

Hochschule Trier
Fachrichtung Bauingenieurwesen
Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft

Bachelor-Thesis

Eine einfache Methode zur Trinkwasseraufbereitung in Entwicklungsländern

vorgelegt von: Luu, Triet-Vu
am: 20.06.16
Matrikelnummer: 952617

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Joachim Sartor

Bachelor-Thesis

für Herrn cand. ing. Triet-Vu Luu (Matr.-Nr. 952617)

Eine einfache Methode zur Trinkwasseraufbereitung in Entwicklungsländern

Die sichere Versorgung mit Trinkwasser ist eines der Hauptprobleme in den Entwicklungsländern. Rund 780 Mio. Menschen haben derzeit keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser. Verschmutztes Wasser und schlechte sanitäre Versorgung kosten täglich weltweit mehreren Tausend Kindern das Leben.

In diesem Zusammenhang besteht unter den Verantwortlichen sowie Entwicklungshelfern weitgehende Einigkeit, dass eine reine Kopierung der Wasserversorgungssysteme, wie sie in Industriestaaten zu finden sind, nicht zweckdienlich ist. Vielmehr sind einfache („low tech“) Systeme gefragt, die in von den betroffenen Ländern selbst hergestellt und betrieben werden können, also zu keinen neuen Abhängigkeiten führen.

Eine solche Möglichkeit könnte das in der Chemie schon länger bekannte Verfahren zur Chlorbildung mittels Salzlösung und z.B. einer einfachen Autobatterie sein (ggf. gespeist durch eine PV-Anlage). Das so gewonnene Chlor könnte dann gemäß den Vorgaben der Weltgesundheitsorganisation WHO zur Aufbereitung von bakterienhaltigem Regen-, Oberflächen- oder Grundwasser dienen.

Im Rahmen dieser Thesis sollen zunächst die theoretischen Grundlagen und Vorgaben der WHO zu dieser Thematik zusammengefasst werden sowie prinzipielle Einsatzmöglichkeiten dargestellt werden. Anschließend sind eine einfache Apparatur zur wie oben beschriebenen Chlorerzeugung zu bauen und damit im Labor entsprechende Versuche durchzuführen, um die praktische Eignung des Verfahrens nachzuweisen.

Sämtliche Datensätze sind der Arbeit auf Datenträger beizufügen.

Trier, den 09.05.2016



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis.....	IV
Abkürzungs- und Einheitenverzeichnis	V
1 Einleitung	1
2 Grundlagen der Wasseraufbereitung	3
2.1 Ziele	3
2.2 Verfahren	3
2.2 Desinfektionsverfahren	4
3 Vorschriften und Empfehlungen	8
3.1 TrinkwV 2001	8
3.2 WHO	9
3.3 WASH	9
4 Chlorherstellung	10
4.1 Idee und Konzept des Elektrolyse-Geräts.....	10
4.2 Aufbau des Geräts	11
4.2.1 Aufbau des nachgebauten Elektrolyse-Geräts	11
4.2.1.1 Aufbewahrungsbox.....	11
4.2.1.2 Batterie	12
4.2.1.3 Elektroden.....	13
4.2.1.3.1 Anode	13
4.2.1.3.2 Kathode	14
4.2.1.4 Stromkabel.....	15
4.2.1.5 Salz	15
4.2.1.6 Verbindungsmaterial zwischen Stromkabel und Anschlussfahnen der Elektroden	16
4.2.2 Aufbau des Prototypens	16
4.3 Prozess der Elektrolyse	17
4.4 Durchführung	19
4.5 Fehlversuche beim Nachbau des Elektrolyse-Geräts.....	21
4.5.1 Verzinkter Stahl als Elektrodenmaterial	21
4.5.2 Edelstahl als Elektrodenmaterial.....	22
4.5.3 Aluminium als Elektrodenmaterial	22
4.6 Desinfektionsnebenprodukte (Trihalogenmethane)	23
4.7 Auflösung der Bleidioxid-Beschichtung	24
5 Laboranalysen	25
5.1 Rohwässer	25
5.1.1 Kläranlagen-Auslaufwasser	25
5.1.2 Brunnenwasser	25

5.1.3 Oberflächenwasser	25
5.1.4 Moselwasser	25
5.2 Chlor-Konzentration	26
5.2.1 „Schwimmbad Test 5 in 1“-Teststäbchen	26
5.2.1.1 Untersuchung des Chlor-Konzentrats des Prototyps	26
5.2.1.2 Untersuchung des Chlor-Konzentrats des nachgebauten Elektrolyse-Geräts	27
5.2.2 Photometrische Messung	28
5.2.2.1 Reagenzien	28
5.2.2.2 Digital-Photometer	29
5.2.2.3 Durchführung	30
5.2.2.4 Ergebnisse	31
5.2.2.4.1 Ergebnisse des nachgebauten Elektrolyse-Geräts	31
5.2.2.4.2 Ergebnisse des Prototyps	32
5.3 Chemische Analysen	33
5.3.1 pH-Wert	33
5.3.1.1 Grundlagen	33
5.3.1.2 Ergebnisse	34
5.3.2 Leitfähigkeit	34
5.3.2.1 Grundlagen	34
5.3.2.1 Ergebnisse	36
5.3.3 Ionenchromatographie	37
5.3.3.1 Grundlagen	37
5.3.3.2 Ergebnisse	39
5.4 Keimbestimmung und Nachweis von E. coli (Membranfilter-Verfahren)	40
5.4.1 Grundlagen	40
5.4.1.1 E. coli	40
5.4.1.2 Coliforme Bakterien	40
5.4.2 Beschreibung des Verfahrens	41
5.4.2.1 Aufbau	41
5.4.2.2 Nährkartonscheiben (NKS)	41
5.4.2.2.1 Colichrom-NKS	42
5.4.2.2.2 Caso-NKS	42
5.4.2.3 Arbeitsschritte	43
5.4.3 Auszählung der E. coli, coliforme Bakterien und Gesamtkeime	45
5.4.3.1 Nachgebautes Elektrolyse-Gerät	45
5.4.3.2 Prototyp	46
5.5 Auswertung der Ergebnisse	47
5.5.1 Chlor-Konzentration	47
5.5.2 pH-Wert	49
5.5.3 Leitfähigkeit	49
5.5.4 Ionenchromatographie	50
5.5.5 Membranfilter-Verfahren	50
6 Zusammenfassung und Ausblick	51
7 Literaturverzeichnis	53
8 Anlagenverzeichnis	56

Abbildungsverzeichnis

Seite

Abb. 2.1:	Anteile der unterchlorigen Säure bei verschiedenen pH-Werten [6]	6
Abb. 4.1:	Gesamtaufbau des nachgebauten Elektrolyse-Geräts	11
Abb. 4.2:	Aufbewahrungsbox	12
Abb. 4.3:	Batterie	13
Abb. 4.4:	Titananode mit Bleidioxid-Beschichtung	14
Abb. 4.5:	Titankathode	14
Abb. 4.6:	Salz	15
Abb. 4.7:	Verbindungsmaterial	16
Abb. 4.8:	Prototyp	17
Abb. 4.9:	Schematische Darstellung der Elektrolyse	18
Abb. 4.10:	Schematische Darstellung der Elektrolyse mit Batterie [18]	18
Abb. 4.11:	Produktion von Chlor und Prozess der Elektrolyse	20
Abb. 4.12:	Spannungsverläufe der Geräte während der Chlor-Produktion	20
Abb. 4.13:	Verzinkter Stahl als Elektrodenmaterial	21
Abb. 4.14:	Edelstahl als Elektrodenmaterial	22
Abb. 4.15:	Aluminium als Elektrodenmaterial	22
Abb. 5.1:	Oberflächenwasser	25
Abb. 5.2:	Ergebnisse der Teststäbchen zur groben Ermittlung der Chlor-Konzentration	27
Abb. 5.3:	Küvette mit Inhaltsstoff Diethyl-p-phenylendiamin	28
Abb. 5.4:	Kaliumjodidlösung	29
Abb. 5.5:	„Null“-Küvette für Null-Eichung des Digital-Photometer	29
Abb. 5.6:	Digital-Photometer	30
Abb. 5.7:	Chlor reagiert mit Diethyl-p-phenylendiamin (DPD) unter Bildung eines roten Farbstoffes	30
Abb. 5.8:	pH-Meter	33
Abb. 5.9:	Leitfähigkeitsmessgerät	35
Abb. 5.10:	Ionenchromatograph	38
Abb. 5.11:	Gesamtaufbau der Arbeitsmaterialien des Membranfilter-Verfahren	41
Abb. 5.12:	Membranfilter, NKS in Petrischale	42
Abb. 5.13:	Brutschrank	44
Abb. 5.14:	Auszählung der Kolonien mittels Kolonien-Zähler	46

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 2.1: Einzelne Verfahren der Wasseraufbereitung [6]	3
Tab. 2.2: Übersicht der Desinfektionsverfahren [8]	5
Tab. 3.1: Kriterien der Desinfektion des Trinkwassers mit Chlor nach TrinkwV 2001 [11]	8
Tab. 5.1: Chlor-Konzentrat mit unterschiedlichen Verdünnungen mit Teststäbchen	27
Tab. 5.2: Übersicht der verschiedenen Chlor-Konzentrationen des nachgebauten Elektrolyse Geräts mit unterschiedlichen Rohwässer	31
Tab. 5.3: Übersicht der verschiedenen Chlor-Konzentrationen des Prototyps mit unterschiedlichen Rohwässer	32
Tab. 5.4: pH-Werte der Rohwässer und Rohwässer mit unverdünntem Chlor-Konzentrat	34
Tab. 5.5: Leitfähigkeit und Temperatur der einzelnen Rohwässer und Rohwässer unverdünntem Chlor-Konzentrat	36
Tab. 5.6: Ergebnisse der Ionenchromatographie	39
Tab. 5.7: Ergebnisse des Membranfilter-Verfahren beim nachgebauten Elektrolyse-Gerät	45
Tab. 5.8: Ergebnisse des Membranfilter-Verfahren beim Prototyp	46

Abkürzungs- und Einheitenverzeichnis

s	Sekunde
h	Stunde
g	Gramm
kg	Kilogramm
ml	Milliliter
l	Liter
mg/l	Milligramm/Liter (Einheit der Massenkonzentration)
$\mu\text{S/cm}$	Mikrosiemens pro Zentimeter, Einheit der elektrischen Leitfähigkeit
$^{\circ}\text{C}$	Grad Celsius
V=1:100	Verdünnung 1 zu 100 (z.B. 1 ml einer Substanz auf ein Endvolumen von 100 ml aufgefüllt)
V	Volt, Einheit der elektrischen Spannung
A	Ampere, Einheit der elektrischen Stromstärke
Ah	Amperestunde, Einheit der elektrischen Ladung
nm	Nanometer ($1 \cdot 10^{-9}$ m)
cm	Zentimeter ($1 \cdot 10^{-2}$ m)
mm	Millimeter ($1 \cdot 10^{-3}$ m)
UV	Ultraviolettstrahlung
A/m ²	Ampere pro Quadratmeter, Einheit der Stromdichte
mm ²	Quadratmillimeter
μm	Mikrometer ($1 \cdot 10^{-6}$ m)
\pm	plus minus
%	Prozent
/	je
>	größer als
Abb.	Abbildung
Tab.	Tabelle
§	Paragraph
Abs.	Absatz
ca.	circa
bzw.	beziehungsweise
bzgl.	bezüglich
sog.	sogenannt
ggf.	gegebenenfalls
evtl.	eventuell
d.h.	das heißt
z.B.	zum Beispiel
u.a.	unter anderem
usw.	und so weiter

dt.	deutsch
griech.	griechisch
lat.	lateinisch
min.	minimal
max.	maximal
Mio.	Million ($1 \cdot 10^6$)
Mrd.	Milliarde ($1 \cdot 10^9$)
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
WHO	World Health Organization (dt. Weltgesundheitsorganisation)
UNICEF	United Nations International Children's Emergency Fund (dt. Kinderhilfswerk der Vereinten Nationen)
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.
NKS	Nährkartonscheiben
E. coli	Escherichia coli
THM	Trihalogenmethane

1 Einleitung

Wasser ist Leben, nur leider ist heutzutage der Zugang zu sauberem Trinkwasser weltweit keine Selbstverständlichkeit, obwohl von der Vollversammlung der Vereinten Nationen am 28. Juli 2010 das Recht auf Zugang zu sauberem Wasser als Menschenrecht anerkannt worden ist.

Im Jahr 2015 hat ca. 9 % (ca. 768 Mio.) der Weltbevölkerung kein Zugang zu sauberem Wasser [1] und davon lebt 90 % in Asien und Subsahara-Afrika. Jeden Tag sterben ca. 1000 Kinder - die schwächsten und kleinsten in der Gesellschaft - unter 5 Jahren wegen Durchfallerkrankungen und Magen-Darm-Erkrankungen, verursacht durch verunreinigtes Trinkwasser, fehlende Toiletten und mangelnde Hygiene. Zudem kommt hinzu, dass das Immunsystem bei Kindern noch nicht so ausgeprägt ist wie das bei Erwachsenen.

Jährlich sterben ca. 2,2 Mio. Menschen wegen Wassermangel und verseuchtem Trinkwasser. Kinder haben leider oft keine andere Wahl und müssen das keimbelastete Wasser trinken, obwohl sie wissen, dass sie davon krank werden. Typische Krankheiten, die durch verunreinigtes Wasser hervorgerufen werden, sind Cholera¹, Typhus², Hepatitis A³ und Shigellose⁴. Sauberes Wasser und Hygiene sind für die Kinder eine Frage von Überleben oder Tod [2].

Nach anderen Schätzungen könnte die Zahl der Menschen, deren Recht auf sauberes Wasser nicht erfüllt ist, bei ca. 3,5 Milliarden liegen. 2,5 Milliarden Menschen haben keinen Zugang zu ausreichender sanitärer Versorgung, dies verschlimmert die prekäre Situation. Fäkalkeime gelangen ins Grundwasser, Epidemien und tödliche Krankheiten sind die Folge.

Laut der WHO sind 88 % aller Erkrankungen auf verunreinigtes Wasser, mangelnde Hygiene und schlechte Sanitäreinrichtung zurückzuführen [3].

Infolgedessen wirkt sich dies auf die - ohnehin hohe - Kindersterblichkeit, Krankheiten, Seuchen und Todesfälle aus.

Aufgrund von fehlender und unzureichender Infrastruktur (Sanitäreinrichtungen, Anlagen zur Rohwassergewinnung, zur Wasseraufbereitung und Wasserversorgung, Wasserleitungsnetz, Abwasseraufbereitung und Wertstoffrückgewinnung, Brunnen, usw.) wird die Lage der Bevölkerung weiterhin verschlechtert.

Hinzu kommt noch, dass viele Gewässer durch Verschmutzung von Wasser in Folge von Verstädterung, ungeklärtes industriellen Abwässern, Abfällen, Sedimentablagerungen, Giftstoffe, die zum Beispiel von Fischzuchtanlagen, Pestiziden oder Düngemitteln für die Äcker stammen, zusätzlich belasten.

Kriege, politische Konflikte und die Privatisierung der Wasserversorger erschweren zudem auch noch den Zugang zu Wasser für die Bevölkerung [4].

Die Beschaffung des Wassers ist in vielen Entwicklungsländern ein lebensnotwendiger und wichtiger Bestandteil im Tagesablauf. Die UNICEF schätzt, dass allein in Afrika beispielsweise die Menschen, vor allem Frauen und Mädchen, jedes Jahr 40 Mrd. Stunden mit Wasserholen beschäftigt sind [2].

Die Nachfrage nach dem kostbaren Nass wird bis 2050 um 55 % steigen aufgrund des zunehmenden Bevölkerungswachstums, der wachsenden Wirtschaft und dem Konsumverhalten der Menschen.

¹ schwere bakterielle Infektionskrankheit vorwiegend des Dünndarms [22]

² Infektionskrankheit, die durch das Bakterium Salmonella Typhi hervorgerufen wird [22]

³ durch das Hepatitis-A-Virus verursachte Infektionskrankheit [22]

⁴ eine von verschiedenen Shigellen-Arten ausgelöste Dysenterieerkrankung, die hauptsächlich den Dickdarm befällt [22]

Mehr als 40 % der Weltbevölkerung werden 2050 voraussichtlich in den Entwicklungsländern mit starkem Wassermangel leben [3].

In diesem Zusammenhang wird in dieser Bachelor-Thesis ein einfaches Elektrolyse-Gerät zur Herstellung von Chlor auf praktische Machbarkeit einschließlich Laboranalysen untersucht.

Zudem sollen die WHO-Leitlinien überprüft und bei der Chlor-Herstellung, was die Chlor-Konzentration angeht, berücksichtigt werden.

Das vor Ort erzeugte Chlor kann zur Desinfizierung des Brunnen-, Oberflächen-, Regen- und Grundwasser dienen.

2 Grundlagen der Wasseraufbereitung

2.1 Ziele

Grundsätzlich hat die Wasseraufbereitung das Ziel, alle Maßnahmen zur Verbesserung der Trinkwasserbeschaffenheit zu unternehmen. Das kann sowohl die Zugabe von Stoffen (Dosierung, Einstellen der Leitfähigkeit und pH-Wert, usw.) als auch die Entnahme von Stoffen (Entkeimung, Reinigung, Enthärtung, usw.) sein.

Das beinhaltet auch die Entfernung von Schwimm- und Schwebestoffen, die Beseitigung von Farb-, Geruch-, und Geschmacksstoffen und die Schaffung von Keimfreiheit [5].

2.2 Verfahren

Man unterscheidet dabei zwischen physikalischen, chemischen und biologischen Verfahren.

<i>Physikalische Verfahren</i>	<i>Chemische Verfahren</i>	<i>Biologische Verfahren</i>
Vorreinigungsverfahren (Rechen, Entsandung, Entölung, Sieben)	Flockung/Fällung	Entsäuerung
Flockung, Sedimentation, Flotation	Oxidation	Enteisung
Gasaustausch	Neutralisation	Entmanganung
Filtration	Ionenaustausch	Aufbereitung von reduzierten Wässern
Membranverfahren		Entfernen von organischen Inhaltsstoffen
Adsorption an Aktivkohle		Entfernen von Stickstoffverbindungen
Grundwasseranreicherung		Enthärtung
		Entsalzung
		Aufhärtung
		Dosierung von Phosphat und Silikat
		Entfernen von anorganischen Spurenstoffen
		Dekontamination
		Desinfektion
		Spülwasser- und Schlammbehandlung

Tab. 2.1: Einzelne Verfahren der Wasseraufbereitung [6]

Im Rahmen dieser Bachelor-Thesis wird auf den Bereich Desinfektion näher eingegangen.

2.3 Desinfektionsverfahren

Unter Desinfektion versteht man das Abtöten aller Mikroorganismen (vor allem Bakterien) und Krankheitserreger mittels physikalischer, chemischer und biologischer Verfahren [7].

Die Abtötung von den Mikroorganismen bei der Desinfektion wird durch die Widerstandsfähigkeit der Mikroorganismen, die Art des Desinfektionsmittels bzw. Verfahrens sowie die Konzentration und Einwirkzeit des Desinfektionsmittels beeinflusst.

Dennoch weisen die unterschiedlichen Krankheitserreger eine unterschiedliche Empfindlichkeit gegenüber dem gleichen Desinfektionsmittel auf. Auf der anderen Seite haben die Desinfektionsmittel eine unterschiedliche Wirkung auf einzelne Krankheitserreger, die zudem noch von der Temperatur und dem pH-Wert des Wassers abhängen.

Voraussetzung für eine sichere Desinfektion ist eine ausreichende Konzentration und Einwirkzeit des Desinfektionsmittels [6].

Physikalische Verfahren	Chemische Verfahren
Erhitzen bzw. Abkochen als Notmaßnahme, schon bei + 60°C bis 75°C nach 5 Minuten sind fast alle schädliche Viren und Keime abgetötet	Chlor <ul style="list-style-type: none"> • Chlorgrenzwerte nach TrinkwV 2001 höchstens 0,3 mg/l Cl₂/l im Trinkwasser • Restchlorgehalt nach Aufbereitung (TrinkwV 2001) min. 0,1 mg/l Cl₂/l • preiswertes und wirtschaftliches Desinfektionsmittel • sehr giftig • extrem penetranter Geruch
	Chlorgas (Cl₂) <ul style="list-style-type: none"> • flüssig in Stahlflaschen oder- fässern • Einsatzbereich: stationärer Wasserwerksbetrieb
Filtration auf mechanischem Weg <ul style="list-style-type: none"> • Langsamfilter, Bodenpassage 	Chlorbleichlauge (Natriumhypochlorit; NaOCl) <ul style="list-style-type: none"> • Flüssig • Einsatzbereich: Mobilanlagen
UV-Bestrahlung (240-290 nm) <ul style="list-style-type: none"> • durch kurzweilige Strahlen im Ultraviolett-Bereich • keine Geschmacksbeeinflussung 	Calciumhypochlorit (CaOCl ₂) <ul style="list-style-type: none"> • nur Notmaßnahme
	Chlordioxid (ClO ₂) <ul style="list-style-type: none"> • sehr gute keimtötende Eigenschaften • geringe Geruchsintensität im Trinkwasser • Grenzwert nach TrinkwV 2001 nach Aufbereitung 0,2 mg/l • Restchlordioxid-Gehalt nach Aufbereitung min. 0,05 mg/l • Herstellung nur vor Ort möglich
	Ozon (O ₃) <ul style="list-style-type: none"> • starke Oxidationswirkung • keine Geruchs- und Geschmacksbeeinträchtigung • Herstellung nur vor Ort möglich • mit Ozon desinfiziertes Wasser neigt häufig zur Wiederverkeimung

Tab. 2.2: Übersicht der Desinfektionsverfahren [8]

Chlor gehört in Deutschland und weltweit zu den gebräuchlichsten Desinfektionsmitteln von Trinkwasser und kommt in der Natur nicht rein vor. Chlor kommt nur gebunden in verschiedenen Verbindungen vor. Die wichtigsten Verbindungen sind die sog. *Chloride*. Der bekannteste Vertreter der Chloride ist das Natriumchlorid (besser bekannt als Kochsalz oder Salz) [6].

Die keimtötende Wirkung bei Chlor nimmt allerdings mit steigendem pH-Wert ab. Die Einwirkungszeit des Chlors sollte 15 - 30 Minuten sein [5]. Nach dieser Einwirkungszeit sind frei suspendierte⁵ Mikroorganismen einschließlich bakterieller und viraler Krankheitserreger im Wasser abgetötet bzw. inaktiviert werden.

⁵ Verteilen von festen Stoffen in einer Flüssigkeit [5]

Gegenüber Parasiten (z.B. *Cryptosporidium parvum* und *Giardia lamblia*) ist das Chlor bei der in der TrinkwV 2001 max. zugelassenen Zugabemenge wirkungslos. Aber die Desinfektion ist weitgehend gesichert, wenn nach einer Kontaktzeit 20 bis 30 Minuten noch min. 0,1 mg/l freies Chlor im Wasser nachweisbar ist [9].

