

Masterarbeit

Praktische Entwicklung eines innovativen Kombinationsverfahrens für Chemikalienabbau und Sterilisation infektiöser Abwässer

erstellt für / am

**Meteka GmbH / Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft
und Entsorgungstechnik**

Vorgelegt von:

Stefanie Gesslbauer, BSc.
0435065

Betreuer/Gutachter:

Dipl.-Ing. Renato Sarc
O.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr. Karl E. Lorber

Leoben, 12.06.2012

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

AFFIDAVIT

I declare in lieu of oath, that I wrote this thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei jenen bedanken, die mich bei der Erstellung meiner Masterarbeit so tatkräftig unterstützt haben.

Ich möchte mich bei allen Beteiligten der Firma Meteka, insbesondere bei Herrn Dr. Helmut Katschnig und Herrn DI Günther Staber, für die Möglichkeit an diesem Projekt teilzuhaben und für die wunderbare Betreuung herzlich bedanken. Auch Herrn Dr. Wolfgang Staber von der Firma Proaqua danke ich für das Zurverfügungstellen der notwendigen Daten.

Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer Herrn DI Renato Sarc, der mir immer mit Rat und Tat zur Seite stand und sich mit großer Sorgfalt der Durchsicht dieser Arbeit widmete. Auch bei Herrn O.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr. Karl E. Lorber möchte ich mich für die Unterstützung während dieses Projektes und meines ganzen Studiums bedanken.

Der Wert, den ich der ununterbrochenen Unterstützung durch meine Familie sowohl in moralischer als auch in finanzieller Hinsicht beimesse, ist kaum zu beschreiben. Sie haben mich durch alle Höhen und Tiefen meiner Studienzeit begleitet und dafür bin ich meinen Eltern und Großeltern zutiefst dankbar. Einen besonderen Stellenwert nimmt hierbei mein Freund Martin ein, der mir jederzeit unerschütterlich zur Seite stand. Dafür ein herzliches Dankeschön.

Kurzfassung

Praktische Entwicklung eines innovativen Kombinationsverfahrens für Chemikalienabbau und Sterilisation infektiöser Abwässer

Die relativ großen Mengen an Abwässern aus dem medizinischen Bereich in Österreich (Millionen Liter pro Jahr) enthalten u.a. Arzneimittel, welche trotz ihrer vergleichsweise geringen Menge ($\mu\text{g/L}$ -Konzentrationen) einen nicht unbeträchtlichen Einfluss auf das Ökosystem Wasser haben. Diese Schadstoffe haben z.T. eine komplexe Struktur, zeigen z.T. Hormon-ähnliche Wirkungen, sind sehr stabil und persistent (Eigenschaft für die Einlagerung von Medikamenten) und sind ohne entsprechende Vorbehandlung in Kläranlagen sehr schwer abbaubar.

Die gegenständliche Masterarbeit beschreibt einen technischen Ansatz für die kürzlich getestete Methode der Sterilisation und Anodischer Oxidation von infektiösem Abwasser aus medizinischen, pharmazeutischen und chemischen Einrichtungen (z.B. Krankenhaus, Labor) und zeigt ebenfalls die Resultate in Hinblick auf Effizienz und Abbauraten auf. Die Untersuchung wurde unter anderem auf den Abbau von Chemikalien, Keimen und Arzneimitteln konzentriert. Unter Verwendung einer Kombination innovativer Technologien, d.h. des bekannten METEKA Sterilisationssystems mit der Anodischen Oxidation mittels Bor-dotierter Diamantelektroden, entwickelt am IAE, wurden die praktischen Tests mit Carbamazepin gespicktem Trinkwasser durchgeführt.

Des Weiteren gibt die gegenständliche Masterarbeit einen Überblick über die europäischen und nationalen Rechtsgrundlagen in Bezug auf medizinische Abfälle, die Statistiken über die Mengen an in Österreich produzierten medizinischen Abfällen, die derzeit bekannten Behandlungsmöglichkeiten für infektiöse Abwässer, eine Beschreibung der verwendeten Technologien (Sterilisation und Anodische Oxidation), das technische Design sowie die Beschreibung der Durchführung, der Ergebnisse und der Auswertung der experimentellen Versuche.

Abstract

Practical development of an innovative treatment method for chemical degradation and sterilization of infectious waste water

The relatively large amounts of waste waters generated by healthcare and medical sector (IWWs) in Austria (million liters per year) contain among others pharmaceuticals which do have an adverse influence on the ecology of water and the aquatic systems despite their relatively low concentrations ($\mu\text{g/L}$). These contaminants have a complex structure, are very stable or persistent (a property needed for warehousing of medicaments) and have low degradation rates in sewage treatment plants without proper pre-treatment. Some of them are also known as Endocrine Disruptor Compounds (EDC).

This Master Thesis presents a technical approach of the newly developed treatment method for sterilization and oxidation of infectious waste waters (IWWs) from medical, pharmaceutical and chemical establishments (e.g. healthcare facilities, hospitals, laboratories etc.) and also contains results on efficiency and degradation rates. The investigation was focused among others on degradation of chemicals, drugs and germs. The practical tests with the indicator substance Carbamazepine spiked water have been carried out using a combination of two innovative technologies, i.e. the well known METEKA sterilization system and the Anodic Oxidation with Boron doped diamond electrodes developed at IAE-Institute.

Furthermore, the present Master Thesis discusses the European and Austrian legal frameworks on medical waste management, gives statistical data on wasters produced in medical establishments in Austria, describes the current state of knowledge on treatment of IWWs in Austria, as well as used technologies (Sterilization and Anodic Oxidation) and technical design, together with results on implementation, application, evaluation and validation of practical tests.

3.2.2	Funktionsweise der Durchflussterilisation	23
3.2.3	Der MEDISTER der Firma METEKA	25
3.3	Anodische Oxidation	26
3.3.1	Funktionsweise der Diamantelektroden-Zelle	26
3.3.2	Elektrochemischer Prozess	28
3.3.3	Voraussetzungen für den Arzneimittelabbau durch Anodische Oxidation	28
3.4	Alternative Verfahren	29
3.4.1	Alternativverfahren für die Desinfektion und Sterilisation von Abwässern aus dem medizinischen Bereich	29
3.4.1.1	Desinfektion durch Filtration	30
3.4.1.2	Chemische Desinfektion	30
3.4.2	Alternative Verfahren für den Arzneimittelabbau	30
3.4.2.1	Oxidation mittels Wasserstoffperoxid	30
3.4.2.2	Oxidation mittels Ozon	31
3.5	Messung der elektrischen Leitfähigkeit	31
4	ABWASSER AUS DEM MEDIZINISCHEN BEREICH IN DER UMWELT	33
4.1	Mengen von Abwasser und Abfällen aus dem medizinischen Bereich in Österreich	33
4.2	Zusammensetzung von Abwasser aus dem medizinischen Bereich	34
4.3	Betrachtung von Arzneimitteln im Ökosystem Wasser	35
4.3.1	Arzneimittelverbrauch in Österreich	36
4.3.2	Eintragspfade in die Umwelt	37
4.3.3	Arzneimittelmengen in Abwässern	38
4.3.4	Auswirkungen von Arzneimitteln auf die Umwelt	39
4.4	Übersicht über die wichtigsten Arzneimittel im Abwasser	39
4.4.1	Analgetika	40
4.4.2	Psychopharmaka	41
4.4.3	Antibiotika:	43
4.5	Betrachtung der Leitsubstanz Carbamazepin	47
4.5.1	Chemische Struktur und Wirkungsweise	47
4.5.2	Aufkommen von Carbamazepin in Krankenanstalten und privaten Haushalten	49
4.5.3	Verteilung von Carbamazepin im Ökosystem Wasser	49
5	VERSUCHSVORBEREITUNG	51
5.1	Salzauswahl	51
5.2	Auswahl der Geräte und Parameter	51
5.3	Temperatúrauswirkungen auf die beteiligten Stoffe	52

5.3.1	Natriumchlorid	52
5.3.2	Natriumhydrogencarbonat	52
5.3.3	Carbamazepin	52
5.4	Indirektparameter	53
5.4.1	Chemischer Sauerstoffbedarf	54
5.4.2	Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff	54
5.4.3	Adsorbierbare organische Halogenverbindungen	54
6	VERSUCHSAUFBAU UND -DURCHFÜHRUNG	56
6.1	Vorversuche	56
6.1.1	Versuchsaufbau zur Bestimmung der Salzkonzentration für eine Leitfähigkeit von 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	56
6.1.2	Ermittlung der Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit von Salzlösungen	57
6.2	Versuchsanlage als Kombinationsgerät	58
6.2.1	Erste Versuchsreihe	59
6.2.2	Zweite Versuchsreihe	59
7	VERSUCHSAUSWERTUNG	61
7.1	Vorversuche	61
7.1.1	Bestimmung der Salzkonzentration für eine elektrische Leitfähigkeit von 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	61
7.1.2	Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit von Salzlösungen	63
7.2	Erste Versuchsreihe	66
7.3	Zweite Versuchsreihe	67
8	ERGEBNISSE UND DISKUSSION	70
8.1	Abbauversuche	70
8.2	Wirtschaftliche Betrachtung	71
9	ZUSAMMENFASSUNG	72
10	VERZEICHNISSE	75
10.1	Literatur	75
10.2	Abkürzungsverzeichnis	77
10.3	Tabellen	79
10.4	Abbildungen	80
ANHANG A – PRÜFBERICHTE		I
ANHANG B – BILDER DER VERSUCHE		XIII

1 Einleitung

Infektionskrankheiten gehören zu den häufigsten Todesursachen weltweit. Insbesondere die folgenden fünf Erkrankungen fordern häufig Todesopfer [1]:

- Atemwegserkrankungen;
- Durchfallserkrankungen;
- HIV;
- Tuberkulose;
- Malaria.

Vor Allem für die Kinder bis zum fünften Lebensjahr stellen Lungenentzündungen und Durchfallserkrankungen ein großes Gefahrenpotential dar. Sie waren z.B. 2008 für insgesamt 18% (Lungenentzündung) bzw. 15% (Durchfallserkrankungen) der Todesfälle in der oben erwähnten Altersgruppe verantwortlich.

Die Anzahl der Menschen weltweit, welche mit HIV infiziert sind, erreichte im Jahr 2009 schätzungsweise 33,3 Millionen Menschen – 23% höher im Vergleich zu 1999. Im Jahr 2009 kam es zu ungefähr 2,6 Millionen Neuinfektionen und 1,8 Millionen HIV/AIDS verwandten Todesfällen. Allerdings scheint der globale Gesamtzuwachs des Virus mit einer jährlichen ständig rückläufigen Anzahl an neuen HIV Infektionen stabil zu sein. [1]

Um diese und viele weitere Krankheiten erfolgreich zu bekämpfen, ist es notwendig, ihre Eigenschaften und Übertragungswege genau zu definieren. Eine der wichtigsten Maßnahmen ist es, die Keime und potentiellen Krankheitserreger bereits am Ort ihrer Entstehung zu beseitigen.

Krankheiten, die erst während der Behandlung im Krankenhaus auf den Patienten übertragen werden, nennt man Krankenhausinfektionen oder nosokomiale Infektionen. Sie finden sich, je nach Typ und Ausstattung eines Akutkrankenhauses bei 3-14% der Patienten, in Anstalten für chronisch Kranke sogar bis zu 60%. Etwa 70% der Krankenhausinfektionen entfallen auf operative Fächer. Drei wichtige Krankenhausinfektionen nach ihrer Häufigkeit sind die Harnwegsinfekte, die postoperative Wundinfekte sowie die Infektionen der tiefen Atemwege. Das Sterberisiko eines Patienten, welcher zusätzlich zu seinem Grundleiden von einer Krankenhausinfektion betroffen ist, kann als etwa doppelt so hoch eingeschätzt werden, wie das der übrigen Patientenpopulation. [2]

Für die Bekämpfung von Infektionskrankheiten sind vor allem die Übertragungswege von großer Bedeutung. Infektionskrankheiten können über die folgenden Medien übertragen werden [3]:

- Luftweg;
- Infektion durch Kontakt;
- Infektiöse Exkrememente und Blut;
- Infektion durch orale Aufnahme;

- Infektion durch Parasiten;

Die Kenntnis über die Übertragungswege der verschiedenen Infektionskrankheiten ist ein wichtiger Schritt zur Vermeidung von Ansteckungen und vor allem von nosokomialen Infektionen.

1.1 Problemstellung

Arzneimittel sind ohne entsprechende Vorbehandlung in der Kläranlage nicht effizient abbaubar und gelangen daher zu einem großen Teil unverändert in die Umwelt.

Die Firma Meteka hat es sich daher zum Ziel gesetzt, ein Abwasserbehandlungsgerät zu entwickeln, das die beiden Verfahren der thermischen Sterilisation und der Anodischen Oxidation in einem Gerät zu kombiniert.

Die Anodische Oxidation soll eine Abbaurrate von Chemikalien und Arzneimitteln von über 90% erreichen. Um dies zu gewährleisten, ist eine Auslegung und Optimierung der Anodischen Oxidation mit Hilfe mehrerer Versuche notwendig.

Für die Versuche muss eine Leitsubstanz festgelegt werden, mit welcher die Schadstoffbelastung des Wassers simuliert werden kann. Als mögliche Leitsubstanzen eignen sich hierbei diverse Arzneimittel. Weiters müssen mögliche Salze für die Aufsatzung auf eine elektrische Leitfähigkeit von ca. 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ festgelegt und getestet werden.

Da nur ein Labor in Österreich die aufwendige und schwierige Analyse für die Bestimmung von Arzneimittelkonzentrationen durchführen kann, ist es von Bedeutung mögliche Indirektparameter (Summenparameter wie CSB, TOC und AOX) zu identifizieren und auf ihre Tauglichkeit zu überprüfen. Dies könnte möglicherweise zu einer Vereinfachung der Bestimmung der Abbauraten führen.

Da während der Sterilisation eine Temperatur von rd. 140°C erreicht wird, muss außerdem die Auswirkung der Temperatur auf die Leitsubstanz sowie die Salze überprüft werden.

Im Anschluss an die Versuche muss eine Hochrechnung der ermittelten Parameter auf einen Durchfluss von 100 L/h erfolgen (für Medister 560-100), da dieses Gerät für eine großtechnische Anwendung geeignet wäre.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel des gegenständlichen Projekts ist die Überprüfung der Kombinationsmöglichkeit zweier bis dato unabhängiger Verfahren, nämlich die thermische Sterilisation und die Anodische Oxidation. Diese beiden Verfahren sollen verfahrens- und steuerungstechnisch in einem Gerät kombiniert werden. Da dies den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, beschränkt diese sich auf die Untersuchung der gesetzlichen und technischen Rahmenbedingungen sowie die Durchführung und Auswertung der Versuche für die Festlegung der wichtigsten Parameter für die Anodische Oxidation

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen sollen hierbei die internationale, europäische und nationale Gesetzgebung in Bezug auf Sammlung, Behandlung und Entsorgung von Abfällen und Abwässern aus dem medizinischen Bereich umfassen.

