organische Chlorverbindungen + Trihalogenmethane mit *Pseudomonas aeruginosa* in Abhängigkeit von der Zeit

***Pseudomonas aeruginosa*-Konzentration: 5.600 KBE/100 ml**
Chlor-Konzentrationsbereich: 0,3 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser	Versuchsansatz aus Leitungswasser nach Zugabe des Analyts				
			nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min	nach 60 min

Organische Chlorverbindungen nach Anlage 2 Lfd. Nr. 12 der TVO

1,1,1-Trichlorethan	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Trichlorethen	mg/l	0,00004	0,00003	0,00003	0,00004	0,00006	0,00006
Tetrachlorethen	mg/l	0,00019	0,00024	0,00020	0,00021	0,00027	0,00026
Dichlormethan	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tetrachlormethan	mg/l	0,00001	0,00002	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003
-------------------------	------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Grenzwert nach TVO = 0,003 mg/l

Trihalogenmethane (THM) nach Anlage 3 der TVO

Chloroform	mg/l	0,00028	0,00032	0,00041	0,00046	0,00049	0,00056
Dichlorbrommethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Dibromchlormethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Bromoform	mg/l	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tab. 36: Chemisch-physikalische und mikrobiologische Parameter des Versuchsansatzes mit *Pseudomonas aeruginosa* in Abhängigkeit von der Zeit

Pseudomonas aeruginosa-Konzentration: 5.200 KBE/100 ml
Chlor-Konzentrationsbereich: 0,15 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser nach Zugabe der Keime	Versuchsansatz aus Leitungswasser und Keimen nach Zugabe des Analyts				
			nach Durchmischung	nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min
freies Chlor	mg/l	0	0,16	0,15	0,15	0,13	0,11
gebundenes Chlor	mg/l	0	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Gesamt-Chlor	mg/l	0	0,18	0,16	0,16	0,15	0,13
pH-Wert	-	7,88	7,86	7,87	7,87	7,88	7,89
Temperatur	° C	16,8	16,8	16,9	17,1	18,2	19,4
100 ml des Ansatzes in Malachitgrün-Bouill.		pos	pos	neg	neg	neg	neg
Ausstrich auf Cetremid-Agar		pos	pos	neg	neg	neg	neg
Koloniezahl in 1 ml bei 36 °C	KBE pro 1 ml	52	0	0	0	0	0
Ps. aeruginosa in 100 ml	KBE pro 100 ml	5.200	≥ 1 < 100	0	0	0	0

Tab. 37: Organische Chlorverbindungen + Trihalogenmethane mit *Pseudomonas aeruginosa* in Abhängigkeit von der Zeit

***Pseudomonas aeruginosa*-Konzentration: 5.200 KBE/100 ml**
Chlor-Konzentrationsbereich: 0,15 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser	Versuchsansatz aus Leitungswasser nach Zugabe des Analyts				
			nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min	nach 60 min

Organische Chlorverbindungen nach Anlage 2 Lfd. Nr. 12 der TVO

1,1,1-Trichlorethan	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Trichlorethen	mg/l	0,00002	0,00003	0,00005	0,00004	0,00006	0,00006
Tetrachlorethen	mg/l	0,00011	0,00020	0,00020	0,00018	0,00019	0,00024
Dichlormethan	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tetrachlormethan	mg/l	0,00001	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002
-------------------------	------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Grenzwert nach TVO = 0,003 mg/l

Trihalogenmethane (THM) nach Anlage 3 der TVO

Chloroform	mg/l	0,00018	0,00022	0,00031	0,00029	0,00031	0,00042
Dichlorbrommethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	0,0001
Dibromchlormethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Bromoform	mg/l	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tab. 38: Übersicht über die chemisch-physikalischen Kriterien mit steigendem Chlorgehalt bei den Versuchsansätzen mit *Pseudomonas aeruginosa* bei mittlerer Keimkonzentration nach jeweils 60 Minuten Reaktionszeit