Bei der Chlorung entsteht im Wasser hypochlorige Säure⁶ HClO (veraltet: unterchlorige Säure), die den eigentlichen Desinfektionswirkstoff darstellt. Die hypochlorige Säure dissoziiert⁷, abhängig vom pH-Wert, im Wasser und bildet Hypochlorit⁸-Ionen. Mit steigendem pH-Wert verschiebt sich das Gleichgewicht und der Anteil an Hypochlorit nimmt zu. Da das Hypochlorit eine deutlich niedrigere Desinfektionswirkung als die hypochlorige Säure aufweist, nimmt die Desinfektionswirkung mit zunehmendem pH-Wert ab.

Bei pH-Werten größer als 8 ist deswegen auch zu überprüfen, ob noch eine ausreichende Desinfektionswirkung gegeben ist [6].

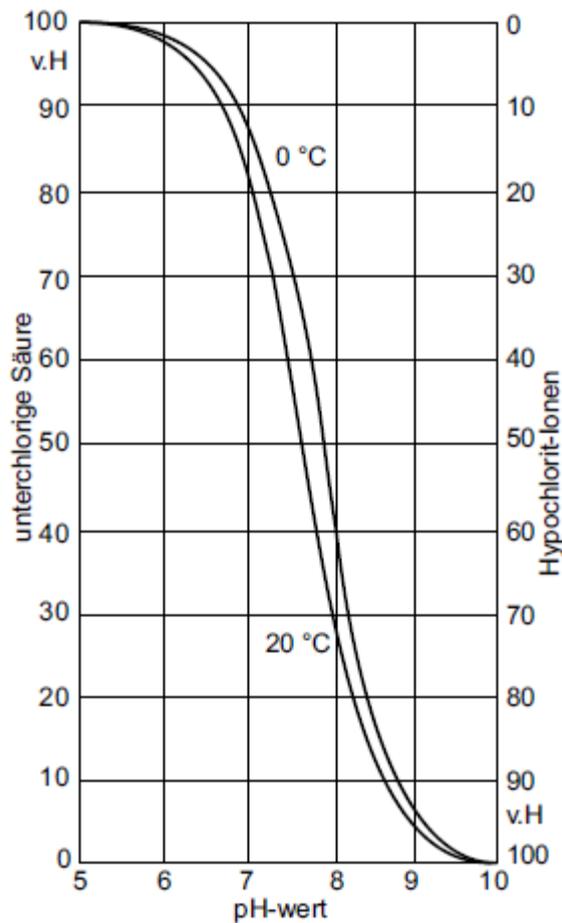


Abb. 2.1: Anteile der unterchlorigen Säure bei verschiedenen pH-Werten [6]

⁶ farblose, chlorkalkartig riechende, nur schwach dissoziierende Säure, wirkt bleichend und oxidierend [7]

⁷ Aufspaltung von Molekülen oder Ionen in kleinere Bestandteile [5]

⁸ Salz der Hypochlorigen Säure

Die Desinfektion sollte nur als letzten Schritt zur Sicherung einer hygienisch einwandfreien Wasserbeschaffenheit dienen und sollte nur zu Minimierung eines Restrisikos verwendet werden.

Sie ist aber nicht geeignet, um fäkal belastetes Wasser, was nachgewiesen ist, in hygienisch und einwandfreies Trinkwasser zu machen [9].

3 Vorschriften und Empfehlungen

3.1 TrinkwV 2001

Eine Liste der Aufbereitungsstoffe wird vom Umweltbundesamt gestellt und stellt auch Anforderungen bezüglich der Aufbereitungsstoffe, die in § 11 Abs.1 TrinkwV geregelt sind.

„Zur Desinfektion von Trinkwasser dürfen nur Verfahren zur Anwendung kommen, die einschließlich der Einsatzbedingungen, die ihre hinreichende Wirksamkeit sicherstellen, in die Liste aufgenommen wurden“. Diese Liste mit den Aufbereitungsstoffen und Desinfektionsverfahren wird vom Umweltbundesamt geführt (§ 11 Abs. 4 TrinkwV) und es liegt die Fassung der 18. Änderung, Stand Oktober 2015 vor.

Die Einsatzbedingungen werden in § 11 Absatz 2 erläutert.

§ 3 Abs.3 TrinkwV fordert, dass Stoffe der Aufbereitung und Desinfektion nicht der Gesundheit und der Umwelt schaden sollen [10].

In der Bekanntmachung der „Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren (vom Umweltbundesamt) gemäß § 11 der Trinkwasserverordnung - 18. Änderung - (Stand: Oktober 2015)“ wird bezüglich des Desinfektionsverfahren mit Chlor in Teil 1 c folgendes geregelt:

Zulässige Zugabe	Konzentrationsbereich nach Abschluss der Aufbereitung	zu beachtende Reaktionsprodukte	Bemerkungen
1,2 mg/l freies Chlor Cl ₂	<ul style="list-style-type: none"> max. 0,3 mg/l freies Chlor Cl₂ min. 0,1 mg/l freies Chlor Cl₂ 	Trihalogenmethane	Zusatz bis zu 6 mg/l freies Cl ₂ und Gehalte bis 0,6 mg/l freies Cl ₂ nach der Aufbereitung bleiben außer Betracht, wenn anders die Desinfektion nicht gewährleistet werden kann oder wenn die Desinfektion zeitweise durch Ammonium beeinträchtigt wird.

Tab. 3.1: Kriterien der Desinfektion des Trinkwassers mit Chlor nach TrinkwV 2001 [11]

In Teil II bezüglich Desinfektionsverfahren wird bei „Dosierung von Chlorgaslösungen“ und „Elektrolytische Herstellung und Dosierung von Chlor vor Ort“ hingewiesen, dass man auf die Einhaltung des Grenzwertes für Trihalogenmethane (THM) beim Verbraucher zu achten hat [11]. Im Kapitel 4.6 wird bezüglich der Trihalogenmethane näher eingegangen.

In den Anlagen ist entsprechend die Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 11 der TrinkwV (vom Bundesumweltamt) beigefügt.

3.2 WHO

WHO steht für „World Health Organization“ (dt. Weltgesundheitsorganisation). Sie ist eine Sonderorganisation der Vereinten Nationen mit Hauptsitz in Genf. Sie wurde am 7. April 1948 gegründet und zählt derzeit 194 Mitgliedstaaten. Die WHO ist eine Koordinationsbehörde der Vereinten Nationen für das internationale öffentliche Gesundheitswesen. Sie ist federführend in globalen Gesundheitsfragen und zu ihren Aufgaben gehört die Festlegung weltweit gültiger Normen und Standards, die Formulierung evidenzbasierter gesundheitspolitischer Grundsätze sowie die Ausgestaltung der Forschungsagenda für Gesundheit [12].

Die Weltgesundheitsorganisation veröffentlicht unverbindliche Empfehlungen, z.B. die WHO-Leitlinien für Trinkwasserqualität (englisch: Guidelines for Drinking-water Quality), dem maßgeblichen internationalen Referenzwerk in der Trinkwasserhygiene und -regulation. Jedoch gelten solche Leitlinien im Fall Deutschland nicht über nationalem Recht (TrinkwV 2001), somit haben diese Leitlinien keine rechtlich bindende Wirkung [13].

Andererseits werden aber auch in diesen WHO-Leitlinien die Regierungen der Welt aufgefordert, dass sie durch Pläne und Konzepte zu einer nachhaltigen und effektiven Wasserpolitik hinsichtlich Wassersicherheit und Management der Trinkwasserqualität beitragen sollen [14].

In der WHO-Leitlinie „Guidelines for Drinking-water Quality“ wird gesagt, dass der Restchlor-Gehalt nach Chlorzugabe zum Rohwasser bei einer 30-minütigen Kontaktzeit zwischen 0,2 – 0,5 mg/l betragen soll [15].

Außerdem wird gesagt, dass bei einer Chlorzugabe von 2 mg/l größtenteils alle Bakterien abgetötet werden.

Gibt man 2,5 mg/l Chlor hinzu, so werden ebenfalls alle Bakterien abgetötet und es verbleibt noch ca. 0,5 mg/l an freiem Chlor weiterhin bestehend [15].

Die Reichweite der Chlorzugabe kann zwischen 1 – 5 mg/l liegen, wobei noch zu erwähnen ist, dass bei höhere Zugabe von Chlor, die Wahrscheinlichkeit hoch ist, das Rohwasser dementsprechend nach Chlor riechen und schmecken wird.

8 mg/l ist die max. zulässige Zugabe nach der WHO [16].

3.3 WASH

„WASH“ steht für "**W**ater, **S**anitation and **H**ygien". Sinngemäß übersetzt würde es heißen: „Wasser, Sanitäreanlagen und Hygiene“. WASH ist ein von der UNICEF (englisch: United Nations International Children's Emergency Fund, dt. Kinderhilfswerk der Vereinten Nationen) ins Leben gerufene Entwicklungshilfe-Förderprogramm. Dieser Begriff beschreibt das notwendige Zusammenwirken im Bereich Wasserversorgung, der Erbauung von sanitären Anlagen und notwendigen Schulung in Hygiene.

Der Restchlor-Gehalt nach Chlorzugabe zum Rohwasser sollte bei einer 30-minütigen Kontaktzeit zwischen 0,2 – 0,3 mg/l betragen.

Eine empfohlene Chlor-Zugabemenge liegt zwischen 2 – 3 mg/l [17].

4 Chlorherstellung

4.1 Idee und Konzept des Elektrolyse-Geräts

Dahinter steckt das Prinzip der Chloralkali-Elektrolyse. Man produziert mittels einer elektrischen Spannungsquelle und einer Salz-Wasser-Lösung Chlor. Es wird Salz in einen Wasserbehälter gegeben, das Salz löst sich im Wasser auf. In den Wasserbehälter werden 2 Elektroden hineingetan und man schließt eine Spannungsquelle in Form einer Batterie an, die mit den Elektroden verbunden sind. Die verschiedenen Ionen reagieren mit dem Strom und dadurch entsteht Chlor. Dieses Verfahren wird in 4.3 chemisch näher erläutert.

Über Nacht würden die Menschen das Chlor produzieren. Am frühen Morgen ist es üblich, dass sich die Kinder auf dem Weg machen, um das Wasser vom weitgelegenen Brunnen zu holen. Bevor sie sich auf dem Weg machen, geben sie eine entsprechende Menge von der Chlor-Lösung in die Kanister. Dann gehen sie mit diesen Kanistern zum Brunnen, das Auffüllen mit Brunnenwasser dauert ca. 20 Minuten. Auf dem Rückweg, der mindestens 30 Minuten in Anspruch nimmt, reagiert das Chlor mit dem Brunnenwasser und tötet alle Mikroorganismen ab. Nun kann man dieses desinfizierte Brunnenwasser trinken.

Laut WHO (siehe 3.1) sollten 30 Minuten Kontaktzeit mit dem Brunnenwasser für eine hinreichende Desinfektion mithilfe des Chlors ausreichen.

Theoretisch ist es möglich überall Chlor herzustellen, wenn eine Autobatterie vorhanden ist.

Der Grundgedanke besteht darin, auf einfachem, schnellem und wirtschaftlichem Weg Desinfektionsmittel in Form von Chlor herzustellen.

Diese einfache und sehr praktische Wasseraufbereitungsmethode ist eine Alternative zu den Wasseraufbereitungsanlagen oder Wasseraufbereitungsgeräte, wo in geschultes Personal und regelmäßige und aufwendige Wartung investiert werden muss. Nachteilig ist auch, dass diese Geräte meist nicht auf die örtlichen Gegebenheiten abgestimmt sind und somit fehleranfälliger sind. Ein weiterer Nachteil ist, dass die Menschen in den Entwicklungsländern nicht in der Lage sind, diese komplexen Geräte zu warten. Das lag an fehlender Ausbildung, sowie vor allem an der mangelnden Verfügbarkeit von Ersatzteilen und Werkzeugen (Infrastruktur).

In der Regel werden in vielen Fällen diese teuren, hochwertigen und technisch-komplizierten Wasseraufbereitungsanlagen und –geräte von Industrieländern gestellt. Dadurch könnte eine gewisse Abhängigkeit zu den Industrieländern bestehen. Die Menschen in den Entwicklungsländern sollen in Zukunft mithilfe dieses Elektrolyse-Gerät ein Stück selbstständiger werden.

Auf der anderen Seite soll dieses Elektrolyse-Gerät keinen großen und technischen Aufwand bedeuten. Es soll möglichst keine große bzw. aufwendige Veränderung der Lebensgewohnheiten sein. Im optimalen Fall soll sich dieses Elektrolyse-Gerät in den Tagesrhythmus der Menschen in Entwicklungsländer integrieren.

Außerdem wird dieses Gerät mit den dort zur Verfügung stehenden Mitteln hergestellt. Zudem passt es sich den örtlichen Gegebenheiten an, somit ist bei dünnen und abgelegenen Landschaften mit schwacher bis keiner Infrastruktur auch eine Möglichkeit der Trinkwasseraufbereitung gegeben.

Die Bedienung ist einfach, die Wartung erfolgt schnell vor Ort und die Anwendung ist schnell erlernbar.

Man könnte mithilfe einer Photovoltaik-Anlage anschließend die Batterie über den Tag aufladen.

Maßgebender Initiator dieser Idee ist Herr Dipl.-Ing. Michael Ottensmann. Der mittels aus Spenden finanzierte Prototyp wurde schon im April 2016 in Uganda getestet.

Der Prototyp wurde von Herrn Dipl.-Ing. Michael Ottensmann entworfen und gebaut. Es diente für das nachgebaute Elektrolyse-Gerät als Vorlage.

4.2 Aufbau des Geräts

4.2.1 Aufbau des nachgebauten Elektrolyse-Geräts



Abb. 4.1: Gesamtaufbau des nachgebauten Elektrolyse-Geräts

4.2.1.1 Aufbewahrungsbox

Technische Daten:

- Name: Aufbewahrungsbox Multi-Box M
- Hersteller: keeper GmbH
- Gewicht: 0,420 kg
- Höhe: 21 cm
- Länge: 35 cm
- Breite: 27 cm
- Material: Polypropylen
- Volumen: ca. 13,5 l
- Sonstiges: 2 Seiteneingriffe, ohne Deckel ausgeführt, transparent



Abb. 4.2: Aufbewahrungsbox

4.2.1.2 Batterie

Technische Daten:

- Hersteller: GT-Start
- Herstellernummer: 535400033
- Gewicht: 10,3 kg
- Kapazität: 35 Ah
- Spannung: 12 V
- Kälteprüfstrom: 330 A (EN)
- Länge: 205 mm
- Breite: 174 mm
- Höhe: 173 mm
- Sonstiges: mit Calcium-Calcium Technologie, Pluspol (rot)



Abb. 4.3: Batterie

4.2.1.3 Elektroden

Der Elektrodenabstand beträgt 15 mm.

4.2.1.3.1 Anode

Technische Daten:

- maximaler Stromfluss: 2000 A/m²
- maximale Arbeitstemperatur: 60 °C
- Länge: 80 mm
- Breite: 50 mm
- Dicke: 2,5 mm (davon 1 mm Bleidioxid-Beschichtung)
- Material: Titan mit Bleidioxid-Beschichtung
- Abmessungen der Anschlussfahne: 50mm (Länge) x 10mm (Breite) x 1,5mm (Dicke)
- Sonstiges: spezielle „MMO“-Anode (Mixed metal oxide, dt. „Metall-Mischoxid“), extrem hohe Korrosionsbeständigkeit, sehr lange Lebensdauer (100 Stunden), Perchlorat Zelle



Abb. 4.4: Titananode mit Bleidioxid-Beschichtung

4.2.1.3.2 Kathode

Es gelten die gleichen technischen Daten wie in 4.2.1.3.1 außer den folgenden:

- maximaler Stromfluss: 3000 A/m^2
- maximale Arbeitstemperatur: 80 C°
- Kathode ist nicht mit Bleidioxid beschichtet



Abb. 4.5: Titankathode

4.2.1.4 Stromkabel

Technische Daten:

- Ausführung: Aderleitung. Kupfer
- Kabeltyp: H07V-K
- Leiterquerschnitt: 6,0 mm²
- Anzahl Adern: 1
- Durchmesser außen: 4,9 mm
- Kabelart: Installationsleitung
- Farbe Kabelmantel: schwarz (für minus-Pol), blau (für plus-Pol)
- Nennspannung: 450/750 Volt

4.2.1.5 Salz

Technische Daten:

- Hersteller: Chante Sel
- Bezeichnung: „Jodsalz fein“ mit Fluorid
- Zutaten: Siedesalz, Natriumfluorid, Kaliumiodat, Trennmittel: Natriumferrocyanid
- Sonstiges: Jodiertes Speisesalz mit Zusatz von Fluorid



Abb. 4.6: Salz

4.2.1.6 Verbindungsmaterial zwischen Stromkabel und Anschlussfahnen der Elektroden

Es wurde ein Edelstahl-Flachwinkel verwendet, welches mit mittels Muttern, Gewindeschrauben und Unterlegscheiben verschraubt worden ist. Außerdem wurden Ring-Kabelschuhe, die für eine lötfreie Kabelverbindung sorgen, verwendet.

Die behelfsmäßige Konstruktion, an dem das Verbindungsmaterial befestigt ist, besteht aus lebensmittelechtem Kunststoff.



Abb. 4.7: Verbindungsmaterial

4.2.2 Aufbau des Prototyps

Für die Chlor-Herstellung mit dem Prototyp wurden die unter 4.2.1.1 genannte Aufbewahrungsbox, die unter 4.2.1.2 genannte Batterie und die unter 4.2.1.5 das Salz genutzt.

Die Elektroden werden an die Batterie angeschlossen.

Außerdem gibt es Unterschiede zum Material der Elektrode. Die Titananode ist mit Ruthenium-Iridium beschichtet und die Titankathode ist nicht beschichtet.

Der Elektrodenabstand beträgt 1 cm.

Die Elektroden haben eine Kreisform, ihr Durchmesser beträgt 53,98 mm und die Elektroden sind 2,2 mm dick.

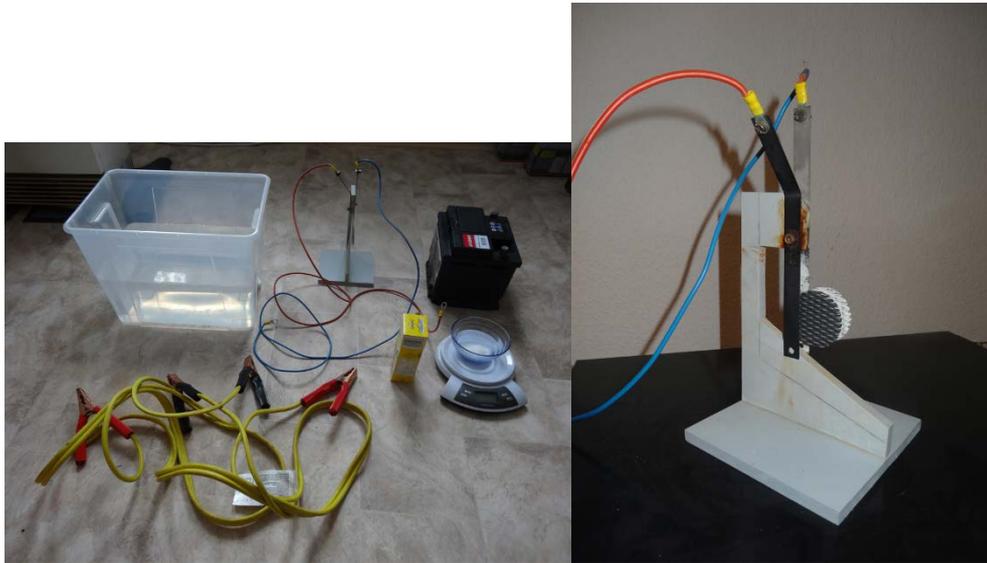


Abb. 4.8: Prototyp (links: Gesamtaufbau des Prototyps, rechts: Elektroden)

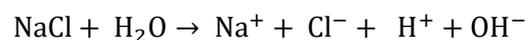
4.3 Prozess der Elektrolyse

„Elektrolyse“ besteht aus zwei Teilwörtern. Zum einen „Elektro“, was bedeutet, dass Strom im Spiel ist, und zum anderen „lyse“, das vom griechischen Wort „lysis“ (dt. „Lösung“) und vom griech. Wort „lyein“ (dt. „lösen“) stammt.

Man kann vereinfacht sagen, dass Elektrolyse der Prozess der Zersetzung von chemischen Verbindungen durch elektrischen Strom in ihre Bestandteile ist.

Es wird zunächst Kochsalz (chemisch: Natriumchlorid oder NaCl) in Wasser (chemisch: H₂O) hinzugegeben. Das Kochsalz liegt in Kristallform vor und wird nun im Wasser sich auflösen. Resultat ist, dass sich es nun in negativ geladene Chlor-Ionen (Cl⁻), positiv geladene Natrium-Ionen (Na⁺), positiv geladene Wasserstoff-Ionen (H⁺) und negativ geladene Hydroxid⁹-Ionen (OH⁻) aufteilt.

Die Reaktionsgleichung lautet:



⁹ Chemische Verbindungen mit einer oder mehreren Hydroxid-Gruppen (OH), z.B. Natronlauge (NaOH), salzähnliche Stoffe [5]

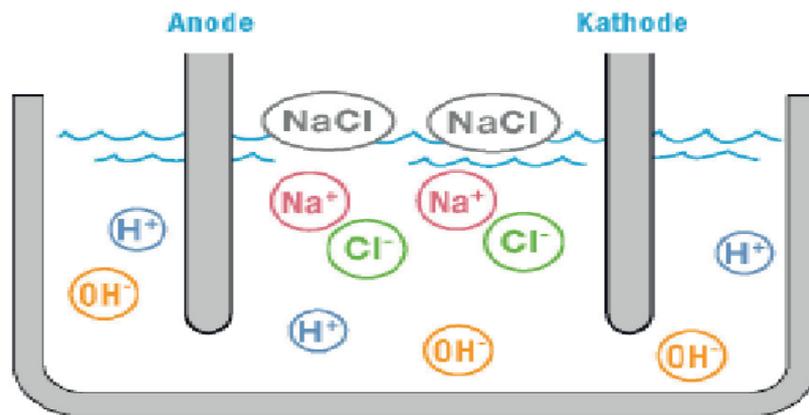


Abb. 4.9: Schematische Darstellung der Elektrolyse (Quelle: www.basf.de/schule)

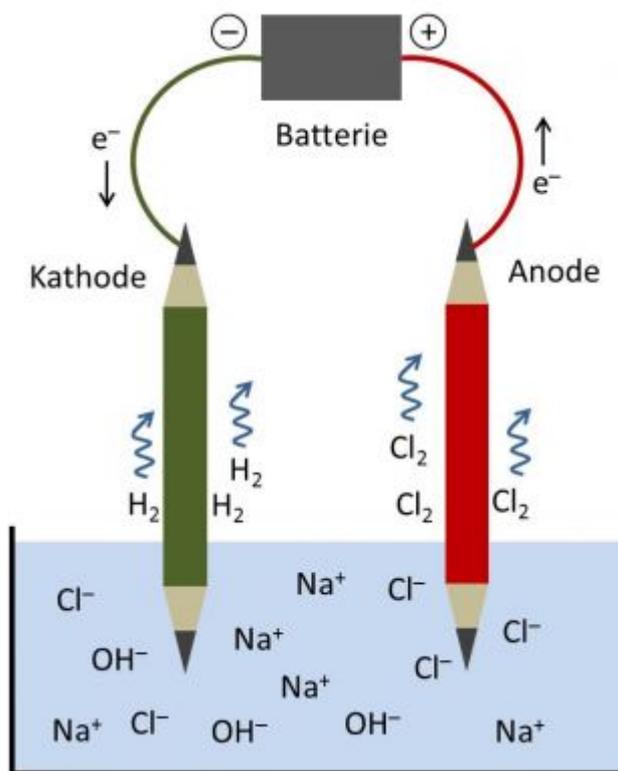


Abb. 4.10: Schematische Darstellung der Elektrolyse mit Batterie [18]

Schließt man nun eine Batterie an die Anode und Kathode an, so herrscht bei der positiv geladenen Elektrode (Anode) einen Elektronenmangel und bei der negativ geladenen Elektrode (Kathode) ein Elektronenüberschuss.