Weiters soll ein Überblick über die eingesetzten Verfahren in der Entsorgung von medizinischen Abwässern und Abfällen gegeben und die Verfahren der Sterilisation und Anodischen Oxidation einer näheren Betrachtung unterzogen werden. Auch eine Übersicht über mögliche alternative Verfahren soll gegeben werden.

Ein besonderes Augenmerk soll auf der Durchführung und Auswertung der Versuche liegen. Diese Versuche sollen den Grundstein für die Entwicklung eines marktfähigen vollautomatischen Durchflussterilisators mit integrierter Chemikalien- und Arzneimittelbehandlung legen. Dazu müssen Parameter für die Anodische Oxidation festgelegt und überprüft sowie die erzielbare Abbauraten für Chemikalien und Arzneimittel ermittelt werden.

2 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen im Bereich der medizinischen Abfälle und Abwässer sind vielfältig und erstrecken sich von internationalen Übereinkommen (Basler und Stockholmer Konvention) über die Gesetzgebung der europäischen Union bis hin zur nationalen Gesetzgebung. Die folgenden Kapitel stellen eine Übersicht über die wichtigsten Rechtsvorschriften in diesem Bereich dar.

2.1 Internationale Übereinkommen

Zu den internationalen Übereinkommen, welche Auswirkungen auf den Umweltbereich haben, gehören unter anderem das ADR sowie die Basler und die Stockholmer Konvention. In den folgenden Kapiteln werden diese Übereinkommen näher erläutert.

2.1.1 ADR 2011

Das ADR [4] (Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße; Abkürzung von Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route) gibt Auskunft über die Vorschriften für die Beförderung von gefährlichen Gütern im Straßenverkehr. Das ADR wurde 1957 beschlossen und trat am 29. Jänner 1963 in Kraft. Die letzte Änderung erfolgte 2011 (BGBl. III Nr. 43/2011).

Insbesondere enthält das ADR Regelungen zu Verpackung, Sicherung und Kennzeichnung gefährlicher Güter beim Transport auf der Straße. Darunter können auch Abfälle aus dem medizinischen Bereich fallen, falls diese als gefährlich einzustufen sind. Nicht gefährliche Abfälle aus dem medizinischen Bereich können im Normalfall mit nicht gefährlichen Abfällen aus Haushalten und Gewerbe (Siedlungsabfall) transportiert werden und fallen daher nicht in den Geltungsbereich des ADR.

In Anlage A des ADR sind jene Güter festgelegt, deren Beförderung verboten oder nur unter bestimmten Bedingungen gestattet ist. Hierzu werden die gefährlichen Güter in neun Klassen unterteilt (siehe Tabelle 1).

Für Abfälle aus dem medizinischen Bereich ist die Kategorie 6.2 (Ansteckungsgefährliche Stoffe) von Bedeutung.

Die Definition von ansteckungsgefährlichen Stoffen laut ADR lautet folgendermaßen [4]:

„Ansteckungsgefährliche Stoffe sind Stoffe, von denen bekannt oder anzunehmen ist, dass sie Krankheitserreger enthalten. Krankheitserreger sind Mikroorganismen (einschließlich Viren, Rickettsien, Bakterien, Parasiten, Pilze) und andere Erreger wie Prionen, die bei Menschen oder Tieren Krankheiten verursachen können.“

Bem.1: *Genetisch veränderte Mikroorganismen und Organismen, biologische Produkte, diagnostische Proben und infizierte lebende Tiere sind dieser Klasse zuzuordnen, wenn sie deren Bedingungen erfüllen.*

Bem.2: *Toxine aus Pflanzen, Tieren oder Bakterien, die keine ansteckungsgefährlichen Stoffe oder Organismen enthalten oder die nicht in solchen enthalten sind, sind Stoffe der Klasse 6.1 UN 3172 oder UN 3462.“*

Tabelle 1: Einteilung der gefährlichen Güter laut ADR [4]

Klasse	Stoffe
1	Explosivstoffe und Gegenstände, die Explosivstoffe enthalten
2	Gase
3	Entzündbare flüssige Stoffe
4.1	Entzündbare feste Stoffe
4.2	Selbstentzündliche Stoffe
4.3	Stoffe, die mit Wasser entzündliche Gase bilden
5.1	Entzündend (oxidierend) wirkende Stoffe
5.2	Organische Peroxide
6.1	Giftige Stoffe
6.2	Ansteckungsgefährliche Stoffe
7	Radioaktive Stoffe
8	Ätzende Stoffe
9	Verschiedene gefährliche Stoffe und Gegenstände

Des Weiteren wird die Klasse der ansteckungsgefährlichen Stoffe in vier Unterklassen unterteilt:

- Ansteckungsgefährliche Stoffe, gefährlich für Menschen (UN 2814)
- Ansteckungsgefährliche Stoffe, gefährlich nur für Tiere (UN 2900)
- Klinischer Abfall (UN 3291)
- Biologische Stoffe (UN 3373)

Zusätzlich hierzu werden laut ADR zwei Kategorien von ansteckungsgefährlich Stoffen unterschieden:

Kategorie A:

„Ein ansteckungsgefährlicher Stoff, der in einer solchen Form befördert wird, dass er bei einer Exposition bei sonst gesunden Menschen oder Tieren eine dauerhafte Behinderung oder eine lebensbedrohende oder tödliche Krankheit hervorrufen kann.“

Hierzu zählen beispielsweise das Ebola-Virus, das Marburg-Virus sowie die Tollwut.

Kategorie B:

„Ein ansteckungsgefährlicher Stoff, der den Kriterien für eine Aufnahme in Kategorie A nicht entspricht. Diese ansteckungsgefährlichen Stoffe haben die UN-Nummer 3373 bzw. 3291.“

Hierzu zählen beispielsweise Tuberkulose, Typhus und Cholera.

Von den Bestimmungen des ADR ausgenommen sind folgende Stoffe:

„• Stoffe, die keine infektiösen Substanzen beinhalten oder Stoffe, die mit geringer Wahrscheinlichkeit Krankheiten hervorrufen.

- Stoffe, die keine krankheitserregende Mikroorganismen beinhalten.*
- Stoffe, mit neutralisierten oder deaktivierten Krankheitserregern, die kein Gesundheitsrisiko mehr darstellen*
- Stoffe, bei denen Konzentration von Krankheitserregern sich auf einem in der Natur vorkommenden Niveau befinden und kein signifikantes Infektionsrisiko darstellen*
- Getrocknetes Blut, das durch das Aufbringen eines Blutropfens auf eine Absorbierende Fläche entsteht*
- Menschliche oder tierische Proben (Patientenproben), bei denen eine geringe Wahrscheinlichkeit besteht, dass sie Krankheitserreger enthalten und diese in einer Verpackung befördert wird, die jegliches Freiwerden verhindert“*

Für diese Arbeit von besonderer Bedeutung ist hierbei der dritte Punkt. Wie weiter unten in Kapitel 3.2 erläutert, werden die Krankheitserreger mittels Sterilisation soweit deaktiviert, dass keine Gesundheitsgefährdung mehr vorhanden ist. Aus diesem Grund unterliegen sterilisierte/desinfizierte Abfälle nicht mehr den Regelungen des ADR und können gemeinsam mit dem Siedlungsabfall gesammelt und transportiert werden. Ebenso kann sterilisiertes/desinfiziertes Abwasser aus dem medizinischen Bereich über die kommunale Kanalisation abgeführt werden.

2.1.2 Konventionen

Konventionen sind internationale Übereinkommen, deren Ratifizierung auf freiwilliger Basis erfolgt. Im Folgenden werden zwei wichtige Konventionen im Bereich des Umweltschutzes näher betrachtet.

2.1.2.1 Basler Konvention

Die Basler Konvention [5] ist ein internationales Übereinkommen, welches sich mit der grenzüberschreitenden Verbringung von gefährlichen Abfällen, sowie mit deren Deponierung

befasst. Dabei soll vor allem die Verbringung von gefährlichen Abfällen aus Industriestaaten in Entwicklungsländer unterbunden werden.

Die Grundsätze der Basler Konvention sind hierbei der Schutz von Mensch und Umwelt vor den negativen Auswirkungen der Entstehung, des Transports und der Deponierung von gefährlichen Abfällen. Die Konvention befasst sich im Zuge dessen aber auch mit normalem Hausmüll sowie mit Rückständen aus der Hausmüllverbrennung.

Die in der Basler Konvention festgelegten Ziele reichen von der Reduktion von gefährlichen Abfällen über die Unterbindung der grenzüberschreitenden Verbringung bis hin zu Regulierungsmöglichkeiten für eine erlaubte Verbringung.

Zu den zu überwachenden Abfallströmen laut Basler Konvention gehören unter anderem auch klinische Abfälle, Abfälle aus der Produktion von pharmazeutischen Erzeugnissen sowie Altmedikamente.

In der Liste der gefährlichen Eigenschaften ist unter anderem folgender Punkt zu finden:

„H6.2 Infektiöse Stoffe, Stoffe oder Abfälle, die lebensfähige Mikroorganismen oder deren Toxine enthalten, die erwiesenermaßen oder vermutlich bei Tieren oder Menschen Erkrankungen hervorrufen.“ [5]

2.1.2.2 Stockholmer Konvention

Die Stockholmer Konvention [6] ist ein internationales Übereinkommen, welches auf den Schutz von Mensch und Umwelt vor persistenten organischen Schadstoffen (auch bekannt als POPs – Persistent Organic Pollutants) abzielt.

Die Unterzeichnerstaaten verpflichten sich unter anderem dazu, Abfälle, deren Verbrennung zur Freisetzung von persistenten organischen Schadstoffen führen kann, so zu entsorgen, dass die Freisetzung dieser Schadstoffe unterbunden oder zumindest so weit als möglich minimiert wird. Zu den davon betroffenen Anlagen gehören auch Verbrennungsanlagen für Abfälle aus dem medizinischen Bereich.

2.2 Europäische Gesetzgebung

Bei der europäischen Gesetzgebung ist zwischen Verordnungen, Richtlinien und Entscheidungen zu unterscheiden. Verordnungen müssen direkt und ohne Veränderungen in der Ausübung des nationalen Rechts angewendet werden. Bei Richtlinien sind die Ziele verpflichtend, der Weg der Erreichung dieser ist den Mitgliedsstaaten jedoch freigestellt. Entscheidungen stellen einen verpflichtenden Rechtsakt für all jene dar, an die sie gerichtet sind (z.B. Einzelpersonen, Unternehmen, Mitgliedsstaaten).

2.2.1 Abfallrahmenrichtlinie

Die Abfallrahmenrichtlinie [7] bildet die Grundlage für den Umgang mit Abfällen in den Mitgliedsstaaten der EU. Die aktuelle Fassung trat am 12.12.2008 in Kraft und musste innerhalb von 2 Jahren in nationales Recht umgesetzt werden, was auch erfolgreich geschah.

Die Abfallrahmenrichtlinie dient dem Schutz von Umwelt und menschlicher Gesundheit im Hinblick auf die Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen. Ein besonderer Punkt ist hierbei die (seit 2008 neue) Abfallhierarchie (siehe Abbildung 1).

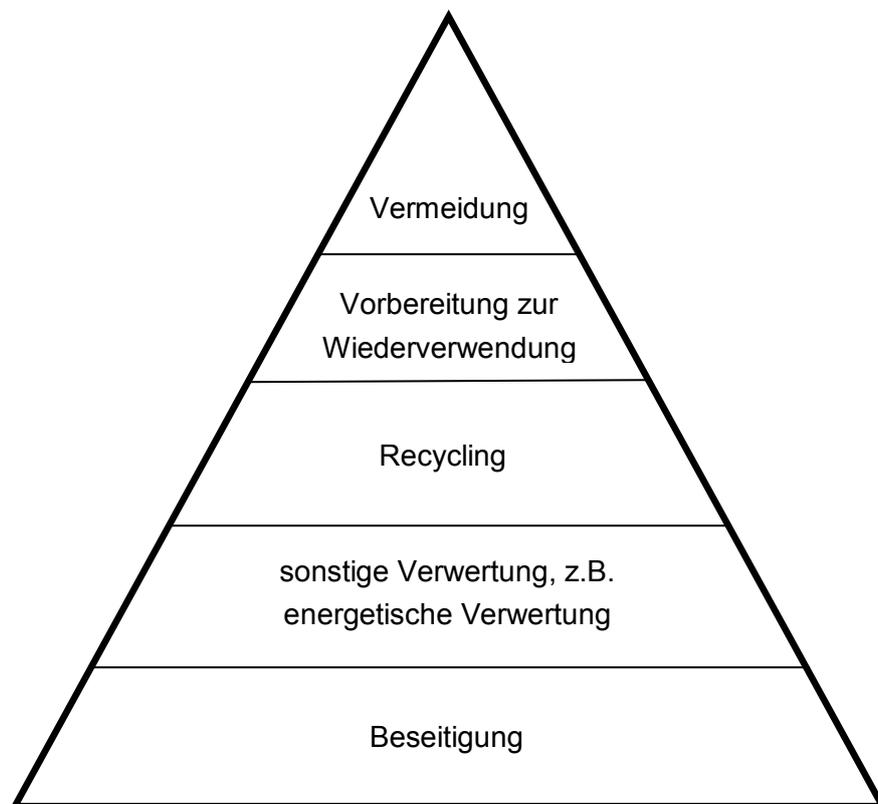


Abbildung 1: Abfallhierarchie laut Abfallrahmenrichtlinie [7, eigene Darstellung]

Weitere Meilensteine der neuen Abfallrahmenrichtlinie sind die Definition des Endes der Abfalleigenschaft, die Abgrenzung von Abfall, Produkt und Nebenprodukt sowie die Schaffung neuer Recyclingquoten.

Nicht unter den Anwendungsbereich der Abfallrahmenrichtlinie fallen unter anderem Abwässer, sofern der Umgang mit diesen durch andere gemeinschaftliche Rechtsvorschriften abgedeckt ist.

2.2.2 Verordnung über die Verbringung von Abfällen

Die Abfallverbringungsverordnung [8] regelt den Transport von Abfällen

- „a) zwischen Mitgliedstaaten innerhalb der Gemeinschaft oder mit Durchfuhr durch Drittstaaten;
- b) aus Drittstaaten in die Gemeinschaft;
- c) aus der Gemeinschaft in Drittstaaten;
- d) mit Durchfuhr durch die Gemeinschaft von und nach Drittstaaten.“

Die Verfahren und Kontrollen die bei der Abfallverbringung angewendet werden müssen, hängen von Ursprung, Bestimmung, Transportweg, Art und vorgesehener Behandlung der Abfälle ab.