Kriterium	Einheit	Anfangskonzentration an freiem Chlor [mg/l]			
		0,15	0,30	0,50	1,20
gebundenes Chlor	[mg/l]	0,02	0,02	0,03	0,03
pH-Wert	[-]	7,89	7,87	7,86	7,78
Trihalogenmethane im Versuchsansatz	[mg/l]	0,00052	0,00056	0,00056	0,00066
Trihalogenmethane im Versuchsansatz nach Abzug der	[mg/l]	0,00034	0,00028	0,00028	0,00021
Trihalogenmethane im Leitungswasser					

Beurteilung der Versuchsreihe mit *Pseudomonas aeruginosa* bei mittlerer Keimkonzentration

Bei der Versuchsreihe mit der mittleren Keimkonzentration an *Pseudomonas aeruginosa* waren bei Anfangs-Chlorkonzentrationen im Bereich von 1,2 bis 0,3 mg/l schon nach 1 Minute in 100 ml keine Keime mehr nachweisbar. Nur bei der niedrigsten eingestellten Anfangs-Chlorkonzentration von 0,15 mg/l zeigten 100 ml des Versuchsansatzes in Malachitgrün-Bouillon und der entsprechende Ausstrich auf Cetremid-Agar eine positive Reaktion. Da in 1 ml dieses Versuchsansatzes nach 1 Minute aber keine Keime nachweisbar waren, bedeutet dies, daß nach 1 Minute in 100 ml des Versuchsansatzes die Keimzahl kleiner als 100 KBE/100 ml aber mindestens 1 KBE/100 ml ist.

Deshalb wurde noch eine Versuchsreihe mit niedriger *Pseudomonas aeruginosa*-Konzentration durchgeführt.

10. Ergebnisse der chemisch-physikalischen und mikrobiologischen Untersuchungen in den Versuchsansätzen mit

***Pseudomonas aeruginosa* mit niedriger Keimkonzentration**

Pseudomonas aeruginosa-Konzentration im Versuchsansatz: 300 KBE/100 ml

In den nachfolgenden Tabellen sind die aktuellen Kriterien, wie Temperatur, pH-Wert und die mikrobiologischen Kriterien bei unterschiedlichen Chlorkonzentrationen dargestellt.

Darüberhinaus wurde bei allen Versuchsansätzen auch die Bildung der Trihalogenmethane und organischen Chlorverbindungen bei den unterschiedlichen Anfangschlorkonzentrationen überprüft.

Tab. 39: Chemisch-physikalische und mikrobiologische Parameter des Versuchsansatzes mit *Pseudomonas aeruginosa* in Abhängigkeit von der Zeit

Pseudomonas aeruginosa-Konzentration: 300 KBE/100 ml
Chlor-Konzentrationsbereich: 0,15 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser nach Zugabe der Keime	Versuchsansatz aus Leitungswasser und Keimen nach Zugabe des Analyts				
			nach Durch- mischung	nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min
freies Chlor	mg/l	0	0,14	0,13	0,12	0,09	0,07
gebundenes Chlor	mg/l	0	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Gesamt- Chlor	mg/l	0	0,14	0,14	0,13	0,10	0,08
pH-Wert	-	7,88	7,86	7,87	7,87	7,88	7,88
Temperatu- r	° C	16,7	16,7	16,9	17,2	18,1	19,1
100 ml des Ansatzes in Malachitgr ün-Bouil.		pos	pos	neg	neg	neg	neg
Ausstrich auf Cetremid- Agar		pos	pos	neg	neg	neg	neg
Koloniezah- l in 1 ml bei 36 °C	KBE pro 1 ml	3	0	0	0	0	0
Ps. aeru- ginosa in 100 ml	KBE pro 100 ml	300	≥ 1 <100	0	0	0	0