Aufgrund der elektrostatischen Anziehungskräfte werden an der Kathode nun die positiv geladenen Natrium-Ionen (Na^+) und positiv geladenen Wasserstoff-Ionen (H^+) angezogen. Analog werden die negativ geladenen Chlor-Ionen (Cl^-) und negativ geladene Hydroxid-Ionen (OH^-) an der Anode angezogen.

An der Anode geben die Chlorid-Ionen Elektronen ab. Dabei entsteht elementares Chlor. Diesen Prozess nennt man Oxidation, d.h. die Oxidation ist eine chemische Reaktion, in der ein Ion, Molekül oder Atom Elektronen abgibt.

An der Kathode nehmen die Natrium-Ionen Elektronen auf. Dabei entsteht elementares Natrium. Diesen Prozess nennt man Reduktion, d.h. die Reduktion ist eine chemische Reaktion, in der ein Ion, Molekül oder Atom Elektronen aufnimmt.

Als weiteren Effekt der Elektrolyse steigt nun an der Anode Chlorgas (Cl_2) auf und an der Kathode steigt Wasserstoffgas (H_2) auf.

4.4 Durchführung

Die Aufbewahrungsbox wird mit zunächst mit 10 l Leitungswasser aufgefüllt. Danach werden 30 g von dem unter 4.2.1.5 genannten Salz hineingegeben. Anschließend wird die wässrige Lösung gut verrührt, sodass sich das Salz im Wasser schneller in seine in 4.3 genannten Ionen auflösen kann.

Danach werden die Elektroden mittels Stromkabel an die Batterie angeschlossen. Die Versuchsdurchführung betrug 5 Stunden.

In dieser Durchführung wurde für die Chlorherstellung Leitungswasser genutzt. In den Entwicklungsländern wird auf das Wasser zurückgegriffen, was man zur Verfügung hat (Brunnenwasser, Oberflächenwasser, Regenwasser oder auch destilliertes Wasser).

Aus weiteren Forschungsgründen wird auch untersucht, wie stark die Chlor-Konzentration bei einer 8-stündigen Batterielaufzeit ist (siehe Tab. 5.3). Diese 8-stündige Batterielaufzeit mit derselben Salzmenge von 30 g und 10 l Leitungswassermenge wurde bei dem Prototyp ausgeführt.

Die gewonnenen Chlor-Konzentrate waren luftdicht verschlossen worden und waren in der Abzugshaube im Labor gelagert.



Abb. 4.11: Produktion von Chlor und Prozess der Elektrolyse

Es wurde zudem auch stündlich die Spannung gemessen, um zu zeigen, wie schnell sich die Autobatterie entlädt.

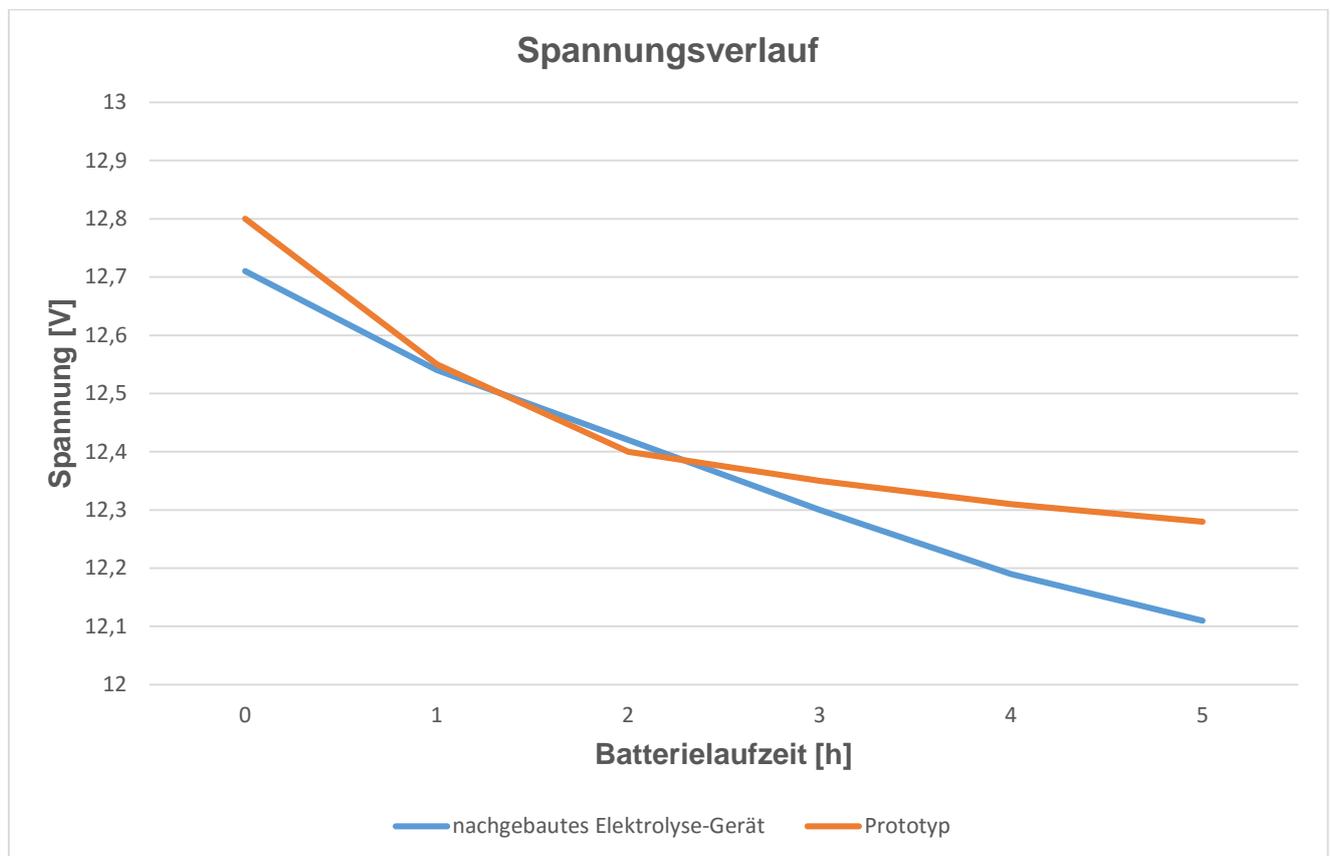


Abb. 4.12: Spannungsverläufe der Geräte während der Chlor-Produktion

Die Batterie wurde für jeden Versuch voll aufgeladen. Die Startspannung betrug ca. 13 V. Nach 5 Stunden Versuchsdurchführung wurde der Versuch beendet, um ein Tiefentladen der Batterie (unter 12 V) zu verhindern.

Es ist festzuhalten, dass man bereits nach ca. 15 Minuten Chlorgas (bei beiden Geräten) riechen kann.

4.5 Fehlversuche beim Nachbau des Elektrolyse-Geräts

Das Ziel war es, dass die Lösung klar und farblos erscheint und sich nicht verfärbt.

Es gibt nur wenige Elektrodenmaterialien, die nicht in die Lösung eingehen. Es wurden folgende Materialien untersucht: Verzinkter Stahl, Edelstahl und Aluminium.

Die Versuche mit den oben genannten Materialien waren nicht erfolgreich. Der Effekt der Elektrolyse war so stark, dass die Materialien sich in der wässrigen Lösung auflösten.

Bei dem Material Titan war dies nicht der Fall.

4.5.1 Verzinkter Stahl als Elektrodenmaterial

Die wässrige Lösung wies nach 10 Minuten Elektrolyse Spuren von Rost auf. Die Lösung war innerhalb von 30 Minuten dunkel gefärbt. Die Lösung war nicht mehr klar, sondern trüb und sah stark verunreinigt aus.

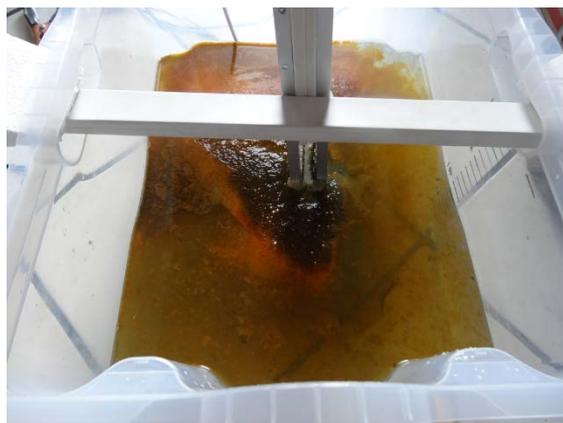


Abb. 4.13: Verzinkter Stahl als Elektrodenmaterial

4.5.2 Edelstahl als Elektrodenmaterial

Ähnlich wie beim verzinkten Stahl wies die wässrige Lösung nach 10 Minuten Spuren von Rost auf. Nach 30 Minuten hat sich die Lösung rötlich bis orange gefärbt und wirkt trüb.

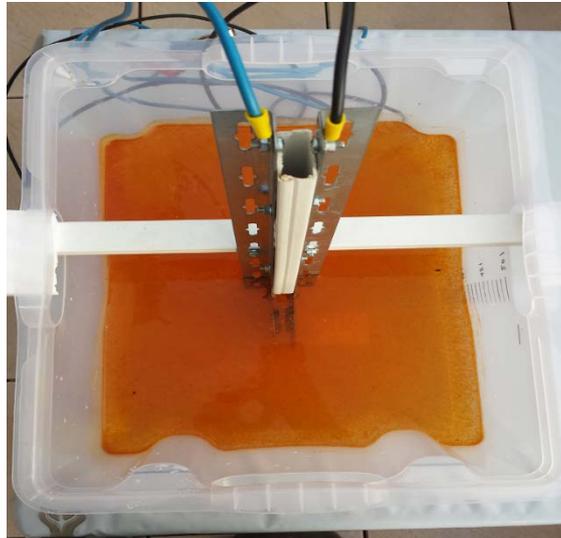


Abb. 4.14: Edelstahl als Elektrodenmaterial

4.5.3 Aluminium als Elektrodenmaterial

Bei der Methode mit dem Aluminium war die Lösung nach 5 Minuten schaumig. Nach 30 Minuten war die Lösung milchig und sehr trüb.



Abb. 4.15: Aluminium als Elektrodenmaterial

4.6 Desinfektionsnebenprodukte (Trihalogenmethane)

Dieses sog. Trihalogenmethan (THM) ist die allgemeine chemische Bezeichnung für ein dreifach halogeniertes¹⁰ Methan¹¹. Trihalogenmethane sind die Summe der Einzelverbindungen: Trichlormethan (Chloroform), Bromdichlormethan, Dibromchlormethan und Tribrommethan (Bromoform).

Außerdem können u.a. halogenierte Essigsäuren, halogenierte Acetonitrile und Chlorpikrin entstehen, auf die hier nicht näher eingegangen werden.

Hauptvertreter ist das Chloroform, welches sich am häufigsten bildet [19].

Bei der Desinfektion von Wasser mit Chlor laufen auch Reaktionen von Chlor mit anorganischen und organischen Wasserinhaltsstoffen ab. Bei dieser Reaktion entstehen neben den Trihalogenmethanen weitere definierte chlorierte organische Verbindungen sowie chlorierte Stoffe, die über den Summenparameter „AOX“ (adsorbierbare organisch gebundene Halogene) erfasst werden können [20].

Die Bildung von Trihalogenmethanen in Wässern ist von folgenden Parametern abhängig:

- Chlor-Dosis
- Konzentration und Reaktionsvermögen der organischen Substanz
- Reaktionszeit
- pH-Wert
- Temperatur
- Bromid¹²-Konzentration
- Ammonium¹³-Konzentration [21]

THM stehen im Verdacht, in einem niedrigen Bereich krebserregend zu sein und eine toxische Wirkung zu haben [22]. Es wurde ein Nachweis der Kanzerogenität¹⁴ bei Chloroform und Bromdichlormethan im Tierversuch erbracht, aber eine gesundheitliche und maßgebende Untersuchung für den Menschen auf THM im Trinkwasser ist noch nicht geklärt worden [23].

Bei gechlorten Wässern liegt die mittlere Konzentration an THM in der Größenordnung von 0,001 bis 0,004 mg/l an deutschen Wasserwerksausgängen. Dieser Wert ist 10- bis 20-mal niedriger als die Mittelwerte in den USA und bewegt sich im unteren Drittel der in anderen europäischen Staaten gemessenen Werte [24].

Eine akute Gesundheitsgefährdung durch die THM über das Trinkwasser ist bei den dort vorliegenden sehr kleinen Konzentrationen nicht zu erwarten.

Die genaue Mengenermittlung des schädlichen Potentials von THM und anderen Nebenprodukten der Trinkwasserchlorung ist unter den Bedingungen ihres Auftretens in realem Trinkwasser kaum möglich [25].

¹⁰ Überführung eines Elementes oder einer Verbindung in ein Halogenid [5]

¹¹ chemische Verbindung aus der Gruppe der Alkane, farb- und geruchloses, brennbares Gas [5]

¹² Einwertige Anion des Bromwasserstoffs [5]

¹³ Bestandteil des Stickstoffkreislaufs [5]

¹⁴ krebserregend

Der Grenzwert nach der TrinkwV für Trihalogenmethane als Summenparameter ist 0,05 mg/l [10].

Die WHO legt folgende Werte als Grenzwerte fest:

- Trichlormethan: 0.3 mg/l
- Tribrommethan: 0.1 mg/l
- Dibromchlormethan: 0.1 mg/l
- Bromdichlormethan: 0.06 mg/l [15]

Im Rahmen dieser Bachelor-Thesis wurde dies nicht labortechnisch näher untersucht.

4.7 Auflösung der Bleidioxid-Beschichtung

Da die Titananode mit Bleidioxid beschichtet war, besteht eine Möglichkeit, dass nach langem und intensivem Nutzen sich evtl. Blei von der Beschichtung ablösen könnte und entsprechend in die Chlor-Lösung gelangen könnte.

Diese beiden Elektroden waren schon ca. 30 Stunden in Betrieb gewesen. Eine einmalige Untersuchung des Bleis wäre nicht repräsentativ. Laut den technischen Daten unter 4.2.1.3.1 ist die Lebensdauer als sehr lang gelistet worden.

Im Rahmen dieser Bachelor-Thesis wurde dies nicht labortechnisch näher untersucht, da dieses Vorhaben einer Langzeit-Untersuchung bedarf.

5 Laboranalysen

Für die Untersuchungen wurden möglichst Rohwässer benutzt, die den Rohwässern in den Entwicklungsländern ähneln und sehr keimhaltig (Moselwasser und Kläranlagen-Auslaufwasser) sind.

5.1 Rohwässer

5.1.1 Kläranlagen-Auslaufwasser

Dieses Kläranlagen-Auslaufwasser wurde aus der Kläranlage Zell-Bullay-Alf entnommen. Für die Namensgebung wurde vereinfacht für „Kläranlagen-Auslaufwasser“ „Klärwasser“ in den Analysen verwendet.

5.1.2 Brunnenwasser

Das Brunnenwasser wurde aus einem von dem Kreiswasserwerk Cochem-Zell betriebenen Brunnen in der Nähe des Camping-Spielplatzes in Zell-Kaimt entnommen.

5.1.3 Oberflächenwasser

Es wurde in Zell-Merl bei der Ortsausfahrt in Richtung Bullay entnommen (siehe Abb. 5.1).



Abb. 5.1: Oberflächenwasser

5.1.4 Moselwasser

Das Moselwasser wurde am Ufer der Mosel in der Stadt Zell (Mosel) entnommen.

5.2 Chlor-Konzentration

In den Untersuchungen wurden folgende Begriffe benutzt:

- *Freies Chlor*: Summe von Massenkonzentrationen von elementarem gelösten Chlor Cl_2 , häufig ist mit freiem Chlor das „Aktiv-Chlor“ gemeint, Einheit ist mg/l
- *Gebundenes Chlor*: Massenkonzentrationen an anorganischen und organischen Chloraminen¹⁵ in der Einheit mg/l
- *Gesamtchlor*: Summe der Massenkonzentrationen aus freiem Chlor und gebundenem Chlor

5.2.1 „Schwimmbad Test 5 in 1“-Teststäbchen

Es handelt sich hierbei um das Produkt „Schwimmbad Test 5 in 1“ der Firma „Macherey-Nagel“. Dabei werden die Teststäbchen mit allen Testfeldern in das Chlor-Konzentrat eingetaucht und 5 s hin- und hergeschwenkt.

Anschließend wird das Teststäbchen herausgenommen und der Flüssigkeitsüberschuss wird abgeschüttelt. Danach kann man die Konzentration des Gesamtchlors und freien Chlors mithilfe einer Farbskala ablesen [26].

In den Anlagen ist ein Beipackzettel bzgl. Gebrauchsanweisung zu diesen Teststäbchen beigelegt.

5.2.1.1 Untersuchung des Chlor-Konzentrats des Prototyps

Vorher wurde das Chlor-Konzentrat mit $V=1:100$ verdünnt.

Ergebnis der Teststäbchen:

- ca. 2mg/l freies Chlor
- ca. 2mg/l Gesamtchlor

Berücksichtigt man die Verdünnung $V=1:100$, so beträgt die Chlor-Konzentration ca. 200 mg/l.

¹⁵ entsteht durch Reaktion von Chlor mit der Bildung von stickstoffhaltigen Verbindungen (z.B. Nitrat, Stickstoff oder Chlorid) [19]

5.2.1.2 Untersuchung des Chlor-Konzentrats des nachgebauten Elektrolyse-Geräts

Bezeichnung	Verdünnung V	freies Chlor [mg/l]	Gesamtchlor [mg/l]
Chlor-Konzentrat	1:1	> 10	> 10
Chlor-Konzentrat	1:50	ca. 3 - 5	ca. 1 - 3
Chlor-Konzentrat	1:100	ca. 0,5 - 1	ca. 1 - 3

Tab. 5.1: Chlor-Konzentrat mit unterschiedlichen Verdünnungen mit Teststäbchen

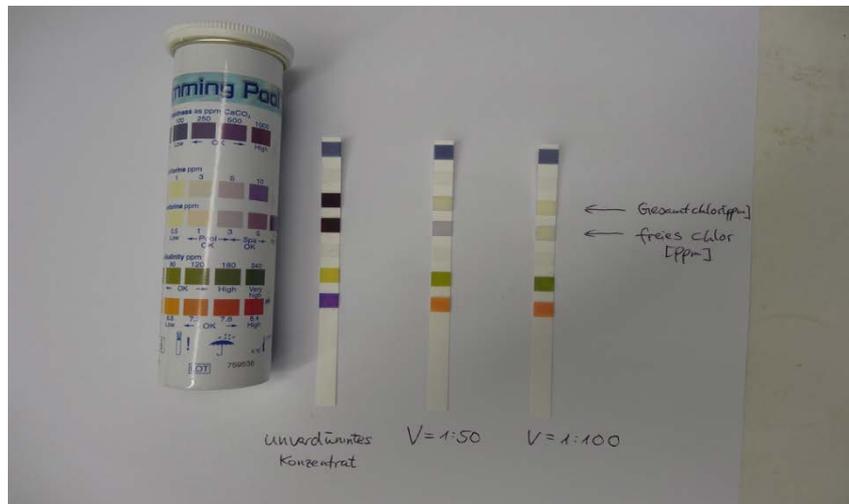


Abb. 5.2: Ergebnisse der Teststäbchen zur groben Ermittlung der Chlor-Konzentration

Berücksichtigt man jeweils die entsprechende Verdünnung, so beträgt die Chlor-Konzentration ca. dem Wert multipliziert mit dem Verdünnungsfaktor.

5.2.2 Photometrische Messung

5.2.2.1 Reagenzien

Es handelt sich hierbei um das Produkt „Chlor/Ozon/Chlordioxid Küvetten-Test LCK 310“ der Firma „Hach Lange GmbH“ mit dem Messbereich von 0,05 – 2,0 mg/l Cl_2 .

Das Prinzip hinter den Reagenzien besteht darin, dass das Oxidationsmittel mit Diethyl-p-phenylendiamin (DPD) unter Bildung eines roten Farbstoffes reagiert [27].

Es ist wichtig für den Test, dass die Probe einen pH-Wert von 3 bis 10 und eine Temperatur von 15° - 25°C hat [27].

Die sechs Arbeitsschritte für den Küvetten-Test mit ausführlichen Erläuterungen zu den Arbeitsschritten und Abbildungen sind in den Anlagen (Arbeitsvorschrift LCK 310 Küvettest) beigefügt.



Abb. 5.3: Küvette mit Inhaltsstoff Diethyl-p-phenylendiamin



Abb. 5.4: Kaliumjodidlösung



Abb. 5.5: „Null“-Küvette für Null-Eichung des Digital-Photometer

5.2.2.2 Digital-Photometer

Es handelt sich hierbei um das Digital-Photometer „LP2W“ der Firma Dr. Lange.

Photometrische Messungen dienen der Ermittlung von Konzentrationen gelöster und ungelöster Bestandteile in vorwiegend wässrigen Lösungen. Das Photometer misst die Lichtabsorption, die ein Lichtstrahl beim Durchleuchten der Lösung erfährt. Die Lichtabsorption ist abhängig vom Spektralbereich des Lichtstrahls [28].



Abb. 5.6: Digital-Photometer

5.2.2.3 Durchführung

Nach dem dritten Arbeitsschritt nach 5.2.2.1 entsprechend den Anlagen kann man mit der Küvette schon am Digital-Photometer die Konzentration an freiem Chlor ablesen und nach dem sechsten Arbeitsschritt nach 5.2.2.1 entsprechend den Anlagen kann man mit der Küvette die Konzentration an Gesamt-Chlor ablesen.