Die Verbringungsverordnung legt jene Abfälle fest, für deren Verbringung ein Notifizierungsverfahren notwendig ist. Die Abfälle werden hierzu in die sogenannten Ampel-Listen unterteilt. Für die Abfälle der „Grünen“ Liste ist ein Mitführen des Begleitscheins ausreichend (keine Notifizierungspflicht) während für die Abfälle der „Gelben“ Liste ein Notifizierungsverfahren durchgeführt werden muss.

Außerdem besteht ein Ausfuhrverbot für Abfälle, die unter den Anhang V der Verordnung fallen (gefährliche Abfälle). Ausgenommen ist hierbei die Ausfuhr in Länder, die dem OECD-Beschluss über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung zur Verwertung bestimmter Abfälle unterliegen.

Zu den im Anhang V der Verordnung aufgeführten Abfällen gehören auch:

„A4010 Abfälle aus der Herstellung, Zubereitung und Verwendung von Arzneimitteln, mit Ausnahme der in Liste B aufgeführten Abfälle

A4020 Klinischer Abfall und ähnliche Abfälle, d. h. Abfälle, die bei ärztlicher Behandlung, Krankenpflege, Zahnbehandlung, tierärztlicher und ähnlicher Behandlung oder in Krankenhäusern oder sonstigen Anlagen bei der Untersuchung oder Behandlung von Patienten oder im Rahmen von Forschungsvorhaben anfallen“
[8]

Ebenfalls in den Bereich der Abfallverbringungsverordnung fallen das Verbot der Vermischung während der Verbringung, die Aufbewahrung von Unterlagen und Informationen, der Zugang der Öffentlichkeit zu Notifizierungen sowie die Regelungen bezüglich der Rücknahmenverpflichtungen.

2.2.3 Entscheidung über das europäische Abfallverzeichnis

Der europäische Abfallkatalog [9] ist eine Liste von Abfällen mit sechsstelligem Abfallcode, durch welchen die Abfälle genau zugeordnet werden können. Der Abfallkatalog ist in 20

Abfallkategorien (zweistelliger Code) und diverse Unterkategorien (vierstelliger Code) unterteilt. Die Entscheidung über das europäische Abfallverzeichnis vom 3. Mai 2000 wurde in die österreichische Abfallverzeichnisverordnung übernommen.

Abfälle aus dem medizinischen Bereich sind im Kapitel 18 zu finden (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Auszug aus dem europäischen Abfallverzeichnis (Kapitel 18) [9]

18	ABFÄLLE AUS DER HUMANMEDIZINISCHEN ODER TIERÄRZLICHEN VERSORGUNG UND FORSCHUNG (ohne Küchen- und Restaurantabfälle, die nicht aus der unmittelbaren Krankenpflege stammen)
18 01	Abfälle aus der Geburtshilfe, Diagnose, Behandlung oder Vorbeugung von Krankheiten beim Menschen
18 01 01	Spitze oder scharfe Gegenstände (außer 18 01 03)
18 01 02	Körperteile und Organe, einschließlich Blutbeuteln und Blutkonserven (außer 18 01 03)
18 01 03*	Abfälle, an deren Sammlung und Entsorgung aus infektionspräventiver Sicht besondere Anforderungen gestellt werden
18 01 04	Abfälle, an deren Sammlung und Entsorgung aus infektionspräventiver Sicht keine besonderen Anforderungen gestellt werden (z. B. Wund- und Gipsverbände, Wäsche, Einwegkleidung, Windeln)
18 01 06*	Chemikalien, die aus gefährlichen Stoffen bestehen oder solche enthalten
18 01 07	Chemikalien mit Ausnahme derjenigen, die unter 18 01 06 bis 16 02 12 fallen)
18 01 08*	Zytostatika
18 01 09	Arzneimittel mit Ausnahme derjenigen, die unter 18 01 08 fallen
18 01 10*	Amalgamabfälle aus der Zahnmedizin
18 02	Abfälle aus Forschung, Diagnose, Krankenbehandlung und Vorsorge bei Tieren
18 02 01	Spitze oder scharfe Gegenstände (außer 18 02 02)
18 02 02*	Abfälle, an deren Sammlung und Entsorgung aus infektionspräventiver Sicht besondere Anforderungen gestellt werden
18 02 03	Abfälle, an deren Sammlung und Entsorgung aus infektionspräventiver Sicht keine besonderen Anforderungen
18 02 05*	Chemikalien, die aus gefährlichen Stoffen bestehen oder solche enthalten gestellt werden
18 02 06	Chemikalien mit Ausnahme derjenigen, die unter 18 02 05 fallen
18 02 07*	Zytostatika
18 02 08	Medikamente mit Ausnahme derjenigen, die unter 18 02 07 fallen

Bei den mit einem Sternchen (*) gekennzeichneten Abfällen handelt es sich um gefährliche Abfälle.

2.2.4 Normen

Im Folgenden werden zwei für die Abfallbehandlung in Laboratorien wichtige Regelwerke erläutert.

2.2.4.1 ÖNORM EN 12740 – Biotechnik - Laboratorien für Forschung, Entwicklung und Analyse - Leitfaden für die Behandlung, Inaktivierung und Prüfung von Abfällen

Diese Norm [10] dient der Risikominimierung bei der Sammlung, Lagerung und Verpackung von Abfällen sowie bei deren Transport innerhalb des Laboratoriumsbereiches und bei deren Behandlung und Entsorgung.

Die Norm enthält Vorschriften zu Abfallmanagement, Abfallsammlung, Abfalltrennung und der Lagerung von Abfällen in Laboratorien. Besonders hervorzuheben ist hierbei die Einteilung der Laboratorien (und ihrer Abfälle) in vier Sicherheitsstufen:

- *„Sicherheitsstufe 1: Bei Abfällen aus Laboratorien der Sicherheitsstufe 1 sollten die Prinzipien der Arbeitssicherheit und Hygiene befolgt werden.*
- *„Sicherheitsstufe 2: Die Behandlung des Abfalls aus Laboratorien der Sicherheitsstufe 2 sollte darauf abzielen, den Austritt von lebensfähigen Organismen zu minimieren.*
- *„Sicherheitsstufe 3: Die Behandlung des Abfalls aus Laboratorien der Sicherheitsstufe 3 sollte dazu führen, dass der Austritt jeglicher lebensfähiger Organismen verhindert wird. Abwasser von Waschbecken und Duschen sollte gegebenenfalls vor dem Austritt aus dem Laboratorium inaktiviert werden.*
- *„Sicherheitsstufe 4: Alle Abfälle und Abwässer aus Laboratorien der Sicherheitsstufe 4 sollten vor der Entsorgung inaktiviert werden. Besondere Sicherheitsmaßnahmen sollten Fall für Fall entsprechend der Risikobewertung festgelegt werden.“ [10]*

2.2.4.2 ÖNORM EN 12128 - Biotechnik – Laboratorien für Forschung, Entwicklung und Analyse – Sicherheitsstufen mikrobiologischer Laboratorien, Gefahrenbereich, Räumlichkeiten und technische Sicherheitsanforderungen

Diese Norm [11] legt technische Mindestanforderungen für die biologische Sicherheit auf der Basis des Prinzips der Vorbeugung und Beherrschung von mikrobiologischen Gefährdungen für Menschen, Tiere, Pflanzen und die Umwelt fest, die als Vorbedingung für Errichtung und Betrieb eines mikrobiologischen Laboratoriums erfüllt werden sollten.

Laboratorien der Sicherheitsstufe 1 (S1):

Die Laboratoriumsabfälle müssen in Übereinstimmung mit EN 12740 auf sichere Weise entsorgt werden. Zur sicheren Abfallentsorgung ist ein Dampfdesinfektionsgerät in der Sicherheitsstufe 1 nicht unbedingt erforderlich.

Laboratorien der Sicherheitsstufe 2 (S2):

Die Laboratoriumsabfälle müssen in Übereinstimmung mit EN 12740 auf sichere Weise entsorgt werden. Falls ein Dampfdesinfektionsgerät vorhanden ist, sollte sich dieser im selben Gebäude wie das Laboratorium befinden. Das Verfahren der Abfallentsorgung muss dokumentarisch belegt werden.

Laboratorien der Sicherheitsstufe 3 (S3):

Die Laboratoriumsabfälle müssen in Übereinstimmung mit EN 12740 auf sichere Weise entsorgt werden. Im Laboratoriumstrakt muss ein Dampfsterilisationsgerät vorhanden sein. Es muss ein schriftlich festgelegtes und validiertes Sicherheitssystem vorhanden sein, um sicherzustellen, dass alle Materialien und Einrichtungen in einen sicheren Zustand versetzt werden, bevor sie das Laboratorium verlassen. Eine Vorrichtung zur Behandlung aller Abwässer einschließlich derer aus der Dusche muss vorhanden sein.

Laboratorien der Sicherheitsstufe 4 (S4):

Die Laboratoriumsabfälle müssen in Übereinstimmung mit EN 12740 auf sichere Weise entsorgt werden. Es ist ein Durchreichtedampfsterilisationsgerät mit sich gegenseitig verriegelnden Türen mit Zugang vom Laboratorium der Sicherheitsstufe 4 sowie Ausgang zum Außenbereich einzubauen. Es muss ein schriftlich festgelegtes und validiertes Sicherheitssystem vorhanden sein, um sicherzustellen, dass alle Materialien und Einrichtungen in einen sicheren Zustand versetzt werden, bevor sie das Laboratorium verlassen. Eine Vorrichtung zur Sterilisation aller Abwässer einschließlich derer aus der Dusche muss vorhanden sein.

Abfallmanagement, -sammlung und -behandlung [11]

Für die Sicherstellung des geregelten Ablaufes der Abfallbehandlung sollte ein schriftliches Abfallmanagementprogramm erstellt werden. Darin sollen Maßnahmen definiert werden, welche für die Verhinderung, Minimierung, Trennung, Handhabung, Lagerung, Behandlung, Transport und Entsorgung von potentiell gefährlichen Laborabfällen geeignet sind.

Vor der Beseitigung oder Entsorgung der Abfälle sollten diese inaktiviert bzw. in einen sicheren Zustand versetzt werden. Es werden hier thermische und chemische Verfahren sowie Bestrahlung, Verbrennung und Filtration als Beispiele von Abfallbehandlungsarten angeführt. Für einen Transport zu einer externen Behandlungs- oder Entsorgungsanlage sind die Abfälle in dicht verschlossenen, robusten Behältern zu befördern.

Bezüglich Sterilisation durch Dampf wird darauf verwiesen, dass im allgemeinen die Dampfsterilisation zur Behandlung von Abfall mit biologischem Gefährdungspotential aus der Sicherheitsstufe 2 und 3 das Verfahren der Wahl sein sollte und zur Behandlung des gesamten in der Sicherheitsstufe 4 anfallenden Abfalls angewendet werden sollten.

2.3 Österreichische Gesetzgebung

2.3.1 Abfallwirtschaftsgesetz

Das aktuelle österreichische Abfallwirtschaftsgesetz [12] trat 2002 in Kraft und wurde zuletzt 2011 geändert.

Abgeleitet von der europäischen Abfallrahmenrichtlinie stellt das österreichische Abfallwirtschaftsgesetz die Grundlage für den Umgang mit gefährlichen und nicht gefährlichen Abfällen in Österreich dar.

Die Ziele und Grundsätze des Abfallwirtschaftsgesetzes lauten:

„§ 1. (1) Die Abfallwirtschaft ist im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit danach auszurichten, dass

- 1. schädliche oder nachteilige Einwirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze, deren Lebensgrundlagen und deren natürliche Umwelt vermieden oder sonst das allgemeine menschliche Wohlbefinden beeinträchtigende Einwirkungen so gering wie möglich gehalten werden,*
- 2. die Emissionen von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen so gering wie möglich gehalten werden,*
- 3. Ressourcen (Rohstoffe, Wasser, Energie, Landschaft, Flächen, Deponievolumen) geschont werden,*
- 4. bei der stofflichen Verwertung die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe kein höheres Gefährdungspotential aufweisen als vergleichbare Primärrohstoffe oder Produkte aus Primärrohstoffen und*
- 5. nur solche Abfälle zurückbleiben, deren Ablagerung keine Gefährdung für nachfolgende Generationen darstellt“*

Wie bereits in der Abfallrahmenrichtlinie dargestellt, liegt auch dem Abfallwirtschaftsgesetz folgende Abfallhierarchie zugrunde:

- „1. *Abfallvermeidung*;
2. *Vorbereitung zur Wiederverwendung*;
3. *Recycling*;
4. *sonstige Verwertung, zB energetische Verwertung*;
5. *Beseitigung.*“

Das Abfallwirtschaftsgesetz gilt nicht für Abwasser, das infolge der Einleitung in Gewässer oder eine Kanalisation wasserrechtlichen Vorschriften unterliegt.

In engem Zusammenhang mit dem Abfallwirtschaftsgesetz stehen dessen Verordnungen, von denen jene, die für diese Arbeit von Relevanz sind, in den folgenden Kapiteln erläutert werden.

2.3.2 Abfallverzeichnisverordnung

Die Abfallverzeichnisverordnung [13] regelt die Umsetzung des europäischen Abfallkataloges. Sie gilt für gefährliche und nicht gefährliche Abfälle im Sinne des AWG 2002.

Folgende Punkte sind in dieser Verordnung geregelt:

- Festlegung eines Abfallverzeichnisses;
- Festlegung von gefährlichen Abfällen;
- die Festlegung eines Abfallcodes für jede Abfallart;
- Kriterien für die Zuordnung von Abfällen zu einem Abfallcode.

2.3.3 Abfallnachweisverordnung

Die Abfallnachweisverordnung [14] dient der Nachvollziehbarkeit der umweltgerechten Sammlung, Lagerung, Beförderung und Behandlung von Abfällen und legt die Form der Aufzeichnungen, Meldungen und Nachweisführungen fest.

Die allgemeine Aufzeichnungspflicht besagt:

„(2) Aufzeichnungen über Art, Menge, Herkunft und Verbleib von Abfällen sind für jedes Kalenderjahr fortlaufend (unter Angabe des Bezugszeitraumes) unter folgenden Angaben zu führen:

- 1. die Abfallart durch Angabe des Abfallcodes und der Bezeichnung, erforderlichenfalls einschließlich einer Spezifizierung der Abfallart, gemäß einer Verordnung nach § 4 Z 1 und 2 AWG 2002 (Abfallverzeichnis);*
- 2. die Abfallmenge durch Angabe der Masse des Abfalls in Kilogramm;*
- 3. die Abfallherkunft*
 - a) für übernommene Abfälle durch Angabe des Übergebers und dessen Absendeortes,*
 - b) für die im eigenen Betrieb anfallenden Abfälle durch Angabe des jeweiligen Standortes;*
- 4. den Abfallverbleib*
 - a) für übergebene Abfälle durch Angabe des Übernehmers;*
 - b) für im Auftrag des Abfallbesitzers beförderte Abfälle durch Angabe des Übernehmers;*
- 5. das jeweilige Datum der Übergabe von Abfall und das jeweilige Datum der Übernahme von Abfall.“ [14]*

Diese Verordnung regelt zudem die Meldepflichten der Abfallerzeuger sowie die Begleitscheinpflicht für den Transport gefährlicher Abfälle.