Tab. 40: Organische Chlorverbindungen + Trihalogenmethane mit *Pseudomonas aeruginosa* in Abhängigkeit von der Zeit

Pseudomonas aeruginosa-Konzentration: 300 KBE/100 ml
Chlor-Konzentrationsbereich: 0,15 mg/l

Parameter	Einheit	Leitungswasser	Versuchsansatz aus Leitungswasser nach Zugabe des Analyts				
			nach 1 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min	nach 60 min

Organische Chlorverbindungen nach Anlage 2 Lfd. Nr. 12 der TVO

1,1,1-Trichlorethan	mg/l	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Trichlorethen	mg/l	0,00002	0,00002	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003
Tetrachlorethen	mg/l	0,00012	0,00013	0,00017	0,00016	0,00016	0,00018
Dichlormethan	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Tetrachlormethan	mg/l	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00002
-------------------------	------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Grenzwert nach TVO = 0,003 mg/l

Trihalogenmethane (THM) nach Anlage 3 der TVO

Chloroform	mg/l	0,00014	0,00020	0,00021	0,00019	0,00021	0,00023
Dichlorbrommethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Dibromchlormethan	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Bromoform	mg/l	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005

Grenzwert nach TVO als Summe der 4 Verbindungen = 0,01mg/l

Beurteilung der Versuchsreihe mit *Pseudomonas aeruginosa* bei niedriger Keimkonzentration

Auch bei der niedrigsten untersuchten *Pseudomonas aeruginosa*-Konzentration von

300 KBE/100 ml zeigten 100 ml des Versuchsansatzes bei der niedrigsten eingestellten Anfangs-Chlorkonzentration von 0,15 mg/l in Malachigrün-Bouillon und der entsprechende Ausstrich auf Cetremid-Agar eine positive Reaktion. Da in 1 ml dieses Versuchsansatzes nach 1 Minute aber keine Keime nachweisbar waren, bedeutet dies, daß nach 1 Minute in 100 ml des Versuchsansatzes die Keimzahl kleiner als 100 KBE/100 ml aber mindestens 1 KBE/100 ml ist.

Pseudomonas aeruginosa ist also auch bei sehr niedrigen Keimkonzentrationen bei einer Anfangs-Chlorkonzentration von 0,15 mg/l nach 1 Minute im Versuchsansatz immer noch nachweisbar. Bei höheren Anfangs-Chlorkonzentrationen im Bereich von 0,3 bis 1,2 mg/l wird hingegen auch *Pseudomonas aeruginosa* innerhalb 1 Minute abgetötet.

11. Beurteilung

Bei den zur Überprüfung der desinfizierenden Wirkung des „Analyts“ durchgeführten Untersuchungen wurden verschiedene Keimkonzentrationen von

- *Escherichia coli* und
- *Pseudomonas aeruginosa*

in abgestuften Konzentrationen an freiem Chlor überprüft. Zwecks einer praxisorientierten Anwendung wurden die obigen Testkeime aus den in unserem Labor routinemäßig untersuchten Wasserproben isoliert und angezchtet und das für die Versuchsreihen benutzte Wasser stammte aus dem Wassernetz der Stadt Lollar.

Die Ergebnisse der verschiedenen Versuchsreihen mit der „Analyt“-Lösung haben gezeigt, dass der untersuchte „Analyt“ ein effektives Desinfektionsmittel ist.

Die Versuche mit dem Testkeim *Escherichia coli* ergaben, dass eine mit dem Analyt eingestellte Konzentration an freiem Chlor im Bereich von 1,2 mg/l bis 0,3 mg/l bei Keimkonzentrationen bis zu 140.000 KBE/100 ml schon nach 1 Minute Reaktionszeit eine vollkommene Abtötung der Keime bewirkt. Bei einer Konzentration an freiem Chlor unter 0,3 mg/l wird die Desinfektionszeit bei hoher *Escherichia coli*-Konzentration allerdings auf 5 Minuten erhöht. Bei *Escherichia coli*-Konzentrationen bis zu 7.500 KBE/100 ml reicht auch schon eine Konzentration an freiem Chlor von 0,15 mg/l aus, um nach 1 Minute eine vollständige Desinfektion zu bewirken.