Abb. 5.7: Chlor reagiert mit Diethyl-p-phenylendiamin (DPD) unter Bildung eines roten Farbstoffes

5.2.2.4 Ergebnisse

5.2.2.4.1 Ergebnisse des nachgebauten Elektrolyse-Geräts

Bezeichnung	Verdünnung V	Freies Chlor [mg/l]	Gesamt- Chlor [mg/l]
Chlor-Konzentrat Nr.1	1:50	4,5	4,5
Chlor-Konzentrat Nr.2	1:100	2,8	2,8
Moselwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat Nr.1 nach 30 Minuten Kontaktzeit, Zugabe: 10 ml/l Rohwasser	1:100	0,7	1,5
Klärwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat Nr.1 nach 30 Minuten Kontaktzeit, Zugabe: 10 ml/l Rohwasser	1:100	0,5	1,2
Oberflächenwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat Nr.1 nach 1 Stunde Kontaktzeit, Zugabe: 2 ml/l Rohwasser	1:50	4,3	4,3
Brunnenwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat Nr.1 nach 1 Stunde Kontaktzeit, Zugabe: 2 ml/l Rohwasser	1:50	3,5	3,5
Oberflächenwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat Nr.1 nach 4 Stunden Kontaktzeit, Zugabe: 2 ml/l Rohwasser	1:50	4,3	4,3
Brunnenwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat Nr.1 nach 4 Stunden Kontaktzeit, Zugabe: 2 ml/l Rohwasser	1:50	3,2	3,2
Klärwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat Nr.1 nach 18 Stunden Kontaktzeit, Zugabe: 20 ml/l Rohwasser	1:50	0,2	0,8
Moselwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat Nr.1 nach 18 Stunden Kontaktzeit, Zugabe: 20 ml/l Rohwasser	1:50	0,2	0,4

Tab. 5.2: Übersicht der verschiedenen Chlor-Konzentrationen des nachgebauten Elektrolyse-Geräts mit unterschiedlichen Rohwässern

Berücksichtigt man jeweils die entsprechende Verdünnung in den ersten 2 Zeilen der Tabelle, so beträgt die Chlor-Konzentration dem Wert multipliziert mit dem Verdünnungsfaktor.

5.2.2.4.2 Ergebnisse des Prototyps

Bezeichnung	Verdünnung V	Freies Chlor [mg/l]	Gesamt-Chlor [mg/l]
Chlor-Konzentrat Nr.1 mit einer Batterielaufzeit von 5 Stunden	1:50	7,5	7,5
Chlor-Konzentrat Nr.2 mit einer Batterielaufzeit von 5 Stunden (4 Wochen alt)	1:50	4,7	4,7
Chlor-Konzentrat Nr.3 mit Batterielaufzeit von 8 Stunden	1:50	9,7	9,7
Chlor-Konzentrat Nr.3 mit Batterielaufzeit von 8 Stunden	1:250	2,9	2,9
Klärwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat Nr.1 nach 30 Minuten Kontaktzeit, Zugabe: 10 ml/l Rohwasser	1:100	0,7	0,7
Moselwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat Nr.1 nach 30 Minuten Kontaktzeit, Zugabe: 10 ml/l Rohwasser	1:100	0,5	1,3
Klärwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat Nr.1 nach 2 Stunden Kontaktzeit, Zugabe: 10 ml/l Rohwasser	1:100	0,4	1,0
Moselwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat Nr.1 nach 2 Stunden Kontaktzeit, Zugabe: 10 ml/l Rohwasser	1:100	0,2	0,3
Brunnenwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat Nr.1 nach 30 Minuten Kontaktzeit, Zugabe: 5 ml/l Rohwasser	1:100	6,2	6,2
Oberflächenwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat Nr.1 nach 30 Minuten Kontaktzeit, Zugabe: 5 ml/l Rohwasser	1:100	6,7	6,7

Tab. 5.3: Übersicht der verschiedenen Chlor-Konzentrationen des Prototyps mit unterschiedlichen Rohwässern

Berücksichtigt man jeweils die entsprechende Verdünnung in den ersten 4 Zeilen der Tabelle, so beträgt die Chlor-Konzentration dem Wert multipliziert mit dem Verdünnungsfaktor.

In der dritten und vierten Zeile der Tab. 5.3 wurde ein anderes Chlor-Konzentrat untersucht. Die Batterielaufzeit betrug 8 Stunden. Es galten immer noch dieselben Bedingungen (30 g Salz, 10 l Leitungswasser in der Aufbewahrungsbox).

5.3 Chemische Analysen

5.3.1 pH-Wert

5.3.1.1 Grundlagen

Der pH-Wert ist der negative dekadische Logarithmus einer Konzentration von Wasserstoff-Ionen und das Maß für den sauren oder basischen Zustand einer Lösung.

„pH“ steht für „pondus Hydrogenii“ (lat.) und bedeutet „die Kraft des Wasserstoffs“.

Reines Wasser hat den pH-Wert von 7 und ist neutral, die Anzahl der Wasserstoff-Ionen sowie der Hydroxid-Ionen sind gleich groß. Ein pH-Wert kleiner als 7 bedeutet, dass das Wasser „saurer“ wird. Es wirkt korrosiv und aggressiv. Umgekehrt ist das Wasser mit einem pH-Wert über 7 alkalisch, es wirkt ätzend. Beton hat beispielsweise einen pH-Wert von 12 und Essig einen pH-Wert von 3 [5].

Die Messung erfolgt auf elektronischem Weg mithilfe der Glaselektrode. Die Glaselektrode ist eine Variante der pH-Elektrode, die bestehend aus einer dünnwandigen Glaskugel mit einer Lösung mit bekanntem und konstantem pH-Wert (Pufferlösung) gefüllt ist und in die Probelösung mit unbekanntem pH-Wert eingetaucht wird. An der Glasoberfläche der Glasmembran bildet sich ein Potential. Der pH-Wert wird aufgrund des bekannten pH-Werts der Pufferlösung und dem Potential der Glaselektrode gemessen [29].

Nach der TrinkwV 2001 soll der pH-Wert nicht unter 6,5 und nicht über 9,5 sein [10]. Die WHO rät ebenfalls einen pH-Wert zwischen 6,5 bis 9,5 [15].



Abb. 5.8: pH-Meter

5.3.1.2 Ergebnisse

Das Chlor-Konzentrat stammt vom nachgebauten Elektrolyse-Gerät. Die Chlor-Konzentration beträgt 280 mg/l (Tab. 5.2, Chlor-Konzentrat Nr.2).

Bezeichnung	pH-Wert [-]
Chlor-Konzentrat (V=1:50)	8,0
Klärwasser	7,2
Klärwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat	7,2
Moselwasser	8,1
Moselwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat	8,1
Brunnenwasser	7,8
Brunnenwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat	7,9
Oberflächenwasser	8,0
Oberflächenwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat	8,1

Tab. 5.4: pH-Werte der Rohwässer und Rohwässer mit unverdünntem Chlor-Konzentrat

5.3.2 Leitfähigkeit

5.3.2.1 Grundlagen

Die Leitfähigkeit (genauer: elektrolytische Leitfähigkeit) ist eine Größe für die Menge der im Wasser gelösten Ionen, die dem Wasser eine elektrische Leitfähigkeit verleihen. Sie ist abhängig von der Menge der vorhandenen gelösten Ionen, ihrer Ladung, ihrer Beweglichkeit, ihrer Konzentration und der Temperatur [22].

Die Leitfähigkeitsmesszelle bestehend aus einem Elektrodenpaar wird in die zu untersuchende Probe angelegt. Es wird eine Wechselspannung angelegt. Beim Anlegen der Spannung (Volt) fließt ein Strom (Ampere). Daraus kann man den Widerstand (Ohm) berechnen: Widerstand = Strom/Spannung. Durch das Messen des Widerstands erhält man die Leitfähigkeit einer Lösung [30].

Je höher der Elektrolytgehalt und je höher die Wassertemperatur ist, desto höher ist die Leitfähigkeit [7].

Beispiele für Leitfähigkeitswerte:

- destilliertes Wasser: 0,04 $\mu\text{S/cm}$
- Regenwasser: 5–30 $\mu\text{S/cm}$
- Süßes Grundwasser: 30–2000 $\mu\text{S/cm}$
- Meerwasser: 45000–55 000 $\mu\text{S/cm}$ [6]

Nach der TrinkwV 2001 ist der 2500 $\mu\text{S/cm}$ bei einer Wassertemperatur von 20 °C und 2790 $\mu\text{S/cm}$ bei einer Wassertemperatur von 25 °C [10].

In den WHO-Richtlinien gibt es keinen vergleichbaren und ähnlichen Wert zu dem Wert der TrinkwV.



Abb. 5.9: Leitfähigkeitsmessgerät

5.3.2.1 Ergebnisse

Das Chlor-Konzentrat stammt vom nachgebauten Elektrolyse-Gerät. Die Chlor-Konzentration beträgt 225 mg/l (Tab. 5.2, Chlor-Konzentrat Nr.1).

Bezeichnung	Verdünnung V	Leitfähigkeit [μ S/cm]	Temperatur [$^{\circ}$ C]
Klärwasser	1:1	1187	22,0
Klärwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat, Zugabe: 20 ml/l Rohwasser	1:50	1336	21,9
Moselwasser	1:1	813	21,4
Moselwasser mit unverdünntem Chlor- Konzentrat, Zugabe: 20 ml/l Rohwasser	1:50	968	21,5
Brunnenwasser	1:1	860	21,8
Brunnenwasser mit unverdünntem Chlor- Konzentrat, Zugabe: 2 ml/l Rohwasser	1:50	1025	21,9
Oberflächenwasser	1:1	846	21,9
Oberflächenwasser mit unverdünntem Chlor- Konzentrat, Zugabe: 2 ml/l Rohwasser	1:50	987	21,8

Tab. 5.5: Leitfähigkeit und Temperatur der einzelnen Rohwässer und Rohwässer mit unverdünntem Chlor-Konzentrat

5.3.3 Ionenchromatographie

5.3.3.1 Grundlagen

Die Ionenchromatographie ist Verfahren zur Trennung und Detektion von Ionen mit Hilfe der Ionenaustauschchromatographie.

Chromatographische Verfahren sind Trennmethode, welche ein Stoffgemisch aufgrund unterschiedlicher Verteilungen bzw. Verweilzeiten der Einzelkomponenten zwischen einer mobilen und einer stationären Phase trennen. Die gesuchten Parameter (Natrium, Calcium, Magnesium und Kalium) haben dabei verschiedene typische Retentionszeiten (siehe Peaktabelle, Anlagen), mit denen sie eindeutig identifiziert werden können. Durch die Integration der Flächen unter den einzelnen Wellenbergen im Chromatogramm erhält man die Menge des gesuchten Bestandteils [28].

Natrium ist ein häufiges Metall, dass in der Erdkruste vorkommt. Für den Menschen ist es unverzichtbar und etwa 3 - 5 g täglich sind für den Menschen erforderlich. Im Schnitt nimmt der Mensch 11 – 12 g u.a. in Form von Kochsalz (Natriumchlorid) am Tag zu sich. Beispielsweise ist zu viel Natrium für Säuglinge schädlich, wobei in großen Mengen bei Erwachsenen zu Bluthochdruck, Herz- und Nierenerkrankungen führen kann. Der Grenzwert nach der TrinkwV 2001 liegt bei 200 mg/l [5]. Der Grenzwert nach der WHO liegt ebenfalls bei 200 mg/l [15].

Das Element Calcium ist mit einem Anteil von 3,6 % das dritthäufigste Element der Erdkruste. Es kommt natürlich als Kalkstein und Marmor. Knochen und Zähne enthalten beispielsweise auch Calcium. Generell spielt dieses Element eine Rolle im Zellstoffwechsel, bei der Blutgerinnung und bei der Muskelkontraktion. Ein Grenzwert nach der TrinkwV 2001 liegt nicht vor [5]. Nach der WHO liegt ebenfalls kein Grenzwert vor. Der Mensch benötigt im Schnitt ca. 1 – 1,5 g Calcium täglich (je nach Alter und Geschlecht) [31].

Das Element Magnesium kommt ebenfalls oft häufig in der Erdkruste vor und ist für die Wirkung der Nervenfunktionen und Muskelbewegung nötig [5]. Wie bei Calcium gibt es keinen Grenzwert in der TrinkwV 2001. Nach der WHO liegt ebenfalls kein Grenzwert vor. Erwachsene sollten im Schnitt 0,3 – 0,4 g am Tag zu sich nehmen [32].

Das Element Kalium kommt ähnlich wie Natrium oft in der Erdkruste vor und ist für den Menschen unverzichtbar. Einen Grenzwert nach der TrinkwV 2001 liegt nicht vor [5]. Eine wichtige Rolle spielt Kalium bei der Übertragung von elektrischen Impulsen an Muskel- oder Nervenzellen. Die empfohlene Tagesdosis beträgt ca. 4,7 g [33]. Die WHO empfiehlt eine Tagesdosis über 3 g [15].



Abb. 5.10: Ionenchromatograph (links: Ionenchromatograph geschlossen, rechts: Ionenchromatograph geöffnet)

5.3.3.2 Ergebnisse

Das Chlor-Konzentrat stammt vom nachgebauten Elektrolyse-Gerät. Die Chlor-Konzentration beträgt 280 mg/l (Tab. 5.2, Chlor-Konzentrat Nr.2).

Bezeichnung [je 100 ml]	Natrium [mg/l]	Kalium [mg/l]	Calcium [mg/l]	Magnesium [mg/l]
Klärwasser	59,1	15,4	57,7	19,1
Klärwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat	67,0	15,5	58,7	19,1
Moselwasser	41,8	4,7	104,0	18,7
Moselwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat	50,0	2,9	99,9	18,9
Brunnenwasser	49,5	4,6	102,5	18,4
Brunnenwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat	54,5	4,6	102,8	21,1
Oberflächenwasser	12,1	2,2	83,5	61,8
Oberflächenwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat	21,7	2,4	86,8	62,3

Tab. 5.6: Ergebnisse der Ionenchromatographie

Die entsprechenden Chromatogramme und Peaktabellen bzgl. Tab 5.6 sind in den Anlagen beigefügt.

5.4 Keimbestimmung und Nachweis von E. coli (Membranfilter-Verfahren)

5.4.1 Grundlagen

Im Rahmen dieser Bachelor-Thesis wird nur E. coli (5.4.1.1) und coliforme Bakterien (5.4.1.2) näher erläutert, da diese maßgebend sind für das Membranfilter-Verfahren.

5.4.1.1 E. coli

In der Trinkwasserkontrolle ist die Anzahl der „Escherichia coli“ (abgekürzt: E. coli) ein Hinweis für fäkale Verunreinigungen. In der TrinkwV 2001 wird geregelt, dass sein Grenzwert 0/100ml (Allgemeine Anforderung an Trinkwasser) und 0/250 ml (Anforderungen an Trinkwasser, das zur Abgabe in verschlossenen Behältnissen bestimmt ist) sein muss [10]. Er dient als Indikatorparameter für fäkale Verunreinigungen.

Nach der WHO ist der Grenzwert ebenfalls 0/100 ml [15].

E. coli ist natürliches Darmbakterium des Menschen. Es gehört zur Darmflora des Menschen und der anderen Warmblütler und wird regelmäßig in großer Zahl ausgeschieden [5].

5.4.1.2 Coliforme Bakterien

Die sog. coliforme Bakterien gehören ebenfalls zur Familie der „Enterobacteriaceae“ und umfassen sowohl Arten fäkalen Ursprungs als auch solche, die nicht im Darmtrakt, sondern ausschließlich in der Umwelt vorkommen. Coliforme Bakterien sind auch Indikatorparameter für fäkale Verunreinigungen [5]. Der Grenzwert nach TrinkwV 2001 für diese beträgt 0/100 ml [10]. Nach der WHO ist der Grenzwert ebenfalls 0/100 ml [15].

5.4.2 Beschreibung des Verfahrens

5.4.2.1 Aufbau

Arbeitsmaterialien:

- Vakuumpumpe, z. B. Wasserstrahlpumpe
- verschiedene Pipetten
- Bunsenbrenner
- Membranfilter, steril, Porenweite 0,45 µm
- Membranfiltrationsgerät, hitzesterilisierbar, bestehend aus Trichteraufsatz und Unterteil. Beide Teile müssen mit Hilfe eines Verschlusses zu einer Einheit verbunden werden können
- Pinzette aus Edelstahl
- Saugflasche mit Vakuumschlauch
- Alkohol zum Desinfizieren (C_2H_5OH ; 70 % Ethanol, 30% Wasser)
- Kulturschalen (Petrischalen), mit Nährkartonscheiben (NKS) für Caso und Endo
- Brutschrank
- 100 ml-Gefäß mit entsprechendem Rohwasser [28]



Abb. 5.11: Gesamtaufbau der Arbeitsmaterialien des Membranfilter-Verfahren (fehlend: 100-ml-Gefäß (vom zu untersuchenden Wasser), NKS in Petrischale, Membranfilter und Brutschrank)

5.4.2.2 Nährkartonscheiben (NKS)

Alle Nährkartonscheiben stammen von der Firma „Dr. Möller & Schmelz GmbH“ und die Membranfilter stammen von der Firma „Whatman“.



Abb. 5.12: Membranfilter (oberhalb), NKS in Petrischale (unterhalb)

5.4.2.2.1 Colichrom-NKS

Die Colichrom-NKS mit einem Durchmesser von 50 mm ist ein Selektivmedium zum quantitativen Schnelldachweis von *E. coli* und coliforme mittels optischer Differenzierung der Kolonien innerhalb von 24 Stunden. Mittels chromogenen Substanzen erhält man eine einfache Identifizierung von *Escherichia coli* (blaue Kolonien) und coliforme (rötliche Kolonien) [34].

5.4.2.2.2 Caso-NKS

Die Caso-NKS mit einem Durchmesser von 50 mm ist ein Selektivmedium für die Gesamtkeimzahl-Bestimmung [35].

5.4.2.3 Arbeitsschritte

1. Zuerst wird die Arbeitsfläche mit Alkohol (C_2H_5OH ; 70 % Ethanol, 30% Wasser) desinfiziert.
2. Das Membranfiltergerät besteht aus einem etwa 1000 ml fassendem Trichteraufsatz und einem Unterteil mit einer Fritte. Beide Teile werden durch einen Bajonettverschlussring zusammengehalten. Das Membranfilter hat einen Durchmesser von 5 cm; es wird auf die Metallfritte gelegt und auf ihr nach Aufsetzen des Aufsatzes durch Anziehen des Bajonettverschlussringes festgeklemmt.
3. Das mit einem Absperrhahn versehene Auslaufrohr des Unterteils wird mit einem durchbohrten Gummistopfen auf eine Saugflasche gesetzt, die an einer Vakuumpumpe angeschlossen ist.
4. Vor jedem Gebrauch werden der Trichteraufsatz und das Unterteil, soweit es mit dem Membranfilter in Berührung kommt, nach Lösen des Bajonettverschlussringes und Auseinandernehmen der Teile mit Ethanol desinfiziert. Anschließend wird mit der Flamme eines Bunsenbrenners etwa 20 s lang abgeflammt. Beim Abflammen der Metallfritte ist es ratsam, die Vakuumpumpe laufen zu lassen, um die Flamme durch die Fritte zu saugen und auf diese Weise eine gründliche Desinfektion zu erreichen.
5. Der Deckel der Petrischale mit dem Trockennährboden wird zuvor beschriftet (Art des Rohwassers, evtl. Verdünnung, Nährkartonscheiben (NKS) für *Caso* und *Coli*). Nun wird die in der Petrischale liegende Trockennährboden (Nährkartonscheiben) mit 3 ml sterilem Wasser befeuchtet.
6. Nach Abkühlen der Geräte wird ein steriles Membranfilter mit einer sterilen Pinzette so auf die Filterplatte gelegt, dass der Raster des Filters oben liegt.
7. Der Trichteraufsatz wird aufgesetzt und der Bajonettverschluss verriegelt.
8. 100 ml des zu untersuchenden Rohwassers oder der Verdünnung werden in den Trichteraufsatz gegeben, der Hahn des Unterteils wird geöffnet und das Wasser durch das Membranfilter in die Saugflasche gesaugt.
9. Nach Abnehmen des Trichteraufsatzes wird das Saugen noch 5 bis 10 s fortgesetzt, um die auf dem Filter stehende Flüssigkeit restlos zu entfernen.
10. Das Membranfilter wird mit einer sterilen Pinzette (mit der Unterseite nach unten) auf die Oberfläche der in einer Petrischale liegenden Nährkartonscheibe gelegt.
11. Die Petrischale wird 48 h bei $36\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ im Brutschrank bebrütet. Die Nähr-, Indikator und Hemmstoffe diffundieren durch das Filter und geben den auf der Oberseite evtl. vorhandenen Bakterien Möglichkeit, sich bei der Bebrütung zu sichtbaren Kolonien zu entwickeln [28].

Die Arbeitsschritte 4 bis 11 werden entsprechend bei einem neuem Rohwasser wiederholt.



Abb. 5.13: Brutschrank

5.4.3 Auszählung der E. coli, coliforme Bakterien und Gesamtkeime

5.4.3.1 Nachgebautes Elektrolyse-Gerät

Das Chlor-Konzentrat stammt vom nachgebauten Elektrolyse-Gerät. Die Chlor-Konzentration beträgt 225 mg/l (Tab. 5.2, Chlor-Konzentrat Nr.1).

Bezeichnung	Verdünnung V	E. coli [Anzahl/100 ml]	coliforme Bakterien [Anzahl/100 ml]	Gesamtkeime [Anzahl/100 ml]
Klärwasser	1:100	25	63	227
Klärwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat, Zugabe: 20 ml/l Rohwasser	1:50	-	-	-
Klärwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat, Zugabe: 10 ml/l Rohwasser	1:100	-	-	46
Moselwasser	1:10	9	142	87
Moselwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat, Zugabe: 20 ml/l Rohwasser	1:50	-	-	-
Moselwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat, Zugabe: 10 ml/l Rohwasser	1:100	-	2	66
Brunnenwasser	1:1	-	-	3
Brunnenwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat, Zugabe: 2 ml/l Rohwasser	1:50	-	-	-
Oberflächenwasser	1:1	-	-	3
Oberflächenwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat, Zugabe: 2 ml/l Rohwasser	1:50	-	-	-

Tab. 5.7: Ergebnisse des Membranfilter-Verfahren beim nachgebauten Elektrolyse-Gerät

5.4.3.2 Prototyp

Das Chlor-Konzentrat stammt vom Prototyp. Die Chlor-Konzentration beträgt 375 mg/l (Tab. 5.3, Chlor-Konzentrat Nr. 1).

Bezeichnung	Verdünnung V	E. coli [Anzahl/100 ml]	coliforme Bakterien [Anzahl/100 ml]	Gesamtkeime [Anzahl/100 ml]
Klärwasser	1:100	25	63	227
Klärwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat, Zugabe: 20 ml/l Rohwasser	1:50	-	-	2
Moselwasser	1:10	9	142	87
Moselwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat, Zugabe: 20 ml/l Rohwasser	1:50	-	-	3

Tab. 5.8: Ergebnisse des Membranfilter-Verfahren beim Prototyp

Auf die Untersuchungen Brunnen- und Oberflächenwasser mit jeweils unverdünntem Chlor-Konzentrat wurde verzichtet, da bei Brunnen- und Oberflächenwasser ohne Chlor-Konzentrat wenig bis keine Keime vorhanden waren (siehe Tab. 5.7).

Auf die Verdünnung $V=1:100$ bei den Rohwässer Klärwasser und Moselwasser mit jeweils unverdünntem Chlor-Konzentrat wurde verzichtet, da die Verdünnung $V=1:50$ aufgrund der geringen Keimentwicklung schon gut gewählt wurde.