2.3.4 Wasserrechtsgesetz

Neben den allgemeinen Vorschriften des Wasserrechtsgesetzes [15] sind vor allem dessen Verordnungen von Bedeutung. Neben der Allgemeinen Abwasseremissionsverordnung (AAEV) und der Indirekteinleiterverordnung (IEV) ist für Abwässer aus dem medizinischen Bereich vor allem die „Abwasseremissionsverordnung Medizinischer Bereich“ von Bedeutung.

2.3.5 AEV Medizinischer Bereich

Diese Verordnung [16] gilt für Abwasser aus Einrichtungen, die dem

- AIDS-Gesetz;
- Ärztegesetz;
- Epidemiegesetz;
- Hebammengesetz;
- Krankenanstaltengesetz;
- Krankenpflegegesetz;
- Tuberculosegesetz;
- Tierärztegesetz;
- Dentistengesetz

unterliegen, sowie Abwasser aus Heilbädern, Kuranstalten und Sanatorien.

Bei der Einleitung von Abwässern aus dem medizinischen Bereich in Fließgewässer oder die öffentliche Kanalisation müssen die Emissionsgrenzwerte, welche in Anhang A (Anhang B für Einrichtungen zur Zahnbehandlung) festgelegt sind, eingehalten werden. In Tabelle 3 sind ausgewählte Grenzwerte aus der AEV dargestellt. Grenzwerte für Arzneimittel (z.B. Carbamazepin) sind in der derzeitigen Gesetzgebung jedoch nicht zu finden (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Ausgewählte Grenzwerte für die Abwässer aus dem medizinischen Bereich [16]

Parameter	Einleitung in Fließgewässer	Einleitung in öffentliche Kanalisation
Temperatur	30 °C	35 °C
CSB	90 mg/L	-
BSB ₅	25 mg/L	-
TOC	30 mg/L	-
Gesamtchlor	-	0,6 mg/L
Gesamter geb. Stickstoff	25 mg/L	-

Folgende Stoffe dürfen laut AEU Medizinischer Bereich nicht eingeleitet werden:

„1. nicht zur Anwendung gelangte

a) Konzentrate von Arznei-, Desinfektions-, Lösungs- oder Reinigungsmitteln,

b) Röntgenkontrastmittel,

c) Desinfektions- oder Reinigungslösungen mit einer Wirkstoffkonzentration von größer als zwei Masseprozent,

d) Konzentrate oder Reste von Laborchemikalien;

2. Aldehydlösungen aus der präparativen Konservierung und Fixierung;

3. verbrauchte unbehandelte fotografische Bäder;

4. Vollblut (zB aus der Entsorgung überlagerter Blutkonserven)“ [16]

2.3.6 Trinkwasserverordnung

An Trinkwasser werden in Österreich folgende Anforderungen gestellt [17]:

„§ 3. (1) Wasser muss geeignet sein, ohne Gefährdung der menschlichen Gesundheit getrunken oder verwendet zu werden. Das ist gegeben, wenn es

- 1. Mikroorganismen, Parasiten und Stoffe jedweder Art nicht in einer Anzahl oder Konzentration enthält, die eine potentielle Gefährdung der menschlichen Gesundheit darstellen und*
- 2. den in Anhang I Teile A und B festgelegten Mindestanforderungen entspricht. Die in Anhang I Teil C definierten Anforderungen für Indikatorparameter gelten für Überwachungszwecke. Bei Nichteinhaltung der Werte oder Spezifikationen ist den in Anhang I Teil C angeführten Verpflichtungen nachzukommen.“*

3 Technische Grundlagen ausgewählter Behandlungsverfahren für medizinische Abwässer

Dieses Kapitel gibt eine Übersicht über die möglichen Behandlungsverfahren für medizinische Abfälle und befasst sich näher mit den technischen Grundlagen und Funktionsweisen der beiden eingesetzten Verfahren Sterilisation und Anodische Oxidation. Hierbei dient die Sterilisation der Entkeimung der medizinischen Abwässer, während mittels Anodischer Oxidation der Chemikalienabbau (u.a. Arzneimitteln) gewährleistet werden soll.

3.1 Behandlungsverfahren für feste und flüssige medizinische Abfälle

Abhängig von der Menge, Art, Zusammensetzung und der vorhandenen Technologie sowie vom Gefährdungspotential werden die Abfälle direkt am Entstehungsort oder in dessen unmittelbarer Nähe (d.h. „dezentrale Behandlung“) z.B. vorbehandelt oder nach der ordnungsgemäßen Sammlung, Zwischenlagerung und dem Transport in einer zentralen Behandlungsanlage (z.B. MVA, Kläranlage usw.) beseitigt.

Der Vorteil einer zentralen Behandlung liegt u.a. in einer höheren Effizienz durch die Umsetzung größerer Mengen (Tonnen), der Nachteil sind allerdings höhere Kosten durch Sammlung und Transport.

Eine Übersicht über einige sowohl zentral als auch dezentral eingesetzte Behandlungsverfahren ist in Tabelle 4 gegeben.

Tabelle 4: Behandlungsverfahren für flüssige und feste medizinische Abfälle [18]

Flüssige Abfälle	Feste Abfälle
Sterilisation/Desinfektion	Sterilisation/Desinfektion
Ozonierung	Mikrowellenbehandlung/Autoklavierung
Chemische Oxidation	Nassoxidation
Anodische Oxidation	Bestrahlung
Behandlung in der Kläranlage	Verbrennung

3.2 Sterilisation und Desinfektion

Sterilisation und Desinfektion sind Verfahren, die die Abtötung oder Inaktivierung von Keimen zum Ziel haben. Dies ist insbesondere im Bereich der medizinischen Versorgung

von großer Bedeutung. Sowohl durch den Einsatz von Desinfektion wie auch von Sterilisation soll durch die Abtötung von Mikroorganismen eine Infektion ausgeschlossen werden. [19]

3.2.1 Begriffsdefinition

Ziel der Desinfektion ist es, die vorhandenen Mikroorganismen zu einem großen Teil abzutöten oder irreversibel zu inaktivieren und damit die Infektionskette zu unterbrechen. Hierbei ist keine vollständige Beseitigung aller Keime notwendig (insbesondere bei schwer zu inaktivierenden Bakteriensporen). Es muss allerdings eine ausreichende Keimreduktion erfolgen, um ein Infektionsrisiko auszuschließen. Die gesetzlichen Vorgaben für die Behandlung von Abfall umfassen hierbei die Wirkungsbereiche ABC sowie die Elimination von Keimen der Resistenzstufen I – IV (siehe Tabelle 6 und Tabelle 7). [19], [20]

Im Gegensatz zur Desinfektion zielt die Sterilisation auf eine vollständigere Beseitigung der vorhandenen Mikroorganismen (einschließlich ihrer Sporen sowie Viren, Prionen, Plasmiden und DNA-Fragmenten) ab. Das heißt, es sollen sämtliche lebensfähigen Formen von Mikroorganismen vollständig abgetötet oder entfernt werden. Es ist jedoch auch durch Sterilisation nicht möglich, völlige Keimfreiheit zu garantieren, da immer die Wahrscheinlichkeit besteht, dass gewisse Mikroorganismen überleben. Ein Gut wird daher als steril angesehen, wenn die Wahrscheinlichkeit eines lebenden Mikroorganismus (koloniebildende Einheit, KbE) 10^{-6} oder weniger beträgt. Die Zeitspanne, die benötigt wird, um die Anzahl der koloniebildenden Einheiten um eine Zehnerpotenz zu verringern, wird als D-Wert (Dezimalreduktionszeit) bezeichnet. Anders als bei der Desinfektion dient die Sterilisation auch der Beseitigung von resistenten Bakteriensporen. In der medizinischen Versorgung müssen vor allem invasiv eingesetzte Gegenstände (z.B. Kanülen) sterilisiert werden. Für Gegenstände, die nicht direkt mit dem Patienten in Kontakt kommen, ist eine Desinfektion ausreichend. [19], [20]

Bei den Desinfektions- und Sterilisationsverfahren ist zwischen physikalischen und chemischen Verfahren zu unterscheiden. Im Allgemeinen sind bei der Sterilisation die physikalischen Verfahren den chemischen vorzuziehen. Eine Übersicht über die wichtigsten Sterilisations- und Desinfektionsverfahren ist in Tabelle 5 zu finden.

Tabelle 5: Übersicht der Sterilisations- und Desinfektionsverfahren [20]

Sterilisation	Dampf
	Heißluft
	Ionisierende Strahlung
	Durchflussterilisation (nur für Abwasser)
	Chemische Sterilisation
Desinfektion	Chemische Desinfektion
	Desinfektion durch Filtration

Der **Wirkungsbereich** für Sterilisation und Desinfektion wird in 4 Gruppen unterteilt (siehe Tabelle 6):

Tabelle 6: Wirkungsbereiche von Sterilisations- und Desinfektionsverfahren [19]

Wirkungsbereich	Wirkung
Wirkungsbereich A	Abtötung von vegetativen Bakterien einschließlich Mykobakterien sowie von Pilzen und deren Sporen
Wirkungsbereich B	Wie A, zusätzlich Inaktivierung von Viren
Wirkungsbereich C	Wie A und B, zusätzlich Abtötung von Bakteriensporen einschließlich der Resistenzgruppe des Milzbranderreger
Wirkungsbereich D	Wie A und B, zusätzlich Abtötung der Sporen des Gasbrand- und Tetanuserregers

3.2.2 Funktionsweise der Durchflusssterilisation

Die Durchflusssterilisation dient der Abtötung von Mikroorganismen in Abwässern. Dabei wird das Medium auf eine Temperatur von ca. 140°C erhitzt und für einen definierten Zeitraum auf dieser Temperatur gehalten, wodurch der Abbau der Mikroorganismen erfolgt. [19]

Die Durchflusssterilisation arbeitet in einem Wirkungsbereich ABCD (siehe Tabelle 6) und kann Keime der Resistenzstufen I bis VI abtöten (siehe Tabelle 7). [19]

Tabelle 7: Resistenzstufen von Mikroorganismen gegen feuchte Hitze [19]

Resistenzstufe	Mikroorganismus	Inaktivierung
Resistenzstufe I	<i>Niederpasteurisieren:</i> Mycobacterium tuberculosis, Polioviren, Streptokokken	61,5°C für 30 Minuten
	<i>Hochpasteurisieren:</i> Mycobacterium tuberculosis, Polioviren,	72°C für 15 Sekunden
	<i>Langzeitpasteurisieren:</i> Mycobacterium tuberculosis, Hepatitis-A- Viren, Non-A-Non-B-Hepatitis-Viren, Epstein Barr-Viren, Polioviren, AIDS- Viren	60°C für 10 Stunden
Resistenzstufe II	Die meisten vegetativen Bakterien, alle Viren außer Hepatitis B-Viren, Hefen, Schimmelpilze	80°C für 30 Minuten
Resistenzstufe III	Alle Hepatitis-Viren Bac. anthracis/atrophaeus-Sporen (niedrig resistente Bacillen-sporen)	100°C für 10 Minuten
		100°C für 15 Minuten
Resistenzstufe IV	Bac. anthracis/atrophaeus-Sporen	105°C für 5 Minuten
Resistenzstufe V	Höherthermoresistente Bacillen-Sporen (z.B. Tetanus-, Gasbrand-, Botulinus- Sporen, Bac. stearotherophilus- Sporen)	121°C für 15 Minuten
		134°C für 3 Minuten
Resistenzstufe VI	Hochthermoresistente Bacillen-Sporen, thermophile, native Erd-sporen, Creutzfeld-Jakob-Erreger (Prionen)	132°C für 60 Minuten

3.2.3 Der MEDISTER der Firma METEKA

Die MEDISTER der Firma Meteka (siehe Abbildung 2) sind Abwassersterilisationsgeräte für den Einsatz im Bereich von infektiösen Abwässern aus Krankenanstalten und Laboren.



Abbildung 2: MEDISTER 510 (links) und MEDISTER 560-100 (rechts) der Firma Meteka [21], [22]

Der für die Versuche verwendete Sterilisator der Firma Meteka (Medister 510) [21] ist ein Untertisch-Abwasser-Sterilisationsgerät und dient zur vollautomatischen Sterilisation von kontinuierlich und diskontinuierlich anfallenden infektiösen Flüssigkeiten von bis zu 24 Liter pro Stunde. Infektiöse Flüssigkeiten, die auch Feststoffe mit einer maximalen Korngröße von 0,5 mm enthalten dürfen, werden im Batch-Verfahren für zwei Minuten auf 140 °C aufgeheizt und dabei zuverlässig sterilisiert. Nach dem Abkühlen wird die sterilisierte Flüssigkeit in das Kanalnetz abgegeben.

Die aus den Versuchen mit dem Medister 510 gewonnenen Erkenntnisse und Parameter sollen in der Weiterführung des Projektes durch Upscaling auf die Verwendung des Durchflusssterilisationsgerätes Medister 560-100 angewendet werden. Der Medister 560-100 hat eine Durchsatzleistung von 100 L/h. Für den diskontinuierlichen Anfall des Abwassers steht ein Tank zur Zwischenlagerung zur Verfügung. Außerdem erreicht das System durch den Einsatz von Wärmetauschern eine Wärmerückgewinnung von 85%. Die Durchflusssterilisation arbeitet in einem Wirkungsbereich von ABCD (siehe Tabelle 6) und kann Keime der Resistenzstufen I bis VI abtöten (siehe Tabelle 7).

3.3 Anodische Oxidation

Der Prozess der Anodischen Oxidation ist ein elektrochemischer Oxidationsprozess. Durch die hohe Überspannung der Diamantelektrode im Vergleich zu anderen Elektroden werden bei der Elektrolyse unter anderem Hydroxylradikale erzeugt. Die Anodische Oxidation ist daher dem sogenannten „Electrochemical Advanced Oxidation Process“ zuzurechnen. Das Verfahren der Anodischen Oxidation mittels Diamantelektrode ist ein relativ junges Verfahren, dessen Wirksamkeit jedoch bereits durch viele Untersuchungen und Studien belegt ist. Auch im Bereich des Arzneimittelabbaus wurden bereits erfolgreiche Versuche durchgeführt. [23], [24]

Die für die Versuche zur Kombination von Sterilisation und Anodischer Oxidation eingesetzte Elektrode ist eine bordotierte Diamantelektrode der Firma pro aqua mit einer Gesamtfläche von 42 cm².