Die Versuche mit dem Testkeim *Pseudomonas aeruginosa* zeigten, dass dieser Keim etwas resistenter auf den Analyt reagiert. Eine mit dem Analyt eingestellte Konzentration an freiem Chlor im Bereich von 1,2 mg/l bis 0,15 mg/l bewirkte bei hohen *Pseudomonas aeruginosa*-Konzentrationen zwischen 120.000 und 150.000 KBE/100 ml im Gegensatz zu *Escherichia coli* erst nach

5 Minuten eine vollständige Keimabtötung. Bei mittleren *Pseudomonas aeruginosa*-

Konzentrationen von 4.100 bis 5.600 KBE/100 ml war im Konzentrationsbereich von 1,2 mg/l bis 0,3 mg/l freies Chlor aber auch hier schon eine vollständige Desinfektion nach 1 Minute erreicht. Die weiteren Versuche zeigten aber, daß 0,15 mg/l freies Chlor zur vollständigen Abtötung von *Pseudomonas aeruginosa* innerhalb 1 Minute nicht ausreichen, denn selbst bei einer so niedrigen *Pseudomonas aeruginosa*-Konzentration von 300 KBE/100 ml war eine vollständige Desinfektion erst nach 5 Minuten erreicht.

Die Untersuchung auf organische Chlorverbindungen und Trihalogenmethane haben gezeigt, daß die durch die Behandlung des Leitungswassers mit dem Anolyt entstehenden organischen Halogenverbindungen deutlich unter den für diese Substanzen nach der Trinkwasserverordnung geltenden Grenzwerten liegen, und zwar im gesamten untersuchten Konzentrationsbereich von 0,15 mg/l bis 1,2 mg/l freies Chlor. Auch das gebundene Chlor zeigte selbst nach einer Stunde Reaktionszeit bei einer hohen Anfangskonzentration an freiem Chlor von 0,5 - 1,2 mg/l in den Ansätzen mit hoher Keimkonzentration einen Maximalwert von nur 0,05 mg/l.

Weiterhin haben die Untersuchungen gezeigt, daß das Redoxpotential, das beim Lollarer Leitungswasser bei 245 mV liegt, durch die Anolyt-Zugabe entsprechend ansteigt, und zwar auf etwa 666 mV bei einer freien Chlorkonzentration von 0,15 mg/l und auf etwa 770 mV bei einer freien Chlorkonzentration von 1,2 mg/l.

Der pH-Wert des Leitungswassers wird nur geringfügig durch den Anolyt beeinflusst wird. Da der Anolyt eine saure Lösung ist, bewirkt er nach Zudosierung eine Erniedrigung des pH-Wertes des Leitungswassers. Diese pH-Absenkung ist aber selbst bei einer hohen einer freien Chlorkonzentration von 1,2 mg/l entsprechenden Anolyt-Zugabe unter 0,2 pH-Einheiten.

Zusammenfassend kann man also sagen, daß der vom Gerät Envirolyte der Firma Envirolyte Industries International Ltd. hergestellte „Anolyt“ ein effektives Desinfektionsmittel ist. Da außerdem die bei Desinfektionsmitteln auf Chlorbasis üblicherweise entstehenden organischen Halogenverbindungen bei allen untersuchten Anolyt-Zugaben deutlich unter dem Grenzwert nach der Trinkwasserverordnung lagen und ferner der pH-Wert des Leitungswassers nur geringfügig beeinflusst wird, ist der vom Gerät Envirolyte der Firma Envirolyte Industries

International Ltd. hergestellte „Anolyt“ zur Trinkwasser-Desinfektion geeignet.

Dr. J. Prucha

Dr. W. Schulz