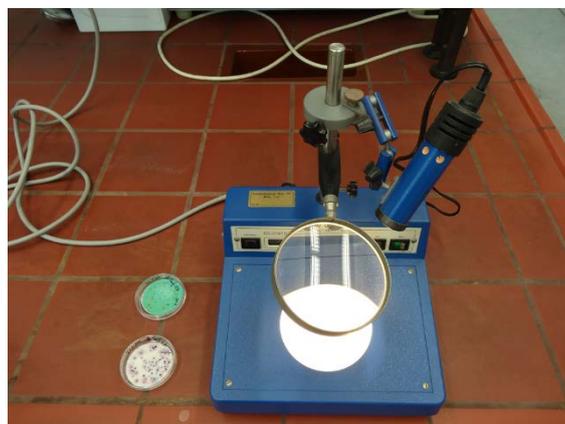


Abb. 5.14: Auszählung der Kolonien mittels Kolonien-Zähler

5.5 Auswertung der Ergebnisse

5.5.1 Chlor-Konzentration

Man erkennt aus der Tab. 5.1, dass das Chlor-Konzentrat ohne Verdünnung eine Chlor-Konzentration über 10 mg/l jeweils bei freiem Chlor und Gesamtchlor vorweist, was noch zu stark ist. Es muss verdünnt werden.

Nach Tab. 5.2 eignet sich bei dem Chlor-Konzentrat Nr.2 nach den Bedingungen (4.3 Durchführung) eine Verdünnung $V=1:100$. Hier ergab die Chlor-Konzentration 2,8 mg/l, was eher den WHO-Richtlinien (2 bis 3 mg/l) entspricht. Man könnte ggf. die Verdünnung $V=1:150$ oder $V=1:200$ ausprobieren, um zu schauen, inwieweit sich die Konzentration von 2,8 mg/l vermindert.

Nach der WHO sind bei einer Chlor-Konzentration von 2,0 mg/l größtenteils alle schädlichen Mikroorganismen abgetötet. Die TrinkwV ist strenger geregelt. Sie lässt nur 1,2 mg/l als max. zulässige Zugabemenge zu.

Es eignet sich gut bei den Bedingungen (4.3 Durchführung): Klärwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat Nr.1 ($V=1:100$) und Mosel mit unverdünntem Chlor-Konzentrat Nr.1 ($V=1:100$) nach jeweils 30 Minuten kommen gut an den WHO-Wert von 0,5 mg/l nach 30 Minuten Kontaktzeit. Die TrinkwV gibt vor, dass sich nur noch 0,3 mg/l freies Chlor im Wasser nach Chlorzugabe noch befinden darf.

Kurz nach Zugabe des Chlor-Konzentrats bleiben Gesamtchlor-Konzentration und die Konzentration des freien Chlors immer etwa. Nach einer gewissen Kontaktzeit mit keimhaltigem Rohwasser wird sich dies ändern und die Konzentration vom freien Chlor wird geringer. Bei Brunnen- und Oberflächenwasser waren kaum Keime vorzufinden (Tab. 5.7). Dementsprechend bleibt die Konzentration von Gesamtchlor und freiem Chlor bei diesen beiden Rohwässer gleich (Tab. 5.2 und Tab. 5.3).

In Tab. 5.2 sind die Werte für Brunnen- und Oberflächenwasser leicht überhöht. Sie legen aber im Bereich 1 bis 5 mg/l. Hier müsste man ggf. mit der Verdünnung $V=1:100$ arbeiten, da evtl. diese Rohwässer nach Chlorzugabe eher nach Chlor schmecken und riechen werden.

Bei den Rohwässer Klärwasser und Moselwasser nimmt nach Chlorzugabe die Konzentration des freien Chlors ab, weil diese Rohwässer sehr keimhaltig sind und nun dadurch das „Aktiv-Chlor“ (freies Chlor) verbraucht wird, um diese Keime dieser Rohwässer abzutöten. Man kann sagen, je mehr Keime im Rohwasser sind, desto weniger wird freies Chlor übrigbleiben.

Nach einer 18-stündigen Kontaktzeit mit dem Rohwasser kann man immer noch Chlor-Konzentrationen messen (Tab. 5.2, letzten 2 Zeilen).

Auch beim Prototyp gibt es ähnliche Ergebnisse wie beim nachgebauten Elektrolyse-Gerät. Es soll nach einer 30-minütigen Kontaktzeit mit dem Rohwasser die Chlor-Konzentration an freiem Chlor 0,5 mg/l betragen (nach WHO). Dies wurde auch in etwa in Tab. 5.3 erreicht bei den Rohwässer Klärwasser und Moselwasser mit jeweils Chlor-Konzentrat und der Verdünnung $V=1:100$ nach 30 Minuten Kontaktzeit.

Es stellt sich der gleiche Zusammenhang zwischen keimhaltiges Rohwasser und Chlor-Konzentrat. Bei den Rohwässer Moselwasser und Klärwasser sinkt die Konzentration vom freien Chlor.

In Tab. 5.3 wurden 2 Chlor-Konzentrate untersucht. Die eine wies eine bei einer Verdünnung $V=1:50$ eine Chlor-Konzentration von 7,5 mg/l. Daneben wurde ein 4 Wochen altes Chlor-Konzentrat untersucht. Sie wies eine Chlor-Konzentration von 4,7 mg/l bei einer Verdünnung $V=1:50$ auf.

Mit der Zeit sinkt die Chlor-Konzentration und damit sinkt auch die Desinfektionswirkung. Deshalb sollte man möglichst ohne Verzögerung das Chlor zeitnah produzieren und dann entsprechend dem Rohwasser begeben.

Das Chlor-Konzentrat Nr.1 aus Tab. 5.3 müsste noch höher verdünnt werden (evtl. $V=1:150$), um in den Bereich von 2 -3 mg/l der WHO zu kommen.

Ähnliches gilt auch für Brunnen- und Oberflächenwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat Nr.1, man müsste hier evtl. mit der Verdünnung $V=1:150$ arbeiten.

Es ist noch zu erwähnen, dass die Konzentration des freien Chlors stark abhängig von der Verweilzeit, vom Verschmutzungsgrad des Rohwassers, von der Verkeimung des Wassers und der Temperatur ist [19].

Auffällig ist, dass bei gleicher Verdünnung und bei gleichen Herstellungsbedingungen (nach 4.3 Durchführung) der Prototyp dennoch eine höhere Chlor-Konzentration gegenüber dem nachgebauten Elektrolyse-Gerät produziert.

Es gibt 2 Möglichkeiten, die Chlor-Konzentration zu erhöhen. Die erste Möglichkeit ist, dass man mehr Salz in die Aufbewahrungsbox gibt (dies wurde nicht untersucht) und die zweite ist, dass man die Batterielaufzeit erhöht (siehe Tab. 5.3, 8-stündige Batterielaufzeit).

Wichtig ist, dass die Dosierung sich immer nach dem Verhältnis zwischen der Konzentration der Chlorlösung und der zu dosierenden Wassermenge bezieht. Das heißt, rein mathematisch, mit einer Konzentration von 280 mg/l (Tab. 5.2, zweite Zeile) in 20 l Rohwasser, benötigt man 0,143 l vom unverdünnten Chlor-Konzentrat, um 2 mg/l in dem 20 Liter Kanister mit Rohwasser zu erreichen.

In anderen Worten: diese 0,143 l an Chlor-Konzentrat (unverdünnt) reicht aus, um 20 l Rohwasser zu desinfizieren.

Geht man einen Schritt nun weiter, würde das heißen: Bei der Produktion des Chlor-Konzentrats entstehen 10 l Chlor-Konzentrat. Man könnte mit dieser Menge an Chlor-Konzentrat 1396,6 l Rohwasser desinfizieren. Jedoch müsste diese Menge an Chlor-Konzentrat direkt ohne lange Verzögerung in einen großen Wasserbehälter hineingegeben werden, damit keine Chlor-Gase entweichen können und seine Desinfektionswirkung nicht verliert. Dies ist noch nicht in der Praxis getestet bzw. untersucht worden.

Man könnte mit diesen ca. 1400 l Wasser ca. 14 Familien bei einem täglichen und durchschnittlichen Gesamtverbrauch von jeweils ca. 100 l Wasser (für Duschen, Kochen, Toilette, Spülen, Wäschewaschen und Trinken) versorgen.

5.5.2 pH-Wert

Aus Tab. 5.4 erkennt man, dass sich der pH-Wert bei Zugabe des Chlor-Konzentrats zum Rohwasser überwiegend nicht verändert.

Es ist außerdem darauf zu achten, den pH-Wert in den Bereichen 6,5 bis 9,5 (nach TrinkwV und WHO) zu halten. Dies ist der Fall, die pH-Werte (Tab. 5.4) liegen im gültigen Bereich von 6,5 bis 9,5.

Der pH-Wert beschreibt den negativ dekadischen Logarithmus der Wasserstoff-Ionen in einer wässrigen Lösung und diese werden durch Zugabe von Chlor im Wesentlichen nicht verändert. Wenn das Wasser im Gleichgewicht steht, so bleibt auch der pH-Wert bei einer Chlorung auch konstant.

Es ist nicht relevant für die Veränderung des pH-Werts, wie viel ml an Chlor-Konzentrat man zu einem Rohwasser gibt.

Während der Zeit, in der das Rohwasser mit dem Chlor reagiert, kann man die sog. Chlorverzehrung, d.h. den Verbrauch des Chlors in dieser Zeit, beobachten und ggf. zeitlich messen. Der Aspekt der Chlorverzehrung wurde nicht untersucht.

Wie in Kapitel 2.3 beschrieben nimmt die keimtötende Wirkung bei Chlor mit steigendem pH-Wert ab. Die Desinfektion ist sehr vom pH-Wert abhängig.

Für eine effektive Desinfektion rät die WHO vorzugsweise einen pH-Wert unter 8 [15].

Die Messung des pH-Werts beim Chlor, das mittels Prototyp produziert wurde, wurde ausgelassen, da dieser Effekt schon bei dem Chlor-Konzentrat des nachgebauten Elektrolyse-Geräts ersichtlich ist.

5.5.3 Leitfähigkeit

Aus Tab. 5.5 ist zu sehen, dass die Leitfähigkeit aufgrund des Chlor-Konzentrats zunimmt. Dies lässt sich dadurch erklären, dass bei der Kochsalz-Elektrolyse schon bereits geladene Natrium-Ionen (im Salz enthalten) schon vorhanden waren.

Die Chlorklösung ist über die Elektrolyse entstanden, d.h. es wurde mit Salz gearbeitet, welches nicht komplett zu unterchloriger Säure bzw. Natriumchlorid dissoziiert ist. Salz erhöht die Leitfähigkeit deutlich.

Vereinfacht kann man den Anstieg allgemein auf die zusätzliche Menge an gelösten Salzen im Chlor zurückführen, die nun dem Rohwasser beigefügt werden.

Die Messung der Leitfähigkeit beim Chlor, das mittels Prototyp produziert wurde, wurde ausgelassen, da dieser Effekt schon bei dem Chlor-Konzentrat des nachgebauten Elektrolyse-Geräts ersichtlich ist.

Die Grenzwerte der TrinkwV wurden eingehalten.

5.5.4 Ionenchromatographie

Der Einfluss des Chlors ist bei den Wasserinhaltsstoffen (Kalium, Calcium, Magnesium und Natrium) ersichtlich.

Im Großen und Ganzen blieben die Werte fast konstant und veränderten sich nur leicht bzw. kaum.

Beim Natrium-Wert allerdings sieht man schon bemerkbare und prozentuale Sprünge gegenüber Rohwasser ohne Chlor. Bei Klärwasser mit Chlor ist die prozentuale Zunahme 13,4 %, bei Mosel mit Chlor 19,6 %, bei Brunnenwasser mit Chlor 10,1 % und sehr bemerkenswert bei Oberflächenwasser mit Chlor 79,4 %.

Aus den Ergebnissen lässt sich ein erhöhter Natriumwert bei allen Rohwässern mit Chlor erkennen. Im Kochsalz (auch Natriumchlorid) befinden sich auch Natrium-Ionen. Mittels der Kochsalz-Elektrolyse für die Produktion von Chlor sind noch im Chlor Natrium-Ionen enthalten, was den Anstieg der Natriumwerte gegenüber den Rohwässern ohne Chlor erklärt.

Auffällig ist, dass der Kaliumwert und Calciumwert bei Moselwasser mit Chlor abnimmt gegenüber Moselwasser ohne Chlor. Wahrscheinlich sind bei Moselwasser durch die Chlorzugabe wohl Kalium- und Calcium-Verbindungen ausgeflockt.

Bei allen anderen Rohwässern mit Chlor steigen die entsprechenden Werte an gegenüber Rohwässern ohne Chlor.

Die Messung beim Chlor, das mittels Prototyp produziert wurde, wurde ausgelassen, da dieser Effekt schon bei dem Chlor-Konzentrat des nachgebauten Elektrolyse-Geräts ersichtlich ist.

Der Grenzwert für das Natrium nach WHO und TrinkwV mit jeweils 200 mg/l wurde hier eingehalten.

5.5.5 Membranfilter-Verfahren

Das Chlor hat eine sehr starke keimtötende Wirkung, dies zeigt sich dadurch, dass bei den Rohwässern Klärwasser und Moselwasser jeweils mit Chlor bei einer Verdünnung $V=1:50$ keine E. coli, coliforme Bakterien und Gesamtkeime vorzufinden war.

Allerdings zeigte sich bei einer Verdünnung $V=1:100$, dass noch beim Klärwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat ($V=1:100$) 46 Gesamtkeime vorhanden sind. Bei Moselwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat ($V=1:100$) waren noch 2 coliforme Bakterien und 66 Gesamtkeime vorzufinden. Hier empfiehlt sich, dass man das entsprechende Rohwasser mit unverdünntem Chlor-Konzentrat besser mit $V=1:50$ verdünnt.

Klärwasser und Moselwasser ohne jeweils Chlor-Konzentrat konnten nicht mit der Verdünnung $V=1:1$ untersucht werden, da in den unverdünnten Rohwässern eine Auszählung nach dem Membranfilter-Verfahren nicht möglich war.

Deswegen wurde Klärwasser mit $V=1:100$ und Moselwasser mit $V=1:10$ verdünnt.

Man sieht, dass sich auch bei Brunnen- und Oberflächenwasser (obwohl sie wenige bis keine Keime ohne Chlor-Konzentrat vorweisen) mit Chlor-Konzentrat die Desinfektionswirkung zeigte.

Bei den Ergebnissen des Prototyps ergab, dass bei Klärwasser mit Chlor-Konzentrat ($V=1:50$) noch 2 Gesamtkeime und Moselwasser mit Chlor-Konzentrat ($V=1:50$) 3 Gesamtkeime vorzufinden waren. Hier ist eine Verdünnung von $V=1:25$ nicht nötig, da die Gesamtkeimzahl sehr gering ist. Die keimtötende Wirkung des Chlors ist auch hier ersichtlich.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Aufgrund der massiven Trinkwasserproblematik weltweit und den möglichen Krankheiten infolge verunreinigtes bzw. keimbelastetes Wasser in den Entwicklungsländern ist es notwendig, die Wasserversorgung und Wasseraufbereitung intensiver hinsichtlich Zugang zu sauberem Wasser, Sanitäreinrichtungen und Hygiene weiter auszubauen. Wenn diese grundlegenden Bedingungen nicht vorhanden sind, verschlechtert sich die Produktivität der Menschen, das ökonomische Wachstum und das Bevölkerungswachstum zunehmend.

Dieses Konzept dieser einfachen Wasseraufbereitungsmethode trägt dazu bei, dass es zukünftig einen kleinen Schritt zur Verbesserung des Gesundheitsstandards in den Entwicklungsländern und zur evtl. Unabhängigkeit zu Industrieländern macht.

Weiterhin soll auf die bakterielle Gefahr in den Brunnen- und Oberflächenwasser, usw. aufmerksam gemacht werden, d.h. es muss präventiv mehr in Form von Desinfektion getan werden. Denn die meisten Erkrankungen der Menschen in den Entwicklungsländern hat ihren Ursprung in verunreinigtes und keimbelastetes Wasser, das die Menschen trinken und dadurch unter Durchfallerkrankungen leiden.

Für die Zukunft müssen einfache, kostengünstige und zuverlässige Wasseraufbereitungstechniken und -geräte im Gegensatz zu den teuren und hochkomplizierten Wasseraufbereitungsanlagen geschaffen werden. Es soll am besten für den kleinen Bürger mit geringer Kaufkraft und niedrigem Lebensstandard konzipiert werden. Absolute Priorität und oberstes Ziel soll es sein, dass jedem Menschen Zugang zu sauberem Wasser und zu sicherer, hygienischer und sanitärer Einrichtung gewährt werden muss.

Dieses Gerät kann ggf. auch im Katastrophenfall genutzt werden. Das Chlor kann jederzeit vor Ort erzeugt werden und dieses Gerät passt sich den ortsveränderlichen Gegebenheiten an. Zudem zeigt es auch, dass man für trinkbares und keimfreies Wasser nicht zwingend große Maßnahmen in Form von großen Wasseraufbereitungsanlagen und aufwendige und entwicklungs-technische Hilfe der Industrienationen usw. benötigt.

Der Trend geht dahin, dass man mehr auf „low-tech“-Technologien zur Wasseraufbereitung gegenüber „high-tech“ zurückgreift, die einfach gebaut, genutzt und gewartet werden können.

Ein Großverkäufer könnte beispielsweise mit diesem Gerät viele umliegende Gemeinden oder Dörfer ausstatten. Gegebenenfalls könnte er für Wartung, Einweisung/Schulung für das Gerät, Reparatur und Herstellung zuständig sein.

Diese Bachelor-Thesis hat gezeigt, dass das mittels Elektrolyse hergestellte Chlor seine keimtötende Wirkung in vollen Maße entwickelt. Vorteile dieser Art der Desinfektion mit Depotwirkung ist, dass die Desinfektion sicher und kostengünstig ist. Außerdem lässt sich die Dosis einfach kontrollieren. Nachteilig sind die Desinfektionsnebenprodukte, der Eigengeruch/-geschmack des Chlors und die Konzentrationsabnahme (und damit auch die Desinfektionswirkung) mit der Zeit bei Lagerung.

Größtenteils wurden in allen chemischen Analysen die Werte der TrinkwV und WHO eingehalten, wobei die WHO-Richtlinien das Richtmaß sein sollten, denn die Vorschriften der TrinkwV sind teils streng geregelt als auch nicht praktisch für die Entwicklungsländer ausgelegt.

Es ist schon eine Herausforderung, die Chlor-Konzentration so herzustellen, dass es später bei der Zugabe zum Rohwasser nicht zu sehr stark nach Chlor schmeckt und riecht. Eine andere Frage ist auch, ob die Menschen dieses desinfizierte Rohwasser annehmen werden, vielleicht ertragen sie nicht den Chlor-Geschmack im Wasser und bevorzugen lieber das Wasser, das sie gewohnt sind.

Die stündliche Messung der Stromstärke könnte von Interesse gemessen werden. Dadurch könnte man besser die Entladungsrate der Autobatterie zeigen. Weiterhin könnte man untersuchen, wie sich der Gehalt und die Konzentration des Chlors bei einer konstanten Spannung in Form eines Labornetzteils gegenüber einer abbauenden Spannung wie der Batterie entwickelt.

Sicherlich bestünde noch die Möglichkeit, andere Materialien (z.B. Platin oder Graphit) für die Elektroden zu wählen und zu untersuchen. Sie sollen möglichst auch im Preis-Leistungs-Verhältnis im Rahmen sein. Entscheidend und wichtig ist die Wahl des Materials bei der Anode.

Außerdem könnte man noch den Elektrodenabstand von Interesse untersuchen, d.h. welcher Abstand ist der optimalste für die Chlor-Produktion.

Die Kosten des Prototyps sind mit ca. 200 bis 250 US-Dollar (inklusive eines Solarmoduls) Kosten verbunden. Bei dem nachgebauten Elektrolyse-Gerät kommt man auf ca. 200 € Kosten (ohne Solarmodul). Beide Geräte sind sehr lange einsetzbar. Trotzdem ist es auch notwendig, den Elektrodenverschleiß und die regelmäßige Wartung sorgsam zu planen.

Der größte Kostenanteil beim nachgebauten Elektrolyse-Gerät waren die Titan-Elektroden (ca. 100€). Es ist fraglich, ob sich diese Idee hinsichtlich der finanziellen Machbarkeit realisieren lässt. Titan ist wegen der hohen Herstellungskosten eher für technisch anspruchsvolle Anwendungen gedacht. Außerdem wird es eine Herausforderung sein, eine möglichst kostengünstigere Alternative zu Titan zu schaffen, die gleichzeitig dieselben Eigenschaften wie Titan hat und entsprechend selbe Ergebnisse liefert (klare und farblose Chlidlösung).

Abschließend kann man sagen, dass dieses Gerät eine mögliche Alternative in der Wasseraufbereitung sein kann und die praktische Eignung nachgewiesen wurde.