3.3.1 Funktionsweise der Diamantelektroden-Zelle

Der für die Zelle eingesetzte Diamant ist in seiner ursprünglichen Form ein sehr guter Isolator. Durch die Dotierung mit Bor wird eine elektrische Leitfähigkeit generiert. Als Trägermaterialien für die dotierte Diamantschicht werden verschiedenen Kunststoffe eingesetzt. Dies macht die Elektrode mechanisch und chemisch stabil und widerstandsfähig. [25]

Der große Vorteil der Anodischen Oxidation ist, dass die für den Abbau benötigten Oxidationsmittel elektrochemisch direkt aus dem Medium erzeugt werden und somit keine Chemikalien zugesetzt werden müssen. Dies ist sowohl wirtschaftlich als auch ökologisch von Interesse.

In Abbildung 3 ist der Aufbau einer Diamantelektroden-Zelle dargestellt. Der benötigte Gleichstrom wird der Zelle von außen über die Kontaktierungselektroden zugeführt. Durch die an den Diamantelektroden entstehende Spannung werden an deren Oberfläche Oxidationsmittel erzeugt. Dazu gehören unter anderem Ozon (O₃), Wasserstoffperoxid (H₂O₂) und Hydroxylradikale (OH[•]). Die Hydroxylradikale haben hierbei das größte Oxidationspotential (2,8V bezogen auf die Standardwasserstoffelektrode). Die Verunreinigungen im Abwasser werden durch den Kontakt mit den entstehenden Oxidationsmitteln abgebaut. Dabei werden Doppelbindungen aufgebrochen, funktionelle Gruppen abgespalten (gecrackt) und die entstehenden Stoffe in weiterer Folge bis hin zu Kohlendioxid und Wasser abgebaut. Zusätzlich dazu wird die Bioverfügbarkeit schwer abbaubarer Substanzen erhöht. [24]

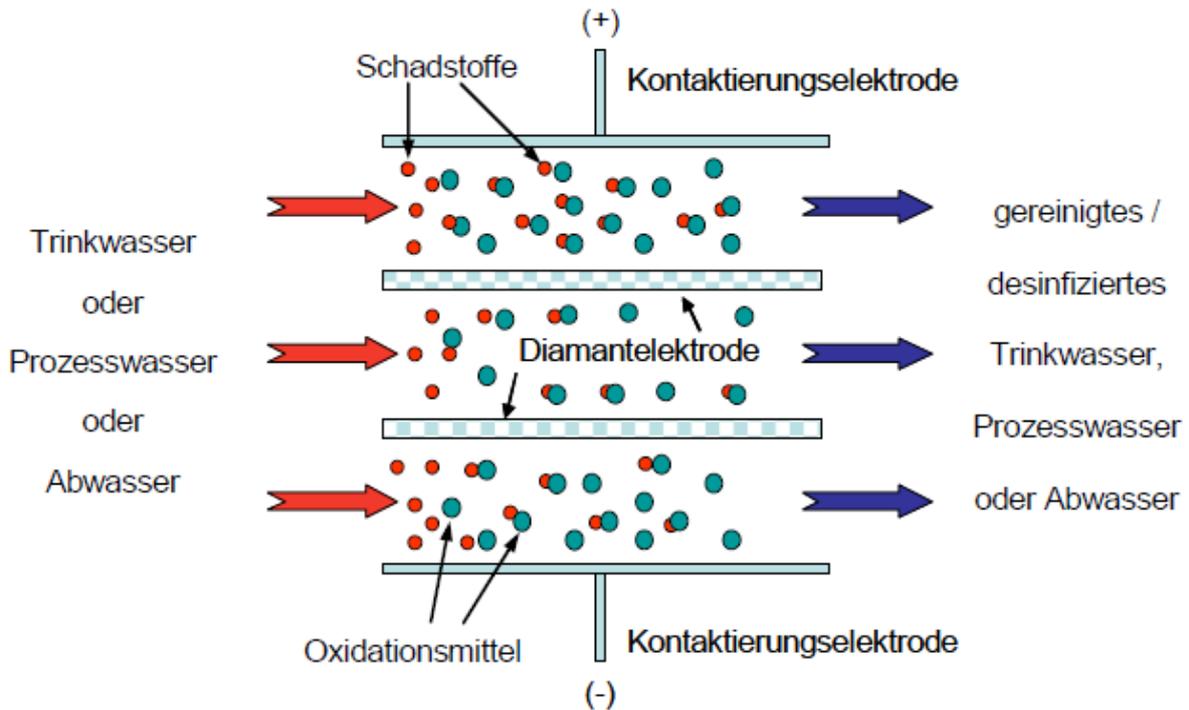


Abbildung 3: Schema der Anodischen Oxidation mittels Diamantelektrode [24]

Die für die Erzeugung von Hydroxylradikalen benötigte Überspannung ist nur durch den Einsatz von Diamantelektroden zu erreichen. Wie in Abbildung 4 ersichtlich, haben andere Elektrodenarten nicht den benötigten Arbeitsbereich für die Erzeugung der Hydroxylradikale. Zudem erreichen sie meist auch nicht die mechanische und chemische Stabilität der Diamantelektrode.

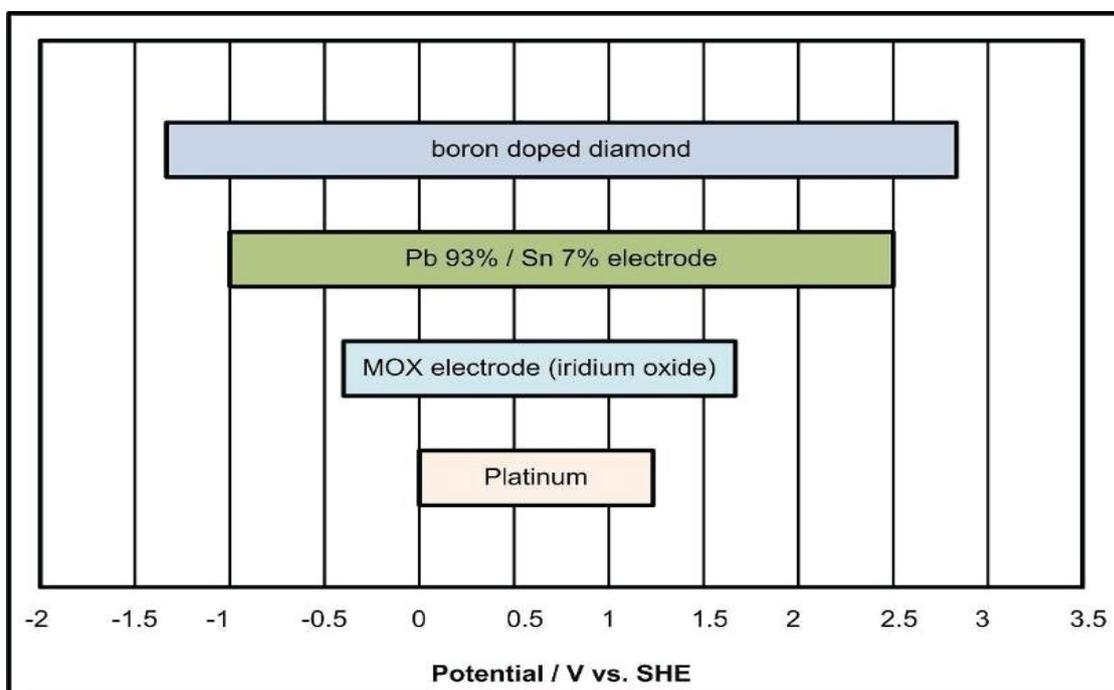


Abbildung 4: Einsatzbereich verschiedener Elektrodenarten [25]

Die Anzahl der eingebauten Diamantelektroden und damit die Gesamtfläche der Zelle hängen von den Prozessparametern ab. Je nach Verschmutzungsgrad des Abwassers, Leitfähigkeit, Maximalgröße des Reaktors und eingesetzter Spannung können unterschiedlich viele Elektroden eingebaut werden. Auch die serielle Schaltung mehrerer Zellen ist möglich.

Zusätzlich zu dem Abbau organischer Substanzen kann die Anodische Oxidation auch eine Desinfektion bewirken. Diese ist im Besonderen für den Einsatz als Trinkwasserdesinfektion von Bedeutung. Sie ist jedoch nicht geeignet um Abwässer aus dem medizinischen Bereich in dem gewünschten Ausmaß zu Sterilisieren. [23], [25]

3.3.2 Elektrochemischer Prozess

Die benötigten Hydroxylradikale entstehen an den Diamantelektroden durch Elektrolyse von Wasser bei hoher Überspannung (siehe Formel 1) [23]:



Der Abbau der organischen Substanz erfolgt anschließend durch die OH-Radikale unter Abspaltung von Wasserstoff.

Die Produktion der Oxidationsmittel hängt von der Leitfähigkeit, der Stromdichte, dem Elektrodenabstand und der aktiven Elektrodenfläche ab.

Um eine Ablagerung von Kalk aufgrund der Wasserhärte zu verhindern, ist es bei der Anodischen Oxidation empfehlenswert, eine regelmäßige Umpolung vorzunehmen. Dies kann durch den Einsatz einer automatischen Umpoleinheit geschehen. Je nach Wasserhärte des Mediums, Durchfluss und Betriebsstunden kann hierbei eine Umpolfrequenz von mehreren Minuten bis Stunden gewählt werden. Dabei ändert sich ausschließlich die Richtung des Stromes. Die Höhe von Spannung und Stromstärke (und damit auch der Leistung) ändert sich dadurch nicht. Auch eine manuelle Umpolung ist möglich, vor allem bei sehr kleinen Umpolfrequenzen jedoch nicht zu empfehlen. [25]

3.3.3 Voraussetzungen für den Arzneimittelabbau durch Anodische Oxidation

Die Funktionalität der Anodischen Oxidation ist zusätzlich zu den zellkonstanten Parametern wie Elektrodenfläche und –abstand vor allem von der eingestellten Stromdichte und der Leitfähigkeit des Mediums ab.

In Abbildung 5 ist der Zusammenhang von Spannung, Stromdichte und Leitfähigkeit für eine Testzelle ersichtlich. Es ist ersichtlich, dass eine bestimmte Leitfähigkeit des Mediums für einen wirtschaftlichen Betrieb der Zelle notwendig ist. Zudem kann durch eine höhere Leitfähigkeit die Stromaufnahme und damit der Energieverbrauch der Zelle gesenkt werden, was einen positiven Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens hat. [27]

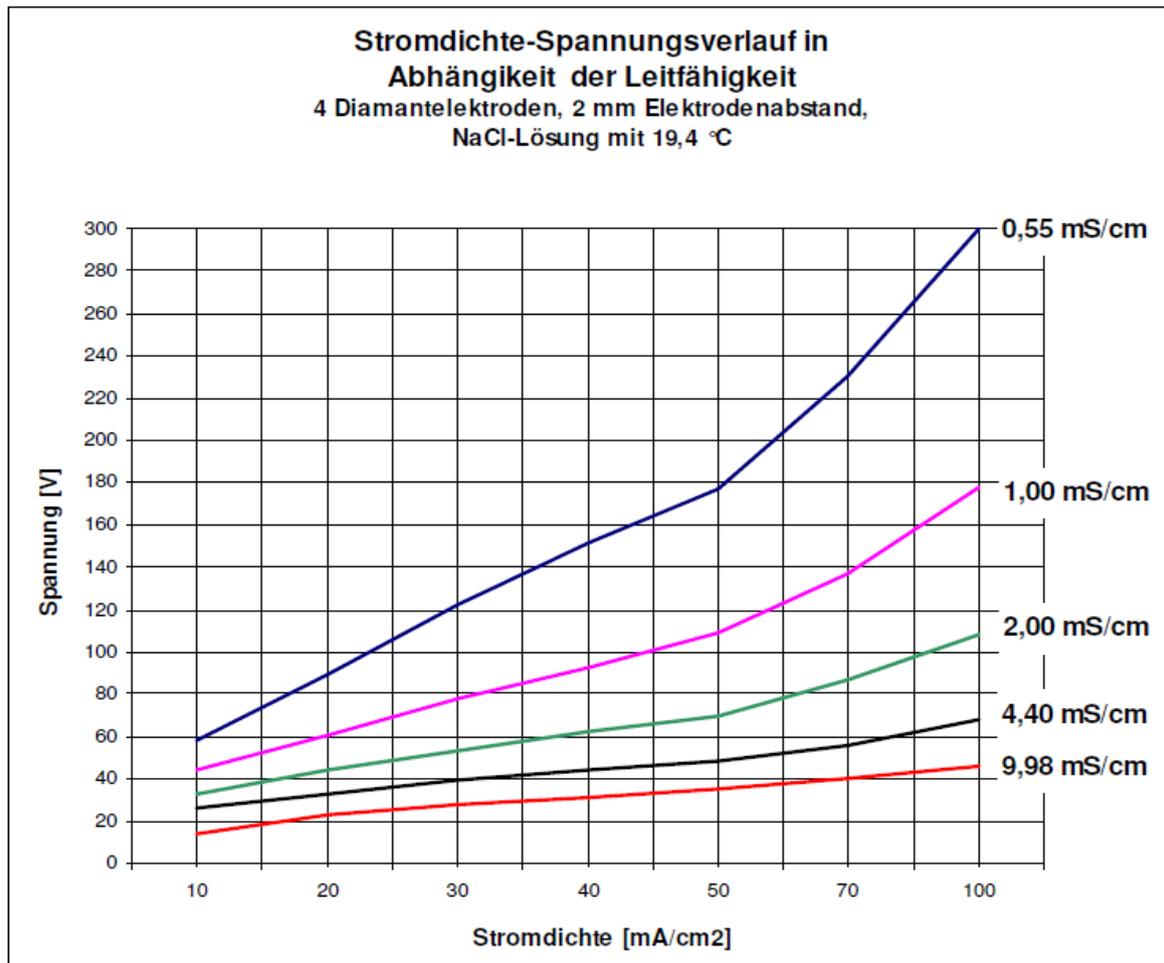


Abbildung 5: Stromdichte-Spannungsverlauf in Abhängigkeit der Leitfähigkeit [27]

Da die zu behandelnden Abwässer aus dem medizinischen Bereich häufig eine zu geringe Leitfähigkeit aufweisen, werden die Proben für die Versuche eine Leitfähigkeit von ca. 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ eingestellt. Dies erfolgt durch die Zudosierung von Soda (NaHCO_3) bzw. Natriumchlorid (NaCl). Die benötigte Menge der Salze wurde in mehreren Vorversuchen ermittelt und ist in Kapitel 7.1 zu finden.

3.4 Alternative Verfahren

Neben Sterilisation und Anodischer Oxidation gibt es noch andere Verfahren, um Abwässer aus dem medizinischen Bereich zu behandeln. Die wichtigsten davon sind in den nachfolgenden Kapiteln erläutert.

3.4.1 Alternativverfahren für die Desinfektion und Sterilisation von Abwässern aus dem medizinischen Bereich

Für die Reduktion der Mikroorganismen in den Abwässern stehen sowohl physikalische als auch chemische Methoden zur Verfügung.

Als Alternativen zur Durchflussterilisation bieten sich Filtration und chemische Desinfektion an.

3.4.1.1 Desinfektion durch Filtration

Mit der Desinfektion durch Filtration können Keimreduktionen im Bereich bis zu 7 Zehnerpotenzen erreicht werden. Dazu wird das Medium durch sehr feinporige Filtermaterialien (2 µm) geleitet. Zurückgehalten werden dabei meist nur Bakterien und Pilze. Für einen zusätzlichen Rückhalt von Viren sind spezielle Filter (z.B. Adsorptionsfilter) notwendig. Die Desinfektion durch Filtration kann jedoch in Bezug auf die Keimreduktion nicht mit der Durchflussterilisation konkurrieren. Außerdem fallen dabei zusätzliche Abfälle, wie beispielsweise die verbrauchten Filter oder Rückspülwasser, an. [3]

3.4.1.2 Chemische Desinfektion

Für eine chemische Desinfektion kommen in den meisten Fällen Chlorprodukte zum Einsatz. Aber auch Alkohole, Aldehyde, Phenole, Oxidantien, Metalle oder Säuren und Laugen sind dafür in Verwendung. Eine weitere Möglichkeit ist die Desinfektion durch die Nutzung von Ozon. Da Ozon auch einen Arzneimittelabbau bewirkt, ist es zudem auch eine Alternative für die Anodische Oxidation und wird in Kapitel 3.4.2.2 näher erläutert.

Chemisch desinfizierte Abwässer dürfen über die öffentliche Kanalisation entsorgt werden.

Die chemische Abwasserdesinfektion ist allerdings immer eine zusätzliche Belastung für die Umwelt und die kommunalen Kläranlagen. Durch die geringeren negativen Auswirkungen auf die Ökologie und die höhere Effizienz bei der Keimreduktion sind die thermischen Verfahren im Allgemeinen den chemischen vorzuziehen. [3]

3.4.2 Alternative Verfahren für den Arzneimittelabbau

Die gängigen Alternativen zur Anodischen Oxidation benötigen für den Oxidationsprozess die Zuführung von Chemikalien von außen. Die Verfahren unterscheiden sich durch die Auswahl des Oxidationsmittels.

3.4.2.1 Oxidation mittels Wasserstoffperoxid

Wasserstoffperoxid wirkt oxidierend, kann jedoch ohne Zuführung von Aktivierungsenergie keine Hydroxylradikale ausbilden. Die Bildung von Hydroxylradikalen kann hierbei durch die Zugabe von Katalysatoren oder die Bestrahlung mit UV-Licht (schwierig bei sehr trübem Abwasser) erfolgen. Durch den hohen energetischen und prozesstechnischen Aufwand ist dieses Verfahren für den Einsatz in Kombination mit der Sterilisationsanlage der Fa. Meteka nicht geeignet. [25]

3.4.2.2 Oxidation mittels Ozon

Im Gegensatz zu Wasserstoffperoxid kann Ozon ohne weitere Behandlung als Oxidationsmittel eingesetzt werden [28]. Da Ozon nicht stabil ist, muss es direkt vor Ort erzeugt werden. Die Herstellung erfolgt mittels elektrischer Entladung (Corona-Lichtbogen) aus Luftsauerstoff oder reinem Sauerstoff. Luftsauerstoff hat dabei den Vorteil, dass er immer und überall vorhanden ist. Die Erzeugung von Ozon aus Luftsauerstoff ist jedoch weit weniger effektiv als jene aus reinem Sauerstoff. Der Nachteil bei der Verwendung von reinem Sauerstoff ist jedoch der zusätzliche Aufwand durch die notwendige Beschaffung, das Auswechseln und die Entsorgung der Sauerstoffflaschen. Beide Verfahren erfordern einen sehr hohen Energieaufwand.

Das erzeugte Ozon muss nach der Erzeugung in das Abwasser eingebracht werden, um die Inhaltsstoffe zu oxidieren. Im Anschluss an die Behandlung ist die Beseitigung des hochreaktiven Restozons notwendig (Ozonvernichter). Dies kann thermisch oder katalytisch erfolgen (erhöhter Energieaufwand) sowie bei kleinen Restmengen über Aktivkohle (wird dabei verbraucht).

Durch Oxidation mittels Ozon sind nachweisbar ein CSB-Abbau sowie ein Abbau von Arzneimitteln möglich. Aufgrund des hohen Energieverbrauchs bei der Ozonherstellung und aufgrund der anfallenden Kosten für die Sauerstoffbereitstellung ist die Anodische Oxidation jedoch in den meisten Fällen die effizientere Methode. [28]

3.5 Messung der elektrischen Leitfähigkeit

Die Leitfähigkeitsmessung [29] erfolgt prinzipiell über die Messung des im Medium fließenden Stromes. Dafür wird entweder die Spannung konstant gehalten und die Veränderung des Stromes gemessen oder der Strom bleibt konstant und die Spannungsänderung stellt den Messwert dar. Für die Messung der elektrischen Leitfähigkeit gibt es grundsätzlich zwei Messprinzipien: die konduktive sowie die induktive Leitfähigkeitsmessung.

Bei der konduktiven Messmethode werden zwei oder vier Elektroden verwendet, und entweder nur der Strom (zwei Elektroden) oder Strom und Spannung (vier Elektroden) gemessen, um daraus die elektrische Leitfähigkeit zu ermitteln.

Beim induktiven Verfahren werden anstatt der Elektroden zwei Spulen verwendet, die Erreger- sowie die Empfängerspule. Das Medium fließt dabei in der Erregerpule. In dieser wird durch einen Strom ein Magnetfeld erzeugt, das im zu messenden Medium einen Strom induziert. Der Strom im Medium erzeugt wiederum ein Magnetfeld, welches in der Empfängerspule eine Spannung verursacht. Die in der Empfängerspule gemessene Spannung steht in direktem Verhältnis zu dem im Medium fließenden Strom. Daraus lässt sich die elektrische Leitfähigkeit des Mediums ermitteln.

Ein wichtiger Vorteil des induktiven Verfahrens gegenüber dem induktiven ist die Tatsache, dass die Messung berührungslos erfolgen kann (Magnetfelder können z.B. Kunststoffrohre durchdringen). Dadurch wird der Wartungsaufwand dieser Sensoren vor allem bei aggressiven Medien erheblich gesenkt.

Für das gegenständliche Projekt wurde die Möglichkeit einer Messung der elektrischen Leitfähigkeit erörtert, um damit eventuell die Zudosierung der Salzlösung für die Einstellung der benötigten Leitfähigkeit regulieren zu können und somit Salz einzusparen. Für die in dieser Arbeit beschriebenen Versuche wäre der technische und finanzielle Aufwand für eine Leitfähigkeitsmessung jedoch zu hoch gewesen. Für die von dieser Arbeit ausgehenden Folgeprojekte bietet sich die induktive Messmethode jedoch zur Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit an. [29]

4 Abwasser aus dem medizinischen Bereich in der Umwelt

Abwasser aus dem Bereich der Krankenpflege und der medizinischen Forschung enthalten eine Vielzahl von verschiedenen Stoffen. Viele davon sind in der aquatischen Umwelt unerwünscht. Im folgenden Kapitel wird die Zusammensetzung solcher Abwässer näher erläutert, insbesondere im Hinblick auf den Gehalt von Arzneimitteln.

4.1 Mengen von Abwasser und Abfällen aus dem medizinischen Bereich in Österreich

Das Abfallaufkommen der Abfälle aus dem medizinischen Bereich (ohne kommunalen Anteil) beträgt für das Jahr 2008 rund 65.000 Tonnen und für das Jahr 2009 rund 49.300 Tonnen. Der Anteil an gefährlichen Abfällen beläuft sich dabei auf etwa 5% für das Jahr 2008 und auf 4,4 % für das Jahr 2009. [30], [31]

In Tabelle 8 wird die Veränderung im Abfallaufkommen aus dem medizinischen Bereich vom Jahr 2008 auf das Jahr 2009 aufgezeigt. Für die Bezeichnung der Abfälle werden in Österreich nach wie vor die „alten“ Schlüsselnummern (SN) der ÖNORM S 2100 parallel zum Europäischen Abfallkatalog verwendet.

Tabelle 8: Abfallaufkommen im medizinischen Bereich im Vergleich von 2008 zu 2009 [30], [31]

SN	Abfallbezeichnung	2008 [t]	2009 [t]	Änderung
97101	Abfälle, die innerhalb und außerhalb des medizinischen Bereiches eine Gefahr darstellen können, z.B. mit gefährlichen Erregern behafteter Abfall gemäß ÖNORM S 2104 – gefährlich	1.449	2.149	+ 48 %
97102	desinfizierte Abfälle, außer gefährliche Abfälle	0	3.974	-
97103	Körperteile und Organabfälle	176	498	+ 182 %
97104	Abfälle, die nur innerhalb des medizinischen Bereiches eine Infektions- oder Verletzungsgefahr darstellen können, gemäß ÖNORM S 2104	61.219	41.904	- 32 %
97105	Kanülen und sonstige verletzungsgefährdende spitze oder scharfe Gegenstände, wie Lanzetten, Skalpelle u. dgl., gemäß ÖNORM S 2104	323	747	+ 131 %
Gesamt		64.988	49.272	- 24 %

Die Verringerung des Abfallaufkommens (2008:2009 = -24%) resultiert aus dem Einsatz neuer Technologien bei der Entsorgung von Nassabfällen im Krankenhausbereich, wodurch eine Gewichtsreduktion erreicht wird. Außerdem werden Abfälle vermehrt durch Desinfektion und Sterilisation behandelt, wodurch sie anschließend nicht mehr zu den gefährlichen Abfällen gezählt werden müssen. [31]

Im Bereich Abwasser kann in den steirischen Krankenanstalten (laut Umweltbericht der Steiermärkischen Krankenanstaltengesellschaft, KAGes) von einem Wasserverbrauch von ca. 935 Millionen Litern pro Jahr ausgegangen werden (Stand 2006). Dies ist gegenüber dem Jahr 1999 eine Einsparung von 30%. Im Durchschnitt bedeutet dies einen Wasserverbrauch von 328 Litern pro Tag und Spitalsbett. Es ist davon auszugehen, dass diese Durchschnittswerte als Anhaltswerte für die Abwassermengen aus dem medizinischen Bereich in Österreich gelten. [32]

Eine genauere Auflistung des Wasserverbrauchs in den steirischen Krankenanstalten (mit Vergleichswerten) ist in Abbildung 6 dargestellt:

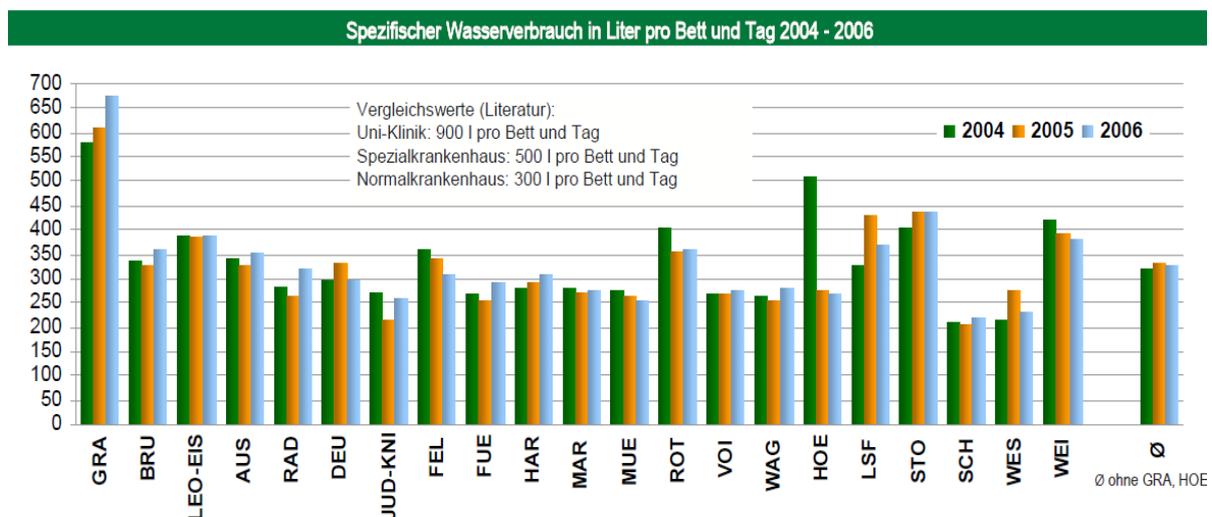


Abbildung 6: Wasserverbrauch in verschiedenen steirischen Krankenanstalten [32]

4.2 Zusammensetzung von Abwasser aus dem medizinischen Bereich

Im Allgemeinen enthält Abwasser sowohl gelöste wie auch ungelöste, organische und anorganische Substanzen. Die Mengen dieser Stoffe können durch verschiedene Summenparameter dargestellt werden. Die Wichtigsten dieser Parameter sind der chemische und der biochemische Sauerstoffbedarf.

Der **chemische Sauerstoffbedarf (CSB)** [33] gibt Auskunft über die Menge der chemisch oxidierbaren Substanzen. Er ist daher ein Parameter für den Grad der Verschmutzung eines Abwassers. Äquivalent dazu gibt der **biochemische Sauerstoffbedarf (BSB)** [33] Auskunft über die Menge an organischen Substanzen, die durch mikrobiellen Abbau in einem

bestimmten Zeitraum (meist 5 Tage) aus dem Abwasser entfernt werden können. Mit Hilfe des Verhältnisses von BSB zu CSB können zudem Aussagen über die biologische Abbaubarkeit eines Abwassers getroffen werden.

Abwässer aus Krankenanstalten und Laboren enthalten einige Stoffgruppen, die in häuslichem Abwasser nicht oder nur in geringen Mengen vorhanden sind.

Zu diesen Stoffgruppen [20], [34] zählen:

- Arzneimittel;
- Chemikalien aus der Analytik;
- Desinfektionsmittel;
- Körperflüssigkeiten;
- Krankheitserreger;
- Reinigungsmittel (größere Mengen als in häuslichen Abwässern).