7 Literaturverzeichnis

- [1] Welthungerhilfe: *Wasser und Entwicklung - Kochen, Waschen, Gießen, Trinken: Wasser sichert Überleben* (21.03.16), unter: <http://www.welthungerhilfe.de/wasser.html> (Abrufdatum: 09.05.16)
- [2] UNICEF: *UNICEF ZUM WELTWASSERTAG AM 22. MÄRZ* (20.03.15), unter: <https://www.unicef.de/presse/2015/weltwassertag-2015/73998> (Abrufdatum:09.05.16)
- [3] Deutsche UNESCO-Kommission e.V.: *Weltwasserbericht 2014: Zusammenfassung* (März 2014), unter: <http://www.unesco.de/wissenschaft/2014/weltwasserbericht2014.html> (Abrufdatum: 09.05.16)
- [4] Pawlak, Britta (2016): *Problem Wasser: Kein sauberes Wasser für alle Menschen*, Cosmos Media UG, unter: <http://www.helles-koepfchen.de/artikel/3525.html> (Abrufdatum: 10.05.16)
- [5] Seyfarth, Rolf; Soiné, K.J. (2000): *Kleines Lexikon zur Trinkwasserbeschaffenheit*, 2. Auflage, Oldenbourg Industrieverlag GmbH, München
- [6] Mutschmann, J.; Stimmelmayer, F. (2011): *Taschenbuch der Wasserversorgung*, 15. Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden
- [7] Merkl, Gerhard (2008): *Technik der Wasserversorgung*, Oldenbourg Industrieverlag GmbH, München
- [8] Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. (2001): *Praxis der Wasserversorgung (Fachbuch)*, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- [9] Wilhelm, Stefan (2008): *Wasseraufbereitung – Chemie und chemische Verfahrenstechnik*, 7. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- [10] TrinkwV 2001: *Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch*, Neubekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459, 460)
- [11] Umweltbundesamt: *Bekanntmachung der Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 11 der Trinkwasserverordnung*, 18. Änderung, Stand: Oktober 2015
- [12] Bundesministerium für Gesundheit: *Die Weltgesundheitsorganisation (WHO)* (27.01.16), unter: <http://www.bmg.bund.de/glossar-begriffe/v-y/weltgesundheitsorganisation-who.html> (Aufrufdatum: 12.05.16)
- [13] Umweltbundesamt: *WHO-Kooperationszentrum für Trinkwasserhygiene* (25.02.15), unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/trinkwasser/who-kooperationszentrum-fuer-trinkwasserhygiene> (Aufrufdatum: 12.05.16)

- [14] WHO-Regionalbüro für Europa: *Überarbeitete Trinkwasserleitlinien veröffentlicht* (14.07.11), unter: <http://www.euro.who.int/de/health-topics/environment-and-health/water-and-sanitation/news/news/2011/07/revised-drinking-water-guidelines-issued> (Aufrufdatum: 13.05.16)
- [15] World Health Organization (2011): *Guidelines for Drinking-water Quality*, 4. Auflage
- [16] World Health Organization (2011): *Evaluating household water treatment options: health-based targets and microbiological performance*
- [17] WASH Cluster: *Handout Practical Chlorination*, unter: http://www.redr.org.uk/washmaterials/content/W%20-%20Water/W4%20-%20Water%20sources,%20treatment/W4_HO_practical%20chlorination.doc (Aufrufdatum: 14.05.16)
- [18] SimplyScience Stiftung: *Die Kochsalz-Elektrolyse: Salz + Wasser + Strom ergibt ...?* (29.03.16), unter: <https://www.simplyscience.ch/teens-liesnach-archiv/articles/die-kochsalz-elektrolyse-salz-wasser-strom-ergibt.html> (Aufrufdatum: 16.05.16)
- [19] Roeske, Wolfgang (2007): *Trinkwasserdesinfektion*, 2. Auflage, Oldenbourg Industrieverlag GmbH, München
- [20] DVGW W 296 (A) (2014): *Trihalogenmethanbildung - Vermindern, Vermeiden und Ermittlung des Bildungspotentials*, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- [21] DVGW W 295 (A) (1997): *Ermittlung von Trihalogenmethanbildungspotenzialen von Trink-, Schwimmbecken- und Badebeckenwässern*, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- [22] Grombach, P.; Haberer, K.; Merkl, G.; Trüb, E. U. (2000): *Handbuch der Wasserversorgungstechnik*, 3. Auflage, Oldenbourg Industrieverlag GmbH, München
- [23] Koller, U. (1997): *Schwimm- und Badebeckenwasser*, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, unter: http://www.gesundheitsamt.de/alle/umwelt/wasser/allg/beck_bw.htm#trihalogenmetane (Aufrufdatum: 22.05.16)
- [24] Verein zur Förderung der praxisbezogenen wissenschaftlichen Forschung und des Technologietransfers im Bereich der öffentlichen Versorgung e.V. (2011): *Das Wasser-Lexikon*, unter: <http://www.vftv.de/wasser/h2olex/h2olex.htm#trihalogene> (Aufrufdatum: 24.05.16)
- [25] Zühlke, Karsten: *Kohlenwasserstoffe*, unter: <http://www.trinkwasserspezi.de/ckw.htm> (Aufrufdatum: 25.05.16)
- [26] Macherey-Nagel GmbH & Co. KG: *Schwimmbad Test 5 in 1*, Beipackzettel
- [27] Hach Lange GmbH: *Chlor/Ozon/Chlordioxid Küvetten-Test LCK 310/343*, Beipackzettel
- [28] Wilhelm, Stefan: *Laborbeschreibungen Wasserversorgung*, Hochschule Trier, Fachrichtung Gebäudetechnik, Versorgungstechnik, Energietechnik

- [29] Wiley Information Services GmbH: *Potentiometrische pH-Messung*, unter: http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/11/aac/vorlesung/kap_11/vlus/pot_phmessung.vlu/Page/vsc/de/ch/11/aac/vorlesung/kap_11/kap11_2/kap11_2b/ka p11_25b.vscml.html (Aufrufdatum: 28.05.16)
- [30] Kölle, Walter (2003): *Wasseranalysen – richtig beurteilt*, 2. Auflage, Wiley-VCH Verlag, Weinheim
- [31] Vimedica GmbH: *Was ist Calcium?*, unter: <https://www.vimedica.de/biomarker/calcium> (Aufrufdatum: 30.05.16)
- [32] Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V.: *Magnesium*, unter: <https://www.dge.de/wissenschaft/referenzwerte/magnesium/> (Aufrufdatum: 30.05.16)
- [33] Gong Verlag GmbH: *Kalium* (10.12.15), unter: <http://www.lifeline.de/diagnose/laborwerte/kalium-id47721.html> (Aufrufdatum: 30.05.16)
- [34] Dr. Möller & Schmelz GmbH: *Colichrom-NKS*, unter: <http://www.dr-moeller-und-schmelz.de/nks/Colichrom-NKS.pdf> (Aufrufdatum: 03.06.16)
- [35] Dr. Möller & Schmelz GmbH: *Caso-NKS*, unter: <http://www.dr-moeller-und-schmelz.de/nks/Caso-NKS.pdf> (Aufrufdatum: 03.06.16)

8 Anlagenverzeichnis

Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 11 Trinkwasserverordnung (Umweltbundesamt).....	57
Beipackzettel „Schwimmbad Test 5 in 1“	62
Arbeitsvorschrift LCK 310 (Küvettest)	63
Ergebnisse der Ionenchromatographie (Chromatogramm und Peaktabelle).....	66
Klärwasser	66
Klärwasser mit Chlor-Konzentrat.....	67
Moselwasser	68
Moselwasser mit Chlor-Konzentrat.....	69
Brunnenwasser.....	70
Brunnenwasser mit Chlor-Konzentrat.....	71
Oberflächenwasser.....	72
Oberflächenwasser mit Chlor-Konzentrat.....	73

Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren

gemäß § 11 Trinkwasserverordnung

Stand: Oktober 2015,
gültig ab Inkrafttreten der Dritten Verordnung zur Änderung der Trinkwasserverordnung

Teil I c

Aufbereitungsstoffe, die zur Desinfektion des Wassers eingesetzt werden

Oktober 2015

25

Teil I c: Aufbereitungsstoffe, die zur Desinfektion des Wassers eingesetzt werden; Stand Oktober 2015									
Lfd. Nr.	Stoffname	CAS-Nummer	EINECS-Nummer	Verwendungszweck	Reinheitsanforderungen	Zulässige Zugabe	Konzentrationsbereich nach Abschluss der Aufbereitung ²⁾	Zu beachtende Reaktionsprodukte	Bemerkungen
1	Calciumhypochlorit	7778-54-3	231-908-7	Desinfektion	DIN EN 900 Tab. 1: Typ 1	1,2 mg/L freies Cl ₂	max. 0,3 mg/L freies Cl ₂ min. 0,1 mg/L freies Cl ₂	Trihalogenmethane, Bromat	Zusatz bis zu 4,7 mg/L freies Cl ₂ und Gehalte bis 0,6 mg/L freies Cl ₂ nach der Aufbereitung bleiben außer Betracht, wenn anders die Desinfektion nicht gewährleistet werden kann oder wenn die Desinfektion zeitweise durch Ammonium beeinträchtigt wird. Der Grenzwert für Bromat ist zu beachten.
2	Chlor	7782-50-5	231-959-5	Desinfektion, Herstellung von Chlordioxid	DIN EN 937 Tab. 1 Bei Herstellung des Chlor nach dem Amalgam-Verfahren: Hg-Gehalt max. 0,1 mg/kg Cl ₂	1,2 mg/L freies Cl ₂	max. 0,3 mg/L freies Cl ₂ min. 0,1 mg/L freies Cl ₂	Trihalogenmethane	Zusatz bis zu 6 mg/L freies Cl ₂ und Gehalte bis 0,6 mg/L freies Cl ₂ nach der Aufbereitung bleiben außer Betracht, wenn anders die Desinfektion nicht gewährleistet werden kann oder wenn die Desinfektion zeitweise durch Ammonium beeinträchtigt wird.
3	Chlordioxid	10049-04-4	233-162-8	Desinfektion	DIN EN 12671 Nur Angaben zu den Ausgangsstoffen (EN 937, 938, 939, 12678, 12926)	0,4 mg/L ClO ₂	max. 0,2 mg/L ClO ₂ min. 0,05 mg/L ClO ₂	Chlorit	Ein Höchstwert für Chlorit von 0,2 mg/L ClO ₂ nach Abschluss der Aufbereitung muss eingehalten werden. Der Wert für Chlorit gilt als eingehalten, wenn nicht mehr als 0,2 mg/L Chlordioxid zugegeben werden. Möglichkeit von Chloratbildung beachten.
4	Natriumhypochlorit	7681-52-9	231-668-3	Desinfektion	DIN EN 901 Tab. 1: Typ 1 Grenzwert für Verunreinigungen mit Natriumchlorat (NaClO ₃): < 5,4 % (m/m) des Aktivchlors	1,2 mg/L freies Cl ₂	max. 0,3 mg/L freies Cl ₂ min. 0,1 mg/L freies Cl ₂	Trihalogenmethane, Bromat	Zusatz bis zu 6 mg/L freies Cl ₂ und Gehalte bis 0,6 mg/L freies Cl ₂ nach der Aufbereitung bleiben außer Betracht, wenn anders die Desinfektion nicht gewährleistet werden kann oder wenn die Desinfektion zeitweise durch Ammonium beeinträchtigt wird. Der Grenzwert für Bromat ist zu beachten.
5	Ozon	10028-15-6	233-069-2	Desinfektion, Oxidation	DIN EN 1278 Anhang A.3.2	10 mg/L O ₃	≤ 0,05 mg/L O ₃	Trihalogenmethane, Bromat	Siehe auch Liste Teil I a

Oktober 2015

26

Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren
gemäß § 11 Trinkwasserverordnung



Legende:

2) Einschließlich der Gehalte vor der Aufbereitung und aus anderen Aufbereitungsschritten
CAS Chemical Abstracts Service
EINECS European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances
max. maximal
min. minimal
Tab. Tabelle

Oktober 2015

27

Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren
gemäß § 11 Trinkwasserverordnung



Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren

gemäß § 11 Trinkwasserverordnung

Stand: Oktober 2015,
gültig ab Inkrafttreten der Dritten Verordnung zur Änderung der Trinkwasserverordnung

Teil II

Desinfektionsverfahren

Oktober 2015

28

Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren
gemäß § 11 Trinkwasserverordnung

Teil II: Desinfektionsverfahren; Stand Oktober 2015						
Lfd. Nr.	Desinfektionsverfahren ⁵⁾	Verwendungszweck	Technische Regeln	Mindesteinwirkdauer	Anforderungen an das Verfahren	Bemerkungen
1	Dosierung einer vor Ort hergestellten Chlordioxidlösung	Desinfektion	DVGW-Arbeitsblätter W 224, W 624	-	-	-
2	Dosierung von Chlorgaslösungen	Desinfektion	DVGW-Arbeitsblätter W 296, W 623	-	Einsatz erweiterter Vakuumchlorgasdosieranlagen	Bei Einsatz des Verfahrens außerhalb des Wasserwerkes ist auf die Einhaltung des Grenzwertes für Trihalogenmethane (THM) beim Verbraucher zu achten.
3	Dosierung von Natrium- und Calciumhypochlorit-Lösung	Desinfektion	DVGW-Arbeitsblätter W 296, W 623	-	-	Bei Einsatz des Verfahrens außerhalb des Wasserwerkes ist auf die Einhaltung des Grenzwertes für Trihalogenmethane (THM) beim Verbraucher zu achten.
4	Elektrolytische Herstellung und Dosierung von Chlor vor Ort	Desinfektion	DVGW-Arbeitsblätter W 296, W 623, W 229	-	-	Bei Einsatz des Verfahrens außerhalb des Wasserwerkes ist auf die Einhaltung des Grenzwertes für Trihalogenmethane (THM) beim Verbraucher zu achten.
5	Erzeugung und Dosierung von Ozon und Ozonlösung vor Ort	Desinfektion, Oxidation	DVGW-Arbeitsblätter W 225, W 296, W 625	-	-	Bei Einsatz des Verfahrens außerhalb des Wasserwerkes ist auf die Einhaltung des Grenzwertes für Trihalogenmethane (THM) beim Verbraucher zu achten. Das Desinfektionsverfahren ist nicht anwendbar für die Aufrechterhaltung einer Desinfektionskapazität im Verteilungsnetz (vgl. § 5 Absatz 5 Satz 2 TrinkwV 2001).
6	UV-Bestrahlung (240-290 nm)	Desinfektion	DVGW-Arbeitsblätter W 294-1, W 294-2, W 294-3	Anlagenspezifisch	Es sind nur UV-Desinfektionsgeräte zulässig, für die nach DVGW-Arbeitsblatt W 294-2 (A) im Rahmen einer biosimetrischen Prüfung eine Desinfektionswirksamkeit von mindestens 400 J/m ² (bezogen auf 254 nm) erfolgreich nachgewiesen wurde. Die für das jeweilige Gerät im Prüfbericht sowie im Zertifikat eines akkreditierten Branchen Zertifizierers angegebenen Betriebskennwerte (max. Durchfluss und zugehörige Mindestbestrahlungsstärke) sind im Betrieb einzuhalten.	Das Desinfektionsverfahren ist nicht anwendbar für die Aufrechterhaltung einer Desinfektionskapazität im Verteilungsnetz (vgl. § 5 Absatz 5 Satz 2 TrinkwV 2001).

Oktober 2015

29

Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren
gemäß § 11 Trinkwasserverordnung

Legende:

- 5) Bei Einsatz der Verfahren für die Desinfektion von Oberflächenwasser oder von durch Oberflächenwasser beeinflusstem Wasser ist auf eine weitestgehende Partikelabtrennung vor der Desinfektion zu achten. Dabei sind Trübungswerte im Ablauf der partikelabtrennenden Stufe im Bereich von 0,1 - 0,2 NTU anzustreben, wenn möglich zu unterschreiten. Auf die Mitteilung des Umweltbundesamtes: "Anforderungen an die Aufbereitung von Oberflächenwässern zu Trinkwasser im Hinblick auf die Eliminierung von Parasiten" (veröffentlicht im Bundesgesundheitsblatt 12/97) wird ausdrücklich hingewiesen.
- keine

Oktober 2015

30



Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren

gemäß § 11 Trinkwasserverordnung

Stand: Oktober 2015,
gültig ab Inkrafttreten der Dritten Verordnung zur Änderung der Trinkwasserverordnung

Teil III

Aufbereitungsstoffe, die für den Bedarf der Bundeswehr im Auftrag des Bundesministeriums der Verteidigung, für den zivilen Bedarf in einem Verteidigungsfall im Auftrag des Bundesministeriums des Innern sowie in Katastrophenfällen oder bei Großschadensereignissen bei ernsthafter Gefährdung der Wasserversorgung mit Zustimmung der für den Katastrophenschutz zuständigen Behörden eingesetzt werden

Oktober 2015

31



Teil III: Aufbereitungsstoffe, die als Desinfektions- und Oxidationsmittel eingesetzt werden; Stand Oktober 2015							
Lfd. Nr.	Stoffname	CAS-Nummer	EINECS-Nummer	Verwendungszweck	Reinheitsanforderungen	Zulässige Zugabe	Bemerkungen
1	Calciumhypochlorit	7778-54-3	231-908-7	Desinfektion, Oxidation	DIN EN 900	≤ 260 mg/L freies Chlor ⁷⁾	Bei besonderen Gefahrenlagen kann die zuständige Gesundheitsbehörde den Mindestgehalt an freiem Chlor nach Abschluss der Aufbereitung anordnen.
2	Natriumdichlorisocyanurat ⁶⁾	2893-78-9	207-67-7	Desinfektion	DIN EN 12931	26 mg/L freies Chlor	Die zulässige Zugabe entspricht 40 mg/L Natriumdichlorisocyanurat.
3	Natriumdichlorisocyanuratdihydrat ⁶⁾	51580-86-0	220-767-7	Desinfektion	DIN EN 12932	26 mg/L freies Chlor	Die zulässige Zugabe entspricht 46,7 mg/L Natriumdichlorisocyanuratdihydrat.
4	Natriumhypochlorit	7681-52-9	231-668-3	Desinfektion, Oxidation	DIN EN 901	≤ 260 mg/L freies Chlor ⁷⁾	Bei besonderen Gefahrenlagen kann die zuständige Gesundheitsbehörde den Mindestgehalt an freiem Chlor nach Abschluss der Aufbereitung anordnen.

Legende:

- 6) Dieser Aufbereitungsstoff darf in Tablettenform verwendet werden. Tabletten dürfen nur in den Verkehr gebracht werden, wenn auf den Packungen, Behältnissen oder sonstigen Tablettenumhüllungen in deutscher Sprache, deutlich sichtbar, leicht lesbar und unverwischbar angegeben ist:
1. die Menge des in einer Tablette enthaltenen Natriumdichlorisocyanurats oder Natriumdichlorisocyanuratdihydrats in Milligramm,
 2. die Menge des mit einer Tablette zu desinfizierenden Wassers in Liter,
 3. eine Gebrauchsanweisung, die insbesondere die Dosierung, die vor dem Genuss des Wassers abzuwartende Einwirkzeit und die Verbrauchsfrist für das desinfizierte Wasser aufführt,
 4. die Chargenbezeichnung, aus der mindestens Herstellungsmonat und -jahr hervorgehen.
- Bei Abgabe von Tabletten aus Packungen, Behältnissen oder sonstigen Umhüllungen an Verbraucher können die Angaben nach den Nummern 1 bis 3 auch auf mitzugebenden Handzetteln ausreichen. Bestände an Tabletten, die vor Inkrafttreten der Ersten Verordnung zur Änderung der Trinkwasserverordnung (1. November 2011) eingelagert waren, entsprechen den Anforderungen der Liste.
- Tablettenhilfsmittel müssen geeignet sein, die Stabilität der Tabletten zu garantieren und den Anforderungen des Arzneibuches und der Zusatzstoff-Verkehrsverordnung entsprechen.
- 7) Die Konzentration an freiem Chlor ergibt sich aus der Zugabe von Desinfektionsmittel, z.B. nach Einheits-Dosier-Plan der Bundeswehr.

Oktober 2015

32

Liste der Aufbereitungsmittel und Desinfektionsverfahren
gemäß § 11 Trinkwasserverordnung



Berlin, den 07.12.2015

Umweltbundesamt
Im Auftrag

Dr. Hartmut Bartel

Oktober 2015

33

Schwimmbad Test 5 in 1

de

Inhalt:

1 Aluminiumdose mit 50 Teststäbchen

Gefahrenhinweise:

Dieser Test enthält keine kennzeichnungspflichtigen Gefahrstoffe.

Allgemeine Hinweise:

Stets nur notwendige Anzahl Teststäbchen entnehmen. Dose nach Entnahme sofort wieder verschließen. Testfelder nicht berühren.

Zusatzhinweise:

1. Beträgt die Alkalinität kleiner 80 ppm, so können zu niedrige pH-Werte erhalten werden.
2. Färbt sich das Testfeld für die Alkalinität blau, so liegen Werte größer 240 ppm vor.
3. Die Einteilung und Beurteilung der Werte für Gesamt- und freies Chlor, Gesamthärte, Alkalinität und pH auf der Farbskala, erfolgte nach Richt- bzw. Grenzwerten für die USA.

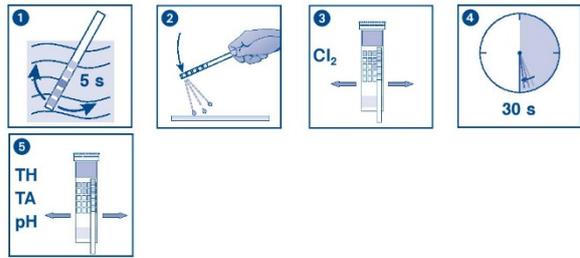
Gebrauchsanweisung:

1. Teststäbchen mit allen Testfeldern in das Schwimmbadwasser eintauchen und 5 s hin- und herschwenken.
2. Flüssigkeitsüberschuss abschütteln.
3. Testfelder für **Gesamt- und freies Chlor sofort** mit der Farbskala vergleichen.
4. 30 s warten.
5. Testfelder für **Gesamthärte, Alkalinität und pH** mit der Farbskala vergleichen.

Lagerbedingungen:

Teststäbchen vor Sonnenlicht und Feuchtigkeit schützen. Dose kühl und trocken aufbewahren (Lagertemperatur nicht über +30 °C). Bei sachgemäßer Lagerung sind die Teststäbchen bis zum aufgedruckten Verfallsdatum haltbar.

MACHEREY-NAGEL GmbH & Co. KG · Neumann-Neander-Str. 6-8 · 52355 Düren · Deutschland
Tel.: +49 24 21 969-0 · Fax: +49 24 21 969-199 · info@mn-net.com · www.mn-net.com
Schweiz: MACHEREY-NAGEL AG · Hirsackerstr. 7 · 4702 Oensingen · Schweiz
Tel.: 062 388 55 00 · Fax: 062 388 55 05 · sales-ch@mn-net.com



REF	Artikelnummer / Item number / Référéncie produit / Referencia / Artikelnummer / Numero di catalogo / Numer artykułu	LOT	Chargencode / Batch identification / Número de lot / Código de lote / Produktionsnummer / Codice del lotto / Numer partii
	Achtung / Warning! / Attention! / ¡Atención! / Let op! / Attenzione! / Uwaga!		Verwendbar bis / Use by / À utiliser avant / Fecha de caducidad / Te gebruiken tot / Utilizzare entro (anno / mese) / Przydatność do użycia
	Temperaturbegrenzung / Permitted storage temperature range / Limites de température / Limites de temperatura / Temperaturbegrenzung / Limite de temperatura / Ograniczenie temperatury		Trocken aufbewahren / Store in a dry place / Conserver au sec / Mantener seco / Op een droge plaats bewaren / Mantenerse asciutto / Przechowywać w suchym miejscu
	Gebrauchsanweisung beachten / Please read instructions for use! / Respecter les instructions d'utilisation / Obsérvense las instrucciones de uso. / Lees de bijsluiter / Consultare le istru- zioni per l'uso / Przestrzegać instrukcję użycia		Packung geschlossen halten / Keep container closed / Refermer la boîte / Mantenga el envase cerrado / Verpak- king gesloten houden / Conservare la confezione chiusa / Przechowywać pojemnik szczelnie zamknięty
	Ausreichend für <n> Prüfungen / Contains sufficient for <n> tests / Contenu suffisant pour <n> tests / Contenido suficiente para <n> tests / Voldoende voor <n> tests / Contenuto sufficiente per <n> test / Wystarczająco dla kontroli <n>		

Rev 2013-08 A035543/907 59/0831

NIEUWE · NEW

LCK 410

Chloor vrij / Chlorine free
0.05–2.0 mg/L Cl₂ (F):
DR 1900 / DR 2800 / DR 3800 /
DR 3900 / DR 5000 / DR 6000

Datatablel · Data table

LPZW 06/1990

Cl₂ · F1 = 0 · F2 = 3.36 · K = 0
O₃ · F1 = 0 · F2 = 2.18 · K = 0
ClO₂ · F1 = 0 · F2 = 3.36 · K = 0

CADAS 30/30S/50/50S 06/1990

Cl₂ · A: 510 nm · Pro.: 8 · F1 = -2.942 · F2 = 2.942 · K = 0
O₃ · A: 510 nm · Pro.: 8 · F1 = -1.907 · F2 = 1.907 · K = 0
ClO₂ · A: 510 nm · Pro.: 8 · F1 = -5.588 · F2 = 5.588 · K = 0

ISIS 6000/9000 06/2001

Cl₂ · A: 545 nm · Pro.: 8 · F1 = -3.042 · F2 = 3.041 · K = 0
O₃ · A: 545 nm · Pro.: 8 · F1 = -1.970 · F2 = 1.971 · K = 0
ClO₂ · A: 545 nm · Pro.: 8 · F1 = -5.773 · F2 = 5.773 · K = 0

CADAS 100/LPG 158 06/1990

Cl₂ · A: 552 nm · F = 2.82
O₃ · A: 552 nm · F = 1.83
ClO₂ · A: 552 nm · F = 2.82

CADAS 100/LPG 210 06/1990

Cl₂ · A: 552 nm · F1 = 2.82
O₃ · A: 552 nm · F1 = 1.83
ClO₂ · A: 552 nm · F1 = 2.82

DR 3900 02/2011

Chloor vrij / Chlorine free: Cl₂ (F)
Chloor totaal / Chlorine total: Cl₂ (T)
Ozon / Ozone: O₃
Chloordioxide / Chlorine dioxide: ClO₂

NL LCK 310/343
Chloor vrij en totaal / ozon / chloordioxide

Let a.u.b. op de "Uitgave datum" (zie datatablel) en lees de "Opmerking".
Veiligheidsadvies en houdbaarheidsdatum op de verpakking.