Dabei sind besonders Krankheitserreger und Arzneimittel für die Behandlung und Entsorgung infektiöser Abwässer aus Risikobereichen von Bedeutung. Können die Krankheitserreger bereits am Entstehungsort (z.B. im Krankenhaus) abgetötet oder immobilisiert werden, ist eine Ableitung dieser Abwässer über die kommunale Kanalisation möglich.

Ein Großteil der im medizinischen Bereich anfallenden unerwünschten Abwasserinhaltsstoffe kann zusammen mit jenen aus häuslichen Abwässern in kommunalen Kläranlagen entfernt werden. Eine Ausnahme hiervon bilden Arzneimittel. Die Wirkstoffe von Arzneimitteln sollen im menschlichen Körper möglichst lange verweilen, um ihre Wirkung am gewünschten Ort entfalten zu können. Sie weisen daher in den meisten Fällen eine schlechte biologische Abbaubarkeit auf. Dies stellt jedoch bei der Behandlung in Kläranlagen ein großes Problem dar. Viele Arzneimittel verlassen die Kläranlage unverändert über den Klärschlamm oder das eigentlich gereinigte Wasser. [23]

Für Arzneimittel im Abwasser gibt es derzeit noch keine gesetzlichen geregelten Grenzwerte. Solche Begrenzungen werden auf europäischer Ebene aber bereits diskutiert. Es ist jedoch erwiesen, dass Arzneimittel negative Auswirkungen auf das aquatische Ökosystem haben. Es gibt also durchaus gute Gründe sich mit dem Arzneimittelabbau in Abwässern aus dem medizinischen Bereich zu befassen.

4.3 Betrachtung von Arzneimitteln im Ökosystem Wasser

Arzneimittel haben, trotz ihrer vergleichsweise geringen Mengen, einen Einfluss auf das Ökosystem Wasser. Wie die Arzneimittel in die Umwelt gelangen, wie sie sich dort verteilen und welche Auswirkungen sie haben, soll in diesem Kapitel erläutert werden.

4.3.1 Arzneimittelverbrauch in Österreich

In Österreich werden jährlich ca. 2,6 Milliarden € (Stand 2010, ohne Umsatzsteuer) [35] für Arzneimittel ausgegeben. Die Tendenz ist, wie in Tabelle 9 ersichtlich, steigend.

Tabelle 9: Zahl der Heilmittelverordnungen und Heilmittelaufwand 2006 bis 2010 [35]

Jahr	Zahl der Verordnungen	Ausgaben in Milliarden € ¹⁾	Kosten pro Versicherten in €
2006	107.690.576	2,18	354
2007	112.453.402	2.36	378
2008	117.634.411	2.53	400
2009	117.080.832	2.58	404
2010	118.021.978	2.60	403

1) ohne Umsatzsteuer

Am häufigsten wurden dabei Medikamente für die folgende Anwendungsgebiete verschrieben [35]:

- Mittel mit Wirkung auf das Renin-Angiotensin-System (z.B. gegen Herzleiden und Bluthochdruck)
- Mittel bei säurebedingten Erkrankungen (z.B. bei Übersäuerung des Magens, Sodbrennen, Magengeschwüren)
- Psychoanaleptika (z.B. bei Depressionen, Demenz)

Bei der Betrachtung des Arzneimittelverbrauchs ist zu beachten, dass dieser mit zunehmendem Alter überproportional ansteigt [23]. Während ein Schüler im Alter von 10 bis 19 Jahren etwa 4 Packungen an Medikamenten im Jahr verbraucht, steigt der Verbrauch bis zum 80. Lebensjahr auf über 100 Packungen. In Abbildung 7 ist der Verbrauch von Arzneimitteln im Bezug auf das Lebensalter dargestellt.

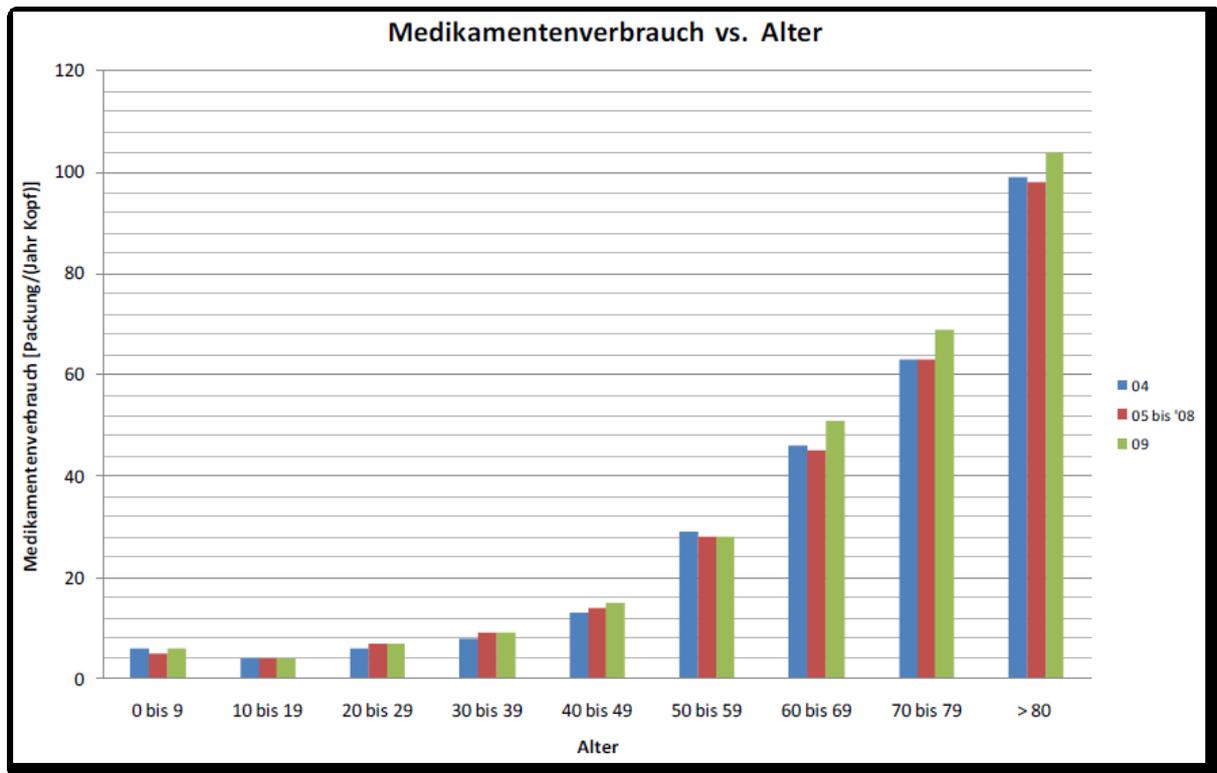


Abbildung 7: Abhängigkeit des Medikamentenverbrauchs vom Lebensalter [23]

4.3.2 Eintragspfade in die Umwelt

Es gibt verschieden Möglichkeiten, wie Arzneimittel in die Umwelt gelangen können. [23],[36]

Eine Hauptquelle stellen dabei die **Kläranlagen** dar. Die Arzneimittel sind zum Teil so schwer biologisch abbaubar, dass die in den Kläranlagen praktisch keinem Rückhalt oder Abbau unterliegen. Viele Arzneimittel verlassen die Kläranlage unbehandelt bzw. unverändert und gelangen somit in die aquatische Umwelt.

Durch die Verwendung von Klärschlamm bzw. Gülle als Dünger kann auch der **Agrarbereich** einen Eintragspfad in die Umwelt darstellen. Da das Ausbringen von Klärschlamm in Österreich jedoch nur eingeschränkt möglich ist, ist dieser Eintragspfad jedoch eher von geringer Bedeutung.

Auch aus **Krankenhäusern und Pflegeanstalten** können Arzneimittel in die Umwelt gelangen. Häufig sind Krankenanstalten jedoch Indirekteinleiter und besitzen keine eigene Abwasserbehandlungsanlage. Viele Krankenhäuser besitzen eine Mischkanalisation, wodurch die stark arzneimittelbelasteten Abwässer durch Abwässer aus den Serviceeinrichtungen und durch Niederschlagswasser verdünnt werden. Die Zusammensetzung von Abwässern aus Krankenhäusern und Pflegeanstalten ist sehr stark von den vorhandenen Abteilungen abhängig (z.B. Intensivstation, Onkologie, etc.).

Natürlich können auch bereits bei der Herstellung von Medikamenten hochbelastete Abwässer entstehen. Da die **Pharmaproduzenten** jedoch meist eine interne Abwasserbehandlung besitzen, hat auch dieser Eintragspfad eine untergeordnete Rolle. Eine große Menge an arzneimittelbelasteten Abwässern kann hier eigentlich nur durch Unfälle in die Umwelt gelangen.

Einen weiteren wichtigen Eintragspfad von Arzneimitteln in die Umwelt stellt die **Entsorgung** dar. Ein Teil davon gelangt (unverändert oder als Metaboliten) über die menschlichen Ausscheidungen in die Kanalisation und damit in die kommunalen Kläranlagen. Ein Teil der gekauften Arzneimittel wird zusätzlich dazu in privaten Haushalten unsachgemäß entsorgt. Diese werden meist über die Toilette (vorzugsweise flüssige Medikamente) oder über den Restmüll entsorgt und gelangen somit unkontrolliert in die Umwelt. Dies betrifft laut einer IMAS-Studie jedoch nur 1,8% der gekauften Medikamentenmenge. Mehr als die Hälfte der Österreicher gab an, alte Medikamente in der Apotheke abzugeben.

In Abbildung 8 ist eine Übersicht über die verschiedenen Eintragspfade von Arzneimitteln in die Umwelt dargestellt.

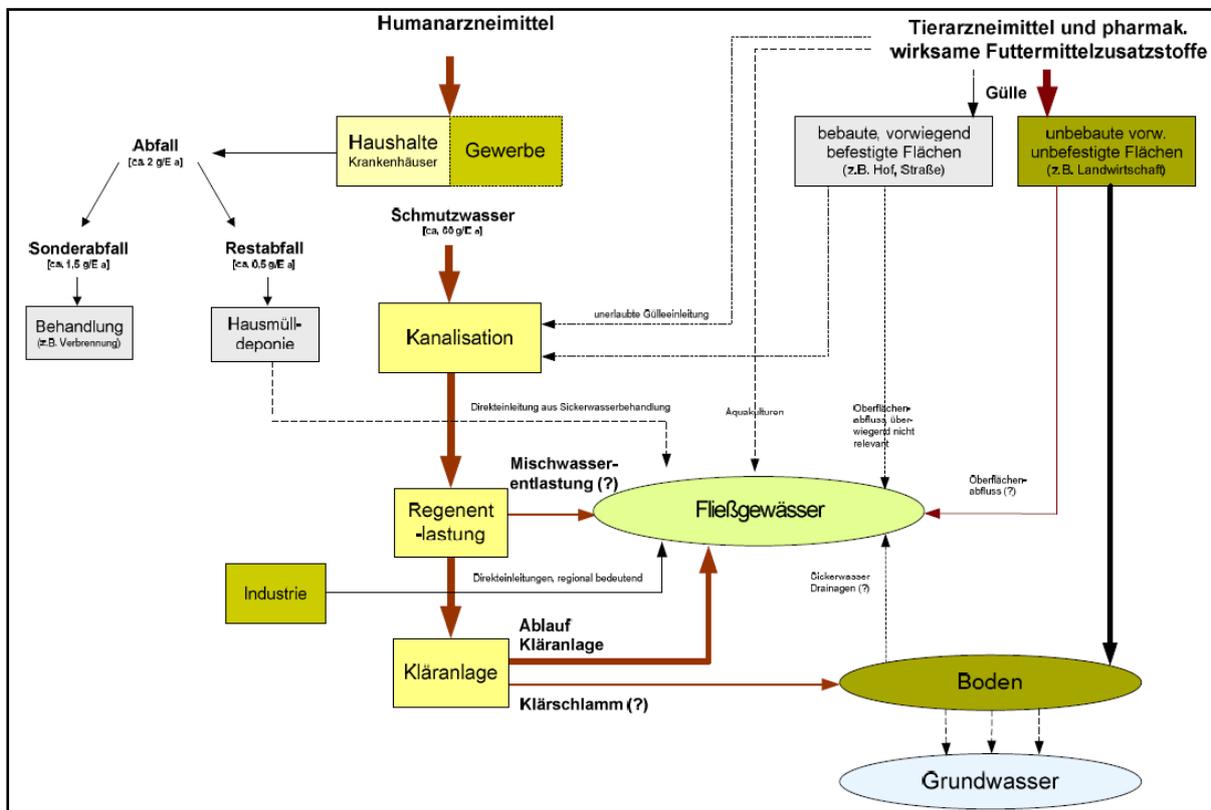


Abbildung 8: Eintragspfade von Arzneimitteln in die Umwelt [36]

4.3.3 Arzneimittelmengen in Abwässern

Die Mengen an Arzneimittel in Abwässern hängen sehr stark von der Art des Arzneimittels und dem Ort der Verabreichung ab. Hierbei muss zwischen Arzneimitteln zur Behandlung

von akuten Erkrankungen und solchen für die Behandlung von chronischen Krankheiten unterschieden werden. Da Medikamente zur Behandlung von chronischen Leiden häufig Zuhause eingenommen werden, sind diese in Kläranlagen zu und –abläufen in wesentlich größeren Mengen zu finden als in Krankenhausabwässern. Zu diesen Medikamenten gehört unter anderem das für diese Arbeit als Leitsubstanz verwendete Carbamazepin (Antiepileptikum). Andere Arzneimittel, wie beispielsweise diverse Antibiotika, sind wiederum eher in Krankenhausabwässern zu finden, da diese hauptsächlich für Behandlungen bei stationärer Aufnahme des Patienten zum Einsatz kommen. [23]

In Tabelle 10 ist dies für Abwasser aus einer Kläranlage und einem nahegelegenen Krankenhaus dargestellt.