Principe
Oxidatiemiddelen reageren met diethyl-p-fenyleendiamine (DPD), waarbij een rode kleurstof ontstaat.

Toepassingsgebied
Afwalwater, drinkwater, zwembadwater

Oxidatiemiddelengsels
Oxidatiemiddelengsels als chloor/ozon of chloor/chloordioxide kunnen bepaald worden. Andere oxidatiemiddelengsels reageren met DPD niet steeds op dezelfde manier, maar ieder mengsel heeft zijn eigen, specifieke voorwaarden. Voor deze metingswijzen heeft HACH LANGE een speciaal procedé ontwikkeld, dat u gratis bij HACH LANGE Benelux kunt bestellen.

Storingen
Te hoge resultaten:
Alle oxidatiemiddelen (bijv. ozon, jood, chloordioxide, mangaanoxide, chromaat) worden eveneens geregistreerd (zie oxidatiemiddelengsels).
Resultaat te laag:
Is er sprake van een overmaat aan oxidatiemiddel (meer dan het aangegeven meetbereik), dan kan dit het resultaat binnen het meetbereik beïnvloeden. De meetresultaten zijn via een plausibiliteitsonderzoek te controleren (verdunding en/of standaard-additie).

Opheffen van storingen
Troebeling kan worden opgeheven door middel van een langzame membraanfiltratie (LCW 904).
De watermonsters mogen niet worden gepipetteerd, omdat dit tot verlies, als gevolg van gasvorming, leidt.
pH-waarde monster 3–10
Temperaturen monster/reagentia 15–25 °C
De analyse moet onmiddellijk na de monstername worden uitgevoerd.

EN LCK 310/343
Chlorine free and total / Ozone / Chlorine dioxide

Please check the "Edition Date" (see data table) and read the "Note".
Safety advice and expiry date on package.

Principe
Oxidizing agents react with diethyl-p-phenylenediamine (DPD) to form a red dye.

Range of Application
Waste water, drinking water, swimming bath water

Mixtures of Oxidizing Agents
Mixtures of oxidizing agents do not all react with DPD in the same way, but under conditions which are specific for each of them. HACH LANGE has produced an application method for these further types of evaluation which can be obtained free of charge from your HACH LANGE Agency.

Interferences
High-Bias Results:
All oxidizing agents, e.g. ozone, iodine, chlorine dioxide, manganese dioxide, chromate are also determined (see mixtures of oxidizing agents).
Low-Bias Results:
A large excess of oxidizing agents (outside the measuring ranges given above) can cause result displays within the measuring range. The measurement results must be subjected to plausibility checks (dilute and/or spike the sample).

Removal of Interferences
Turbidities can be removed by slow pressure filtration (Membrane Filtration Set LCW 904).
The water samples must not be pipetted, as this can cause gas stripping losses.
pH sample 3–10
Temperature sample/reagents 15–25 °C
The analysis must be carried out immediately after the sample has been taken.

NEU · NOUVEAU · NUOVO

LCK 410

Chlor frei / Chlore libre / Cloro libero
0.05–2.0 mg/L Cl₂ (F):
DR 1900 / DR 2800 / DR 3800 /
DR 3900 / DR 5000 / DR 6000

Datentabelle · Table des données · Tabella dati

LPZW 06/1990

Cl₂ · F1 = 0 · F2 = 3.36 · K = 0
O₃ · F1 = 0 · F2 = 2.18 · K = 0
ClO₂ · F1 = 0 · F2 = 3.36 · K = 0

CADAS 30/30S/50/50S 06/1990

Cl₂ · A: 510 nm · Pro.: 8 · F1 = -2.942 · F2 = 2.942 · K = 0
O₃ · A: 510 nm · Pro.: 8 · F1 = -1.907 · F2 = 1.907 · K = 0
ClO₂ · A: 510 nm · Pro.: 8 · F1 = -5.588 · F2 = 5.588 · K = 0

ISIS 6000/9000 06/2001

Cl₂ · A: 545 nm · Pro.: 8 · F1 = -3.042 · F2 = 3.041 · K = 0
O₃ · A: 545 nm · Pro.: 8 · F1 = -1.970 · F2 = 1.971 · K = 0
ClO₂ · A: 545 nm · Pro.: 8 · F1 = -5.773 · F2 = 5.773 · K = 0

CADAS 100/LPG 158 06/1990

Cl₂ · A: 552 nm · F = 2.82
O₃ · A: 552 nm · F = 1.83
ClO₂ · A: 552 nm · F = 2.82

CADAS 100/LPG 210 06/1990

Cl₂ · A: 552 nm · F1 = 2.82
O₃ · A: 552 nm · F1 = 1.83
ClO₂ · A: 552 nm · F1 = 2.82

DR 3900 02/2011

Chlor frei / Chlore libre / Cloro libero: Cl₂ (F)
Chlor gesamt / Chlore total / Cloro totale: Cl₂ (T)
Ozon / Ozone: O₃
Chloordioxid / Dioxyde de Chlore / Diossido di cloro: ClO₂

DE LCK 310/343
Chlor frei und gesamt / Ozon / Chloordioxid

Bitte "Ausgabedatum" (s. Datentabelle) und "Hinweis" beachten.
Sicherheitshinweise und Verfallsdatum auf der Packung.

Prinzip
Oxidationsmittel reagieren mit Diethyl-p-phenylenediamin (DPD) unter Bildung eines roten Farbstoffes.

Anwendungsbereich
Abwasser, Trinkwasser, Badewasser

Oxidationsmittelgemische
Oxidationsmittelgemische reagieren mit DPD nicht in gleicher Art und Weise, sondern unter jeweils spezifischen Bedingungen. Für diese weiteren Auswerteformen hat HACH LANGE eine Applikation ausgearbeitet, die Sie kostenlos bei HACH LANGE Düsseldorf anfordern können.

Störungen
Mehrfunde:
Alle Oxidationsmittel, z. B. Ozon, Jod, Chloordioxid, Manganoxid, Chromat werden mit erfasst (siehe Oxidationsmittelgemische).
Minderbefunde:
Ein hoher Überschuss an Oxidationsmittel (oberhalb des angegebenen Messbereiches) kann zu Ergebnisanzeigen innerhalb des Messbereiches führen.
Messergebnisse sind durch eine Plausibilitätskontrolle zu überprüfen (Verdünnung und/oder Aufstockung).

Beseitigung von Störungen
Trübungen können durch langsame Druckfiltration (Membranfiltrationssatz LCW 904) beseitigt werden.
Die Wasserproben dürfen nicht pipettiert werden, da dieses zu Ausgasungsverlusten führt.
pH-Wert Probe 3–10
Temperatur Probe 15–25 °C
Die Analyse muss unmittelbar nach Probenahme erfolgen.

FR LCK 310/343
Chlore libre et total / Ozone / Dioxyde de Chlore

Vérifier la date d'édition (voir table des données) et lire la "Remarque".
Conseils de sécurité et date de péremption sur l'emballage.

Principe
Les agents d'oxydation réagissent avec la diéthyl-p-phénylènediamine (DPD) en formant une couleur rouge.

Domaine d'application
Eaux de rejet, eaux potables, eaux de baignade

Mélanges d'agents oxydants
Les mélanges d'agents oxydants ne réagissent pas de la même façon en présence de DPD mais chaque fois selon les conditions spécifiques. La société HACH LANGE propose une application, permettant leur détermination. Demandez-la au représentant HACH LANGE de votre pays.

Perturbations
Résultats trop élevés:
Tous les agents oxydants, comme par exemple l'ozone, l'iode, le dioxyde de chlore, l'oxyde de manganèse, les chromates sont aussi déterminés (voir mélanges d'agents oxydants).
Résultats trop faibles:
Un excédent d'agents oxydants dans l'échantillon (au-dessus de la gamme de mesure indiquée) peut tout de même faire apparaître des résultats d'analyse compris dans la gamme de mesure. Les résultats des mesures sont à vérifier par un contrôle de plausibilité (dilution et/ou addition).

Solutions aux perturbations
Les turbidités sont éliminées en filtrant lentement l'échantillon sous pression (Ensemble de filtres à membrane LCW 904).
Ne pas pipetter l'échantillon d'eau pour éviter un dégazage.
pH échantillon 3–10
Température échantillon/réactifs 15–25 °C
L'analyse doit être réalisée immédiatement après la prise d'échantillon.

IT LCK 310/343
Cloro libero e totale / ozono / diossido di cloro

Si prega di verificare la "Data di Edizione" (vedi tabella dati) e di leggere la "Nota".
Avvertenze e data di scadenza sulla confezione.

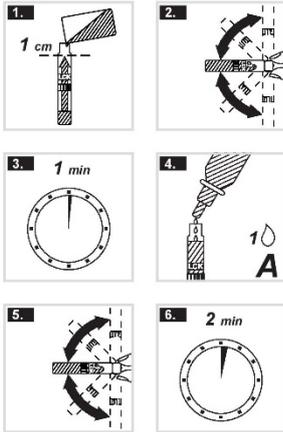
Principio
Gli ossidanti reagiscono con la dietil-p-fenilendiammina (DPD) formando una colorazione rossa.

Applicazione
Acqua potabile, acque di scarico, acqua di balneazione

Interferenze
Valori in eccesso:
Valori in eccesso sono possibili dato che vengono analizzati tutti i mezzi ossidanti quali ozono, iodio, diossido di cloro, ossido di manganese, cromati
Valori ridotti:
Valori ridotti possono essere dovuti a quantità eccessive di ossidanti (superiori al campo di misura) che danno valori entro i limiti di misura. I risultati sono da verificare con un controllo (diluizione e/o soluzione additiva).

Eliminazione interferenze
Le eventuali torbidità vanno eliminate con la lenta filtrazione a membrana (LCW 904).
I campioni non vanno pipettati causa possibile eliminazione gassosa del cloro!
pH campione 3–10
Temperatura campione/reagenti 15–25 °C
Fare l'analisi subito dopo aver prelevato il campione.

AD 310 K / Druckfarbe schwarz / 1



1. - 3.
 Freies Chlor oder Chlordioxid
 Cloro libero o diossido di cloro
 Vrij chloor of chloordioxide
 Free Chlorine or Chlorine dioxide

1. - 6.
 Gesamt-Chlor
 Cloro totale
 Chloor totaal
 Total Chlorine

4. - 1. 5. - 6.
 Ozon
 Ozono
 Ozon
 Ozono

DE

- Küvette mit Probe bis **1 cm** unterhalb der Küvettenöffnung auffüllen.
- Küvette **vorsichtig** schwenken (**nicht schütteln**) und dabei etwas drehen, um anhaftende Luftbläschen zu entfernen.
- Nach **1 min** Küvette außen gut säubern und **auswerten**.
- Sofort 1 Tropfen** Kaliumjodidlösung **A** zutropfen.
- Küvette verschließen und schwenken.
- Nach **2 min** Küvette außen gut säubern und auswerten.

FR

- Remplir la cuve avec l'échantillon jusqu'à **1 cm** sous l'ouverture de la cuve.
- Mélanger **avec précautions** en tournant légèrement la cuve pour ainsi éliminer les bulles d'air qui adhèrent aux parois de la cuve (**ne pas agiter**).
- Attendre **1 min**, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et **mesurer**.
- Ajouter au compte-gouttes **1 gouttes** de solution de iodure de potassium **A** **immédiatement**.
- Fermer la cuve et mélanger le contenu en la retournant plusieurs fois de suite.
- Attendre **2 min**, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.

IT

- Riempire con il campione fino a **1 cm** circa dall'orlo della cuvetta.
- Mescolare **attentamente (non agitare!)** ed eventualmente ruotare la cuvetta per eliminare le bollicine.
- Dopo **1 min** pulire bene la cuvetta esternamente e **leggere**.
- Subito**, aggiungere, **1 goccia** di soluzione di ioduro di potassio **A**.
- Tappare la cuvetta e mescolare.
- Dopo **2 min** pulire bene la cuvetta esternamente e leggere.

NL

- Het kuwet met het monster tot **1 cm** beneden de opening van het kuwet vullen.
- Kuwet **voorzichtig** zwenken (**niet schudden**) en daarbij een beetje draaien om luchtbelletjes te verwijderen.
- Na **1 min** het kuwet van buiten goed reinigen en **meten**.
- Onmiddellijk 1 druppels** kaliumjodide-oplossing **A** toevoegen.
- Kuwet sluiten en zwenken.
- Na **2 min** het kuwet van buiten goed reinigen en meten.

EN

- Fill the cuvette with the sample up to about **1 cm** below the cuvette opening.
- Carefully** invert the cuvette a few times (**do not shake**) and rotate it slightly to remove any bubbles sticking to the sides.
- After **1 min** thoroughly clean the outside of the cuvette and **evaluate**.
- Immediately** add **1 drop** of potassium iodide solution **A**.
- Close cuvette and invert a few times.
- After **2 min** thoroughly clean the outside of the cuvette and evaluate.

Auswertung · Evaluation · Lettura · Meting ·

	DE: Für folgende Barcode-Geräte erfolgt nach Einsetzen der Nulllösung eine automatische Auswertung:	FR: Si vous utilisez un des instruments avec codes à barres suivants, une évaluation automatique est réalisée après l'insertion de la Solution zéro :	IT: Se si utilizza uno qualsiasi dei seguenti strumenti con codice a barre, dopo aver inserito il bianco viene automaticamente visualizzato il risultato della misura:	NL: Wanneer een van de volgende barcode instrumenten worden gebruikt, wordt een automatische uitwaardering uitgevoerd zodra de nulkuwet geplaatst wordt:	EN: If any of the following barcode instruments is used, an automatic evaluation is carried out after the zero-solution is inserted:
	LASA 50, LASA 100, XION 500, CADAS 200 Barcode, DR 2800 / DR 3800 / DR 3900 / DR 5000 / DR 6000				

DE	FR	IT	NL	EN	↓	LASA aqua	LASA 1 / plus	LASA 20	CADAS 200 Basis	ISIS 6000	LASA 30	DR 1900
Filter	Filtre	Filtro	Filter	Filter	1	Δ310	540 nm	-	-	-	535 nm	-
Eprom	Eprom	Eprom	Eprom	Eprom	2	_ : 12	_ : 18	_ : 46	_ : 38	_ : 46	-	-
Mode	Mode	Mode	Mode	Mode	3	-	-	-	-	KÜVETTENTEST ¹⁾	Dr. Lange	BARCODE-PROGRAMME ⁴⁾
Test anwählen	Test choisir	Test selezionare	Test oproepen	Test select	4	Δ310	Cl ₂ Chlor ²⁾ LCK 310 O ₃ Ozon ³⁾ LCK 310/343 ClO ₂ ClO ₂ LCK 310	Cl ₂ Chlor ²⁾ LCK 310 O ₃ Ozon ³⁾ LCK 310/343 ClO ₂ ClO ₂ LCK 310	310	310	310	310
Kontrollnr.	No. de contrôle	No. di controllo	Controlegetal	Control no.	5	-	-	2	5	5	5	5
Nulllösung	Solution zéro	Bianco	Nulkuwet	Zero-solution	6	✓	✓	✓	-	-	-	-
Analysenküvette	Cuve d'analyse	Cuvetta d'analisi	Analyse-kuwet	Sample cuvette	7	✓	✓	✓	-	-	-	-
Nulllösung, blaue Taste / Null ▲	Solution zéro, touche bleue / Zéro ▲	Bianco, tasto blu / Zero ▲	Nulkuwet, blauwe toets / Nulstellen ▲	Zero-solution, blue key / Zero ▲	8	-	-	-	✓	✓	✓	✓
Analysenküvette, grüne Taste / Messen	Cuve d'analyse, touche verte / Mesurer	Cuvetta d'analisi, tasto verde / Lettura	Analyse-kuwet, groene toets / Meten	Sample cuvette, green key / Read	9	-	-	-	✓	✓	✓	✓
Messergebnis (Chlor) multiplizieren mit ... (Das errechnete Ergebnis muss innerhalb des Messbereichs liegen);	Multiplier le résultat (Chlore) par ... (Le résultat calculé doit être dans la gamme de mesure);	Moltiplicare il risultato (Cloro) per ... (Il risultato così calcolato deve rientrare nel campo di misura);	Resultaat (Chloor) vermenigvuldigen met ... (Let op de grenzen van het meetbereik);	Result (Chlorine) must be multiplied with ... (Please observe the measuring range limits);	10	O ₃ : 0.65 ClO ₂ : 1.9	-	-	-	-	-	-

FR: ¹⁾ TEST EN CUVE ²⁾ Chlore ³⁾ Ozone ⁴⁾ PROG. CODE BARRE
 IT: ¹⁾ CUVETTE-TEST ²⁾ Cloro ³⁾ Ozono ⁴⁾ PROGRAMMI COD A BARRE
 NL: ¹⁾ KUVETTENTEST ²⁾ Chloor ³⁾ Ozon ⁴⁾ BARCODE-PROGRAMMA'S
 EN: ¹⁾ CUVETTE TEST ²⁾ Chlorine ³⁾ Ozone ⁴⁾ BARCODE PROGRAMS

DE	FR	IT	NL	EN		LP1W	LP2W	CADAS 100 LPG158	CADAS 100 LPG210
Filter	Filtre	Filtro	Filter	Filter	1	535 nm	535 nm	-	-
Mode	Mode	Mode	Mode	Mode	2	-	-	TEST	TEST
Symbol	Symbole	Simbolo	Symbol	Symbol	3	-	-	Cl ₂ / ClO ₂ : 310 O ₃ : 343	Cl ₂ / ClO ₂ : 310 O ₃ : 343
Test anwählen	Test choisir	Test selezionare	Test oproepen	Test select	4	-	Cl ₂ /ClO ₂ : Cl2 LCK 310 O ₃ : Ozon ⁶ LCK 343	-	-
Faktor	Facteur	Fattore	Factor	Factor	5	Cl ₂ : 3.36 O ₃ : 2.18 ClO ₂ : 6.39	-	-	-
Kontrollnr.	No. de contrôle	No. di controllo	Controlegetal	Control no.	6	-	Cl ₂ : 3 O ₃ : 2	-	6
Nulllösung	Solution zéro	Bianco	Nulkuvet	Zero-solution	7	✓ NULL ↑	✓ NULL ↑	✓ NULL ↑	✓ NULL ↑
Analysenküvette	Cuve d'analyse	Cuvetta d'analisi	Analyse-kuvet	Sample cuvette	8	✓ ERGEBNIS ↑	✓ ERGEBNIS ↑	✓ MESS ↑	✓ MESS ↑
 Messergebnis (Chlor) multiplizieren mit ... (Das errechnete Ergebnis muss innerhalb des Messbereichs liegen).	 Multiplier le résultat (Chlore) par ... (Le résultat calculé doit être dans la gamme de mesure.).	 Moltiplicare il risultato (Cloro) per ... (Il risultato così calcolato deve rientrare nel campo di misura.).	 Resultaat (Chloor) vermeningvuldigen met ... (Let op de grenzen van het meetbereik.).	 Result (Chlorine) must be multiplied with ... (Please observe the measuring range limits.).	9	-	ClO ₂ : 1.9	ClO ₂ : 1.9	ClO ₂ : 1.9

FR: ⁶ Ozone
 IT: ⁶ Ozono
 NL: ⁶ Ozon
 EN: ⁶ Ozone

Gedruckt am: 08/06/2016 11:37:43
Gedruckt von: Wasserlabor

Ident: Klärwasser
Analyse vom: 08/06/2016 11:21:53
Datei: _2016-06-08_ gespeichert: 08/06/2016 09:31:52
Modified!
Methode: Kation C4 Trinkwasser2016 gespeichert: 06/06/2016 1
Benutzer: Wasserlabor
Analysenummer: 1426

PROBE Info 1:
Info 2:
Probengefäßnummer: 1
Injektionsvolumen: 20.0 µl
Verdünnung: 1.00
Einwaage: 1.0000

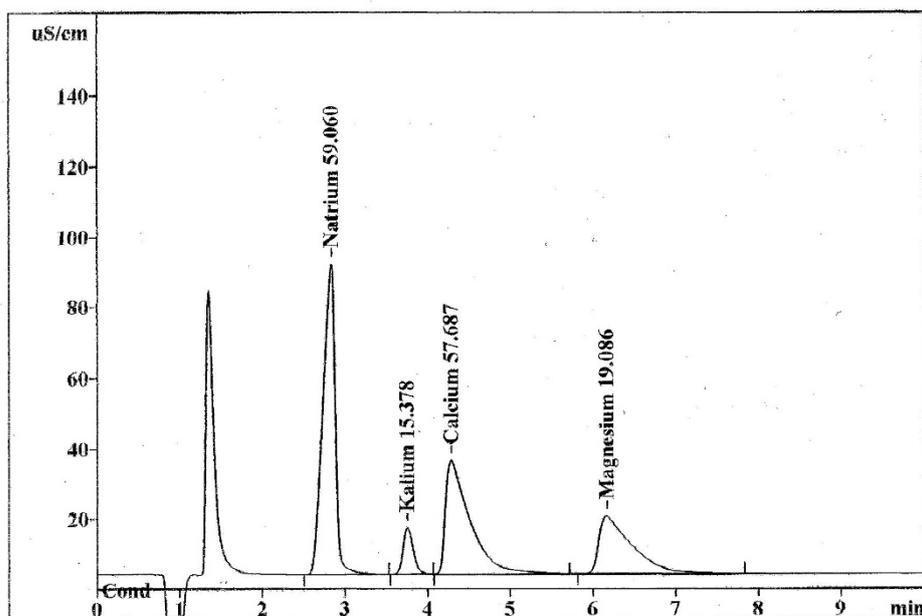
SAEULE: IC Column Metrosep C 4
Abmessung: 4.0 x 100 mm
Seriennummer: 6.1050.410
Korngröße: 5.0 µm

ELUENT A: 2 mmol/L Nitric acid / 2 mmol/L Dipicolinic acid

B:
C:

Fluss: 0.90 mL/min
Temperatur: 20.0°C
Druck: 7.1 MPa

CHROMATOGRAMM



PEAKTABELLE

Quantifizierungs-Methode: Custom

Retention min	Fläche µS/cm*sec	TP	Konz. mg/L	Name
2.84	911.182	1705	59.060	Natrium
3.76	111.130	4410	15.378	Kalium
4.29	666.703	974	57.687	Calcium
6.17	457.121	1120	19.086	Magnesium
10.01	2146.136	2052	151.210	

Gedruckt am: 08/06/2016 12:57:05
Gedruckt von: Wasserlabor

Ident: Klärwasser mit Chlor
Analyse vom: 08/06/2016 12:07:56
Datei: 2016-06-08 gespeichert: 08/06/2016 10:17:56
Modified:
Methode: Kation C4 Trinkwasser2016 gespeichert: 06/06/2016 1
Benutzer: Wasserlabor
Analysenummer: 1430

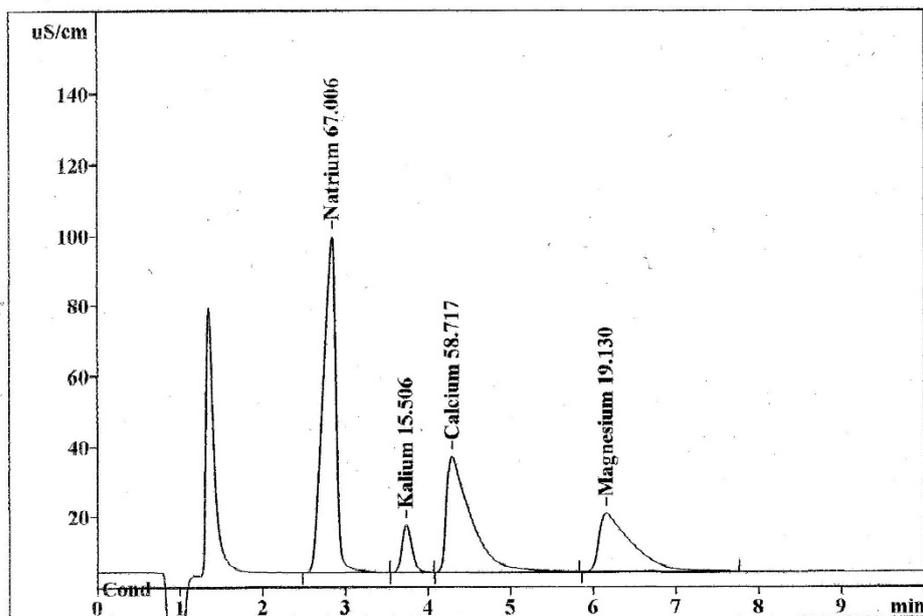
PROBE Info 1:
Info 2:
Probengefäßnummer: 1
Injektionsvolumen: 20.0 µl
Verdünnung: 1.00
Einwaage: 1.0000

SAEULE: IC Column Metrosep C 4
Abmessung: 4.0 x 100 mm
Seriennummer: 6.1050.410
Korngröße: 5.0 µm

ELUENT A: 2 mmol/L Nitric acid / 2 mmol/L Dipicolinic acid
B:
C:

Fluss: 0.90 mL/min
Temperatur: 20.0°C
Druck: 7.0 MPa

CHROMATOGRAMM



PEARTABELLE
Quantifizierungs-Methode: Custom

Retention min	Fläche µS/cm*sec	TP	Konz. mg/L	Name
2.84	1033.773	1563	67.006	Natrium
3.74	112.053	4522	15.506	Kalium
4.29	678.615	975	58.717	Calcium
6.16	458.177	1139	19.130	Magnesium
10.01	2282.618	2050	160.359	

Gedruckt am: 08/06/2016 11:42:49
Gedruckt von: Wasserlabor

Ident: Moselwasser
Analyse vom: 08/06/2016 11:32:37
Datei: _2016-06-08_

gespeichert: 08/06/2016 09:42:37

Methode: Kation C4 Trinkwasser2016
Benutzer: Wasserlabor
Analysenummer: 1427

gespeichert: 06/06/2016 11:32:37

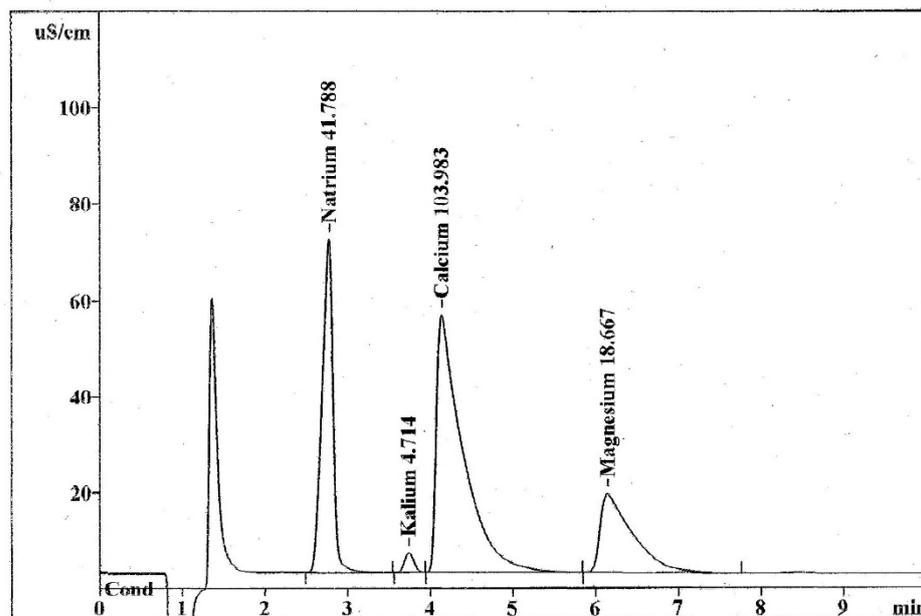
PROBE Info 1:
Info 2:
Probengefäßnummer: 1
Injektionsvolumen: 20.0 µl
Verdünnung: 1.00
Einwaage: 1.0000

SAEULE: IC Column Metrosep C 4
Abmessung: 4.0 x 100 mm
Seriennummer: 6.1050.410
Korngröße: 5.0 µm

ELUENT A: 2 mmol/L Nitric acid / 2 mmol/L Dipicolinic acid
B:
C:

Fluss: 0.90 mL/min
Temperatur: 20.0°C
Druck: 7.1 MPa

CHROMATOGRAMM



PEAKTABELLE

Quantifizierungs-Methode: Custom

Retention min	Fläche uS/cm*sec	TP	Konz. mg/L	Name
2.78	644.702	2041	41.788	Natrium
3.74	34.068	4787	4.714	Kalium
4.14	1201.768	777	103.983	Calcium
6.15	447.079	1166	18.667	Magnesium
10.01	2327.618	2193	169.152	

Gedruckt am: 08/06/2016 13:16:48
Gedruckt von: Wasserlabor

Ident: Moselwasser mit Chlor
Analyse vom: 08/06/2016 13:00:01
Datei: 2016-06-08

gespeichert: 08/06/2016 11:10:01

Methode: Kation C4 Trinkwasser2016
Benutzer: Wasserlabor
Analysennummer: 1432

gespeichert: 06/06/2016 11:10:01

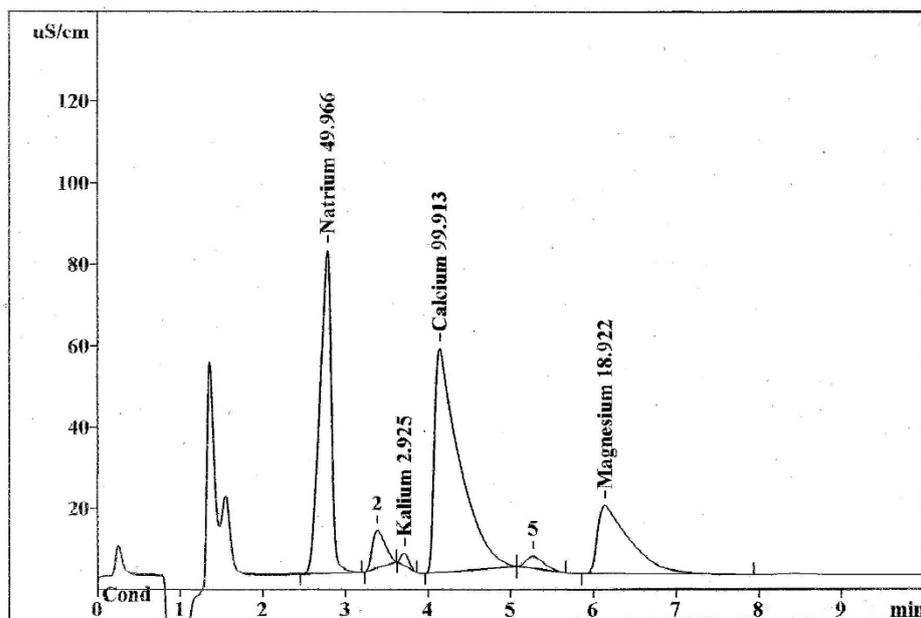
PROBE Info 1:
Info 2:
Probengefäßnummer: 1
Injektionsvolumen: 20.0 µl
Verdünnung: 1.00
Einwaage: 1.0000

SAEULE: IC Column Metrosep C 4
Abmessung: 4.0 x 100 mm
Seriennummer: 6.1050.410
Korngrösse: 5.0 µm

ELUENT A: 2 mmol/L Nitric acid / 2 mmol/L Dipicolinic acid
B:
C:

Fluss: 0.90 mL/min
Temperatur: 20.0 °C
Druck: 6.9 MPa

CHROMATOGRAMM



PEAKTABELLE

Quantifizierungs-Methode: Custom

Retention min	Fläche uS/cm*sec	TP	Konz. mg/L	Name
2.79	770.880	1865	49.966	Natrium
3.39	98.652	2212	0.000	
3.72	21.137	6956	2.925	Kalium
4.14	1154.728	884	99.913	Calcium
5.28	43.892	2780	0.000	
6.14	453.198	1157	18.922	Magnesium

Gedruckt am: 08/06/2016 11:13:23
Gedruckt von: Wasserlabor

Ident: Brunnenwasser
Analyse vom: 08/06/2016 10:57:16
Datei: _2016-06-08_
Modified!
Methode: Kation C4 Trinkwasser2016
Benutzer: Wasserlabor
Analysennummer: 1424

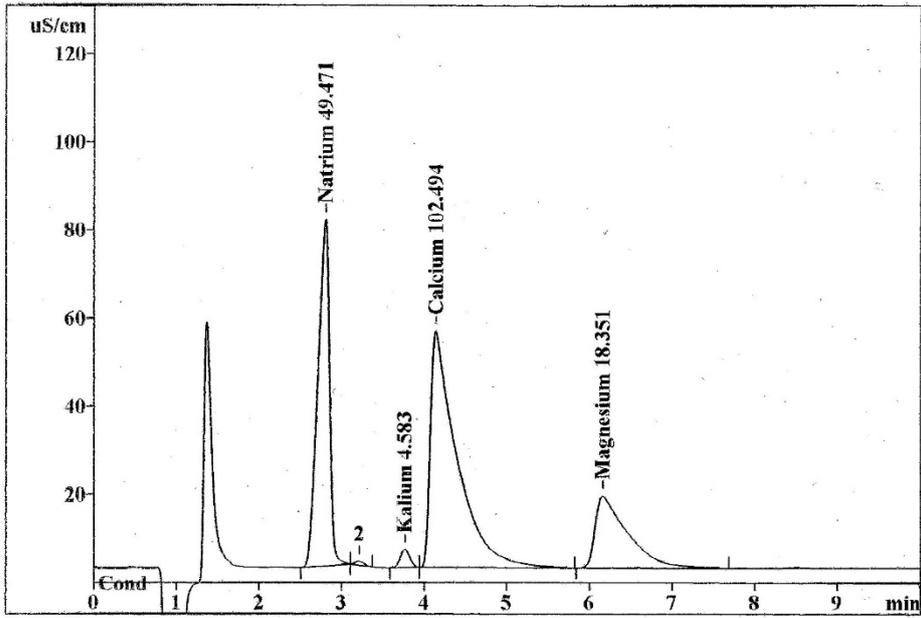
gespeichert: 08/06/2016 09:07:15
gespeichert: 06/06/2016 11:00:00

PROBE Info 1:
Info 2:
Probengefäßnummer: 1
Injektionsvolumen: 20.0 µl
Verdünnung: 1.00
Einwaage: 1.0000

SAEULE: IC Column Metrosep C 4
Abmessung: 4.0 x 100 mm
Seriennummer: 6.1050.410
Korngröße: 5.0 µm

ELUENT A: 2 mmol/L Nitric acid / 2 mmol/L Dipicolinic acid
B:
C:
Fluss: 0.90 mL/min
Temperatur: 20.0°C
Druck: 7.3 MPa

CHROMATOGRAMM



PEAKTABELLE
Quantifizierungs-Methode: Custom

Retention min	Fläche uS/cm*sec	TP	Konz. mg/L	Name
2.81	763.247	1894	49.471	Natrium
3.22	6.535	4084	0.000	
3.77	33.123	4888	4.583	Kalium
4.14	1184.553	789	102.494	Calcium
6.16	439.516	1176	18.351	Magnesium

Gedruckt am: 08/06/2016 12:06:47
Gedruckt von: Wasserlabor

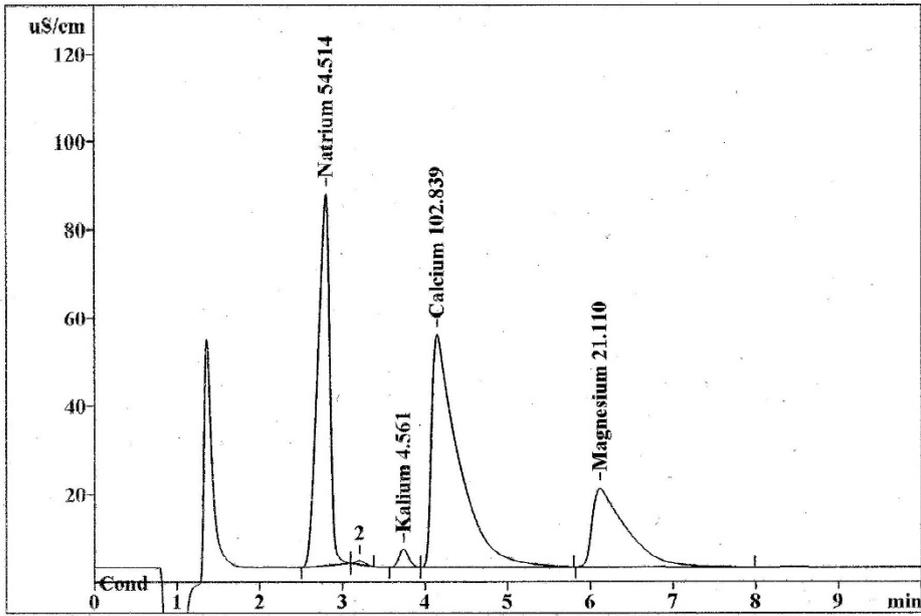
Ident: Brunnenwasser mit Chlor
Analyse vom: 08/06/2016 11:44:20
Datei: _2016-06-08_ gespeichert: 08/06/2016 09:54:19
Modified:
Methode: Kation C4 Trinkwasser2016 gespeichert: 06/06/2016 11:44:20
Benutzer: Wasserlabor
Analysenummer: 1428

PROBE Info 1:
Info 2:
Probengefäßnummer: 1
Injektionsvolumen: 20.0 µl
Verdünnung: 1.00
Einwaage: 1.0000

SAEULE: IC Column Metrosep C 4
Abmessung: 4.0 x 100 mm
Seriennummer: 6.1050.410
Korngrösse: 5.0 µm

ELUENT A: 2 mmol/L Nitric acid / 2 mmol/L Dipicolinic acid
B:
C:
Fluss: 0.90 mL/min
Temperatur: 20.0°C
Druck: 7.0 MPa

CHROMATOGRAMM



PEAKTABELLE
Quantifizierungs-Methode: Custom

Retention min	Fläche uS/cm*sec	TP	Konz. mg/L	Name
2.81	841.040	1788	54.514	Natrium
3.21	6.745	4122	0.000	
3.74	32.962	4814	4.561	Kalium
4.15	1188.550	768	102.839	Calcium
6.12	505.588	1053	21.110	Magnesium

Gedruckt am: 08/06/2016 11:20:57
Gedruckt von: Wasserlabor

Ident: Quellwasser
Analyse vom: 08/06/2016 11:08:06
Datei: _2016-06-08_

gespeichert: 08/06/2016 09:18:05

Methode: Kation C4 Trinkwasser2016
Benutzer: Wasserlabor
Analysenummer: 1425

gespeichert: 06/06/2016 1

PROBE Info 1:
Info 2:
Probengefäßnummer: 1
Injektionsvolumen: 20.0 µl
Verdünnung: 1.00
Einwaage: 1.0000

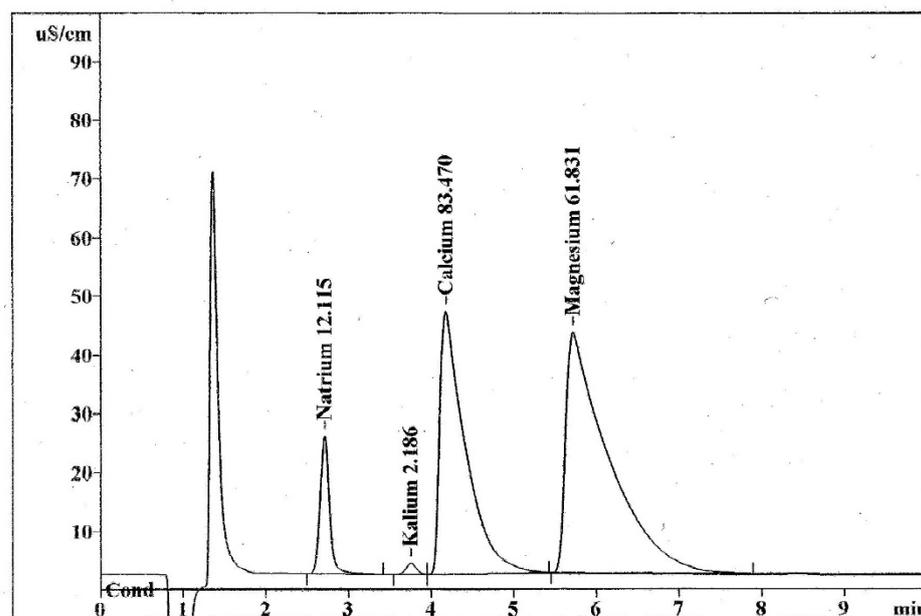
SAEULE: IC Column Metrosep C 4
Abmessung: 4.0 x 100 mm
Seriennummer: 6.1050.410
Korngrösse: 5.0 µm

ELUENT A: 2 mmol/L Nitric acid / 2 mmol/L Dipicolinic acid

B:
C:

Fluss: 0.90 mL/min
Temperatur: 20.0°C
Druck: 7.2 MPa

CHROMATOGRAMM



PEAKTABELLE

Quantifizierungs-Methode: Custom

Retention min	Fläche uS/cm*sec	TP	Konz. mg/L	Name
2.72	186.918	2631	12.115	Natrium
3.76	15.797	4462	2.186	Kalium
4.18	964.693	847	83.470	Calcium
5.72	1480.890	566	61.831	Magnesium
10.01	2648.299	2126	159.603	

***Bemerkung:** Mit „Quellwasser“ ist Oberflächenwasser gemeint.

Gedruckt am: 08/06/2016 12:05:49
Gedruckt von: Wasserlabor

Ident: Quellwasser mit Chlor
Analyse vom: 08/06/2016 11:55:19
Datei: _2016-06-08_

gespeichert: 08/06/2016 10:05:18

Methode: Kation C4 Trinkwasser2016
Benutzer: Wasserlabor
Analysennummer: 1429

gespeichert: 06/06/2016 1

PROBE Info 1:
Info 2:
Probengefäßnummer: 1
Injektionsvolumen: 20.0 µl
Verdünnung: 1.00
Einwaage: 1.0000

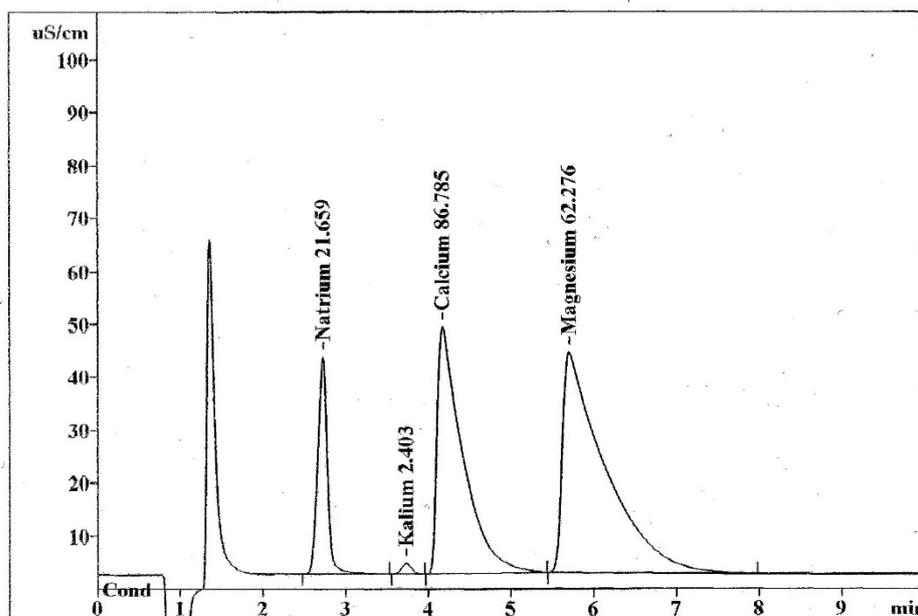
SAEULE: IC Column Metrosep C 4
Abmessung: 4.0 x 100 mm
Seriennummer: 6.1050.410
Korngrösse: 5.0 µm

ELUENT A: 2 mmol/L Nitric acid / 2 mmol/L Dипicolinic acid

B:
C:

Fluss: 0.90 mL/min
Temperatur: 20.0°C
Druck: 7.0 MPa

CHROMATOGRAMM



PEAKTABELLE

Quantifizierungs-Methode: Custom

Retention min	Fläche µS/cm*sec	TP	Konz. mg/L	Name
2.73	334.161	2544	21.659	Natrium
3.74	17.368	4278	2.403	Kalium
4.18	1003.001	852	86.785	Calcium
5.71	1491.540	574	62.276	Magnesium
10.01	2846.070	2062	173.123	

***Bemerkung:** Mit „Quellwasser“ ist Oberflächenwasser gemeint.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich gemäß § 10 Abs. 6 der Prüfungsordnung vom 04.05.2012, dass ich die Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Trier, den 20. Juni 2016

gez. Luu, Triet-Vu