Parameter	Carbamazepin	Diazepam	Sulfamethoxazol	Trimethoprim	Erythromycin	Josamycin	Roxithromycin	Coffein
	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]
Kläranlagenablauf								
Mittel	607	11	145	438	251	240	152	178
Min	370	2	37	130	86	23	24	29
Max	1000	25	550	870	470	770	410	490
Krankenhausabwasser								
Mittel	31	27	56	3268	130	34	28	373000
Min	4	2	33	140	20	34	25	78000
Max	75	85	99	12000	240	34	30	670000

Tabelle 10: Vergleich von Arzneimittelkonzentration in Kläranlagenablauf und Krankenhausabwasser [23]

4.3.4 Auswirkungen von Arzneimitteln auf die Umwelt

Arzneimittel sind mittlerweile ubiquitär in der aquatischen Umwelt vorhanden. Es gibt bisher jedoch nur wenige Studien, die die Auswirkungen von Arzneimitteln auf die Umwelt untersucht haben. Eine Studie des bayrischen Landesamtes für Wasserwirtschaft hat jedoch negative Auswirkungen von bestimmten Arzneimitteln auf die Gesundheit von Fischen nachgewiesen. Insbesondere der Wirkstoff Diclofenac verursachte in den Untersuchungen Organveränderungen bei bestimmten Fischarten und reichte sich im Gewebe an. Auch die Auswirkungen von Carbamazepin wurden in dieser Studie untersucht, waren jedoch nicht so gravierend. [37]

4.4 Übersicht über die wichtigsten Arzneimittel im Abwasser

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Arzneimittelgruppen und deren Eigenschaften erläutert. Aufgrund der großen Vielfalt von Arzneimitteln auf dem Markt, können nicht alle im

Einzelnen betrachtet werden, es werden zu den Gruppen jedoch die bedeutendsten Vertreter genannt. Der für dieses Projekt verwendeten Leitsubstanz Carbamazepin ist im Anschluss ein eigenes Kapitel (siehe Kapitel 4.5) gewidmet.

Die Arzneimittel werden hierfür in folgende Gruppen unterteilt:

- Analgetika;
- Psychopharmaka;
- Antibiotika;

4.4.1 Analgetika

Analgetika [23], [38] gehören zu den in Österreich am häufigsten eingesetzten Arzneimitteln. Sie werden zur Schmerzlinderung, Entzündungshemmung und/oder Fiebersenkung eingesetzt. Die Wirkung beruht dabei auf der Hemmung der Produktion bestimmter Hormone (Prostaglandine), welche für Schmerzen und Entzündungen verantwortlich sind.

Zu den bekanntesten Analgetika gehören:

- Diclofenac;
- Paracetamol;
- Acetylsalicylsäure;
- Ibuprofen;
- Naproxen;
- Phenazon;

Insbesondere **Diclofenac** [38] wird häufig in Kläranlagenabläufen und Oberflächenwässern nachgewiesen. Es kommt in den meisten Fällen als Natriumsalz zur Anwendung und wird beispielsweise bei rheumatischen Erkrankungen eingesetzt. Die Wirkung von Diclofenac ist auf die Hemmung des Enzyms Cyclooxygenase zurückzuführen, welches für die Bildung von Prostaglandinen verantwortlich ist. Die chemische Struktur von Diclofenac ist in Abbildung 9 dargestellt.

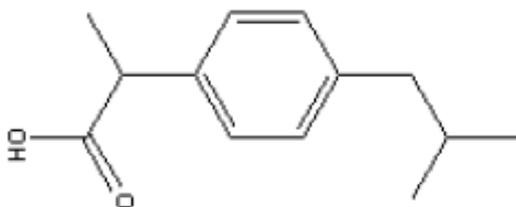


Abbildung 9: Strukturformel von Diclofenac [38]

Diclofenac hat eine hohe Bioverfügbarkeit und wird schnell im Körper resorbiert. Ca. 60% des Wirkstoffes werden in Form von Metaboliten über den Urin ausgeschieden, 30% über die Fäzes. Etwa 1% des Diclofenac verlässt den Körper unverändert.

4.4.2 Psychopharmaka

Psychopharmaka [23], [39] sind Arzneimittel, die sich positiv auf die psychische Verfassung des Patienten auswirken sollten. Sie werden hauptsächlich zur Behandlung jeder Form von psychischer Störung und neurologischer Erkrankung eingesetzt.

Sie können in folgende Untergruppen eingeteilt werden:

- Antidepressiva;
- Neuroleptika;
- Tranquilizer;
- Nootropika;
- Antiepileptika;
- Psychostimulanzien;
- Phasenprophylaktika.

Aufgrund der großen Menge an verschiedenen Wirkstoffen im Bereich der Psychopharmaka ist auch das Wirkungsspektrum entsprechend breit. Besonders im Bereich der Antidepressiva gehen die Wirkungen der Arzneimittel von stimmungsaufhellend über angstlösend bis hin zu beruhigend.

Arzneimittel aus dem Bereich der Psychopharmaka, welche in Kläranlagenabläufen und Oberflächengewässern häufig zu finden sind, sind Diazepam (Tranquilizer), Coffein (Psychostimulans) und Carbamazepin (Antiepileptikum). Diese sollen im folgende genauer betrachtet werden.

Diazepam:

Diazepam [23], ist ein Arzneimittel, das unter die Kategorie der Tanquilizer fällt und vor allem unter dem Markennamen Valium® bekannt wurde. Es gehört zur Gruppe der Benzodiazepine und ist eines der am häufigsten verschriebenen Psychopharmaka. Es wird bei Angstzuständen, Schlaflosigkeit und epileptischen Erkrankungen eingesetzt. Aufgrund seines relativ hohen Suchtpotentials ist eine Langzeittherapie mit Diazepam jedoch zu vermeiden.

Diazepam wird im Körper sehr gut resorbiert. Verstoffwechselt wird Diazepam hauptsächlich in der Leber über das Cytochrom P450 – Enzymsystem. Dabei entsteht der aktive Metabolit N-Desmethyldiazepam. Die Ausscheidung erfolgt hauptsächlich über die Niere, zu einem geringeren Teil auch biliär. In den ersten 72 Stunden treten 20% der Metaboliten im Urin auf.

In Abbildung 10 ist die chemische Struktur von Diazepam dargestellt:

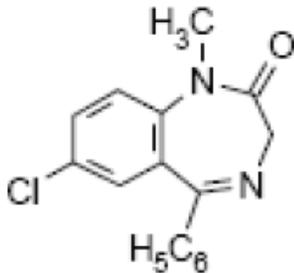


Abbildung 10: Strukturformel von Diazepam [23]

Coffein:

Coffein [23], [39] ist ein Wirkstoff aus dem Bereich der Psychostimulanzien. Es ist ein Alkaloid aus der Stoffgruppe der Xanthine. In seiner reinen Form ist es ein weißes, geruchloses, kristallines Pulver.

Coffein wirkt vor allem stimulierend auf den Körper (erhöhte Herzfrequenz, Beseitigung von Müdigkeitserscheinungen, Anregung des zentralen Nervensystems usw.). Die Wirkung beruht auf der Ähnlichkeit der chemischen Struktur zum körpereigenen Stoff Adenosin. Dieses soll das menschliche Gehirn durch die Verlangsamung der Nervenzellen vor Überanstrengung schützen. Coffein kann die dafür vorgesehenen Rezeptoren besetzen und somit für das Adenosin blockieren. Somit wird ein langsames Arbeiten der Nervenzellen vermieden. Das Gehirn arbeitet weiterhin mit erhöhter Leistung.

Die Bioverfügbarkeit von Coffein liegt bei 90 – 100%. Etwa 80% werden im menschlichen Körper zu Paraxanthin umgewandelt, ca. 16% in der Leber zu Theobromin und Theophyllin. Im Urin können einige unterschiedliche Metaboliten nachgewiesen werden, nur etwa 3% des Coffeins verlassen den Körper unverändert.

In Abbildung 11 ist die chemische Struktur von Coffein zu sehen:

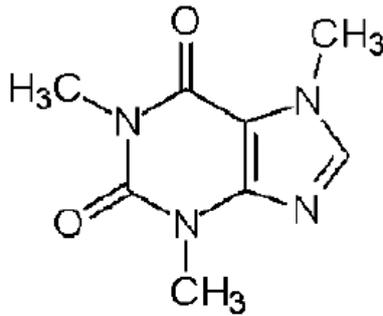


Abbildung 11: Strukturformel von Coffein [23]

Obwohl Coffein auch als Medikament eingesetzt wird (gegen Kopfschmerzen und Müdigkeit, zur Verstärkung der Wirkung verschiedener Analgetika) erfolgt der Haupteintrag in die Umwelt über coffeinhaltige Lebensmittel wie Kaffee, Limonaden oder Schokolade.

Carbamazepin:

Antiepileptika gehören ebenfalls zur Gruppe der Psychopharmaka. Eines der am häufigsten eingesetzten und auch in Kläranlagenabläufen und Oberflächenwässern in größeren Mengen auftretenden Antiepileptika ist Carbamazepin. Der Wirkstoff wurde aufgrund seiner Eigenschaften für dieses Projekt als Leitsubstanz ausgewählt und daher einer eingehenderen Betrachtung unterzogen, welche in Kapitel 4.5 zu finden ist.

4.4.3 Antibiotika

Antibiotika [23], [40] sind Arzneimittel zur Bekämpfung bakterieller Infektionen. Prinzipiell unterscheidet man hierbei zwischen bakteriostatischen (Bakterien werden an der Vermehrung gehindert) und bakteriziden (Bakterien werden abgetötet) Antibiotika. Sie werden in der Landwirtschaft nicht nur zur Behandlung, sondern auch zur Vorbeugung von Infektionskrankheiten genutzt.

Die Wirkung von Antibiotika beruht hauptsächlich auf folgenden Wirkmechanismen:

- Hemmung der Zellwandsynthese;
- Hemmung der Proteinsynthese;
- Hemmung der Nucleinsäuresynthese;
- Beeinflussung der Permeabilität der Zytoplasmamembran.

Die in Österreich gebräuchlichen Antibiotika können in verschiedenen Wirkstoffgruppen unterteilt werden (siehe Tabelle 11):

Tabelle 11: Wirkstoffgruppen von Antibiotika [40]

Wirkstoffgruppe	Vertreter	Wirkung
β-Lactam-Antibiotika	Cephalosporine Penicilline Amoxicillin	bakterizid
Chinolone/Gyrasehemmer	Ciprofloxacin Norfloxacin Enrofloxacin Danofloxacin	DAN-Gyrase-Hemmung
Folsäureantagonisten	Sulfadiazin Sulfadimidin Sulfamethoxazol	bakteriostatisch
Glykopeptide	Vancomycin	bakterizid, Hemmung der Zellwandsynthese
Tetrazykline	Tetracyclin Chlortetracyclin Oxytetracyclin Doxycyclin	bakteriostatisch, Hemmung der Proteinsynthese
Lincosamide	Clindamycin Lincomycin	bakteriostatisch
Makrolide	Clarithromycin Erythromycin Josamycin Roxithromycin Tylosin	bakteriostatisch, Hemmung der Proteinsynthese

Die in Kläranlagenabläufen und damit auch in Oberflächenwässern am häufigsten detektierten Antibiotika sind Erythromycin, Clarithromycin, Roxithromycin, Sulfamethoxazol sowie Trimethoprim. Die durchschnittliche Menge beträgt hierbei 100 ng/L, mit Spitzen bis zu 3 µg/L. Penicilline sind hingegen kaum nachweisbar, was auf ihre geringe Stabilität und gute Abbaubarkeit zurückzuführen ist.

Die häufig detektierten Antibiotika werden im Folgenden kurz erläutert:

Erythromycin:

Erythromycin wird hauptsächlich eingesetzt, wenn die Erreger gegen β-Lactam-Antibiotika und Tetracycline resistent sind. Die Wirkung beruht auf der Behinderung der

Trimethoprim:

Trimethoprim [23], [40] wird häufig in Kombination mit Sulfamethoxazol zur Behandlung von Harnwegsinfekten eingesetzt. Es wirkt bakteriostatisch durch die Hemmung des Folsäure-Stoffwechsel von grampositiven und gramnegativen Keimen.

Die Resorption des Wirkstoffes erfolgt sehr schnell und nahezu vollständig. Etwa 50 – 80% werden unverändert über den Urin wieder ausgeschieden [23]. Die chemische Struktur von Trimethoprim ist in zu sehen.

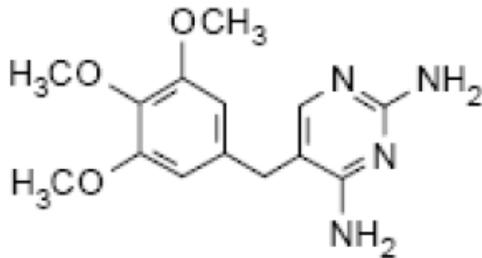


Abbildung 15: Strukturformel von Trimethoprim [23]

4.5 Betrachtung der Leitsubstanz Carbamazepin

Carbamazepin ist ein pharmakologischer Wirkstoff, der hauptsächlich zur Behandlung von epileptischen Erkrankungen eingesetzt wird. Es zählt daher zur Indikationsgruppe der Antiepileptika. Weitere Anwendungsgebiete sind die Behandlung von Trigeminusneuralgien (Gesichtsschmerzen) sowie der Einsatz als Antidepressivum. [39], [41]

Carbamazepin ist eines der am häufigsten eingesetzten Antiepileptika in Österreich (Jahresverbrauch 5.432 kg, Stand 2007) und auch weltweit. Der Wirkstoff ist in Österreich unter den Handelsnamen Tegretol[®], Delptin[®] und Neurotop[®] erhältlich. [41]

Carbamazepin wurde als Leitsubstanz für die Versuche ausgewählt, da es bereits eindeutig in Oberflächen- und Grundwässern nachgewiesen wurde [39] und daher einen für die aquatische Umwelt relevanten Stoff darstellt. Da es nur sehr schwer biologisch abbaubar ist, ist es eines jener Arzneimittel, welche nach der Behandlung praktisch unverändert wieder aus der Kläranlage austreten.

4.5.1 Chemische Struktur und Wirkungsweise

Carbamazepin ist ein farbloses bis schwach weißgelbliches kristallines Pulver. Die chemische Strukturformel ist in Abbildung 16 dargestellt. [41]

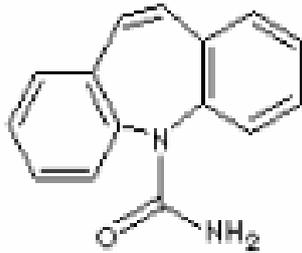


Abbildung 16: Strukturformel von Carbamazepin [41]

Carbamazepin gehört zu Wirkstoffklasse der Harnstoffderivate und weist strukturelle Ähnlichkeiten mit tricyklischen Antidepressiva auf. [23]

Die Bioverfügbarkeit eines Wirkstoffes gibt an, wie viel der eingenommenen Menge resorbiert wird und am Wirkort (direkt oder als Metabolit) verfügbar ist. Die Bioverfügbarkeit von Carbamazepin liegt bei 70 – 80%. [41]

Der Hauptabbauweg erfolgt über den Primärmetaboliten Carbamazepin-10,11-epoxid, welcher eine ähnliche Wirkung und Wirkungsstärke wie Carbamazepin aufweist. Dieser wird anschließend zu dem inaktiven Trans-10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycarbamazepin umgewandelt. Die verschiedenen Abbauege von Carbamazepin im Körper sind in Abbildung 17 dargestellt. [23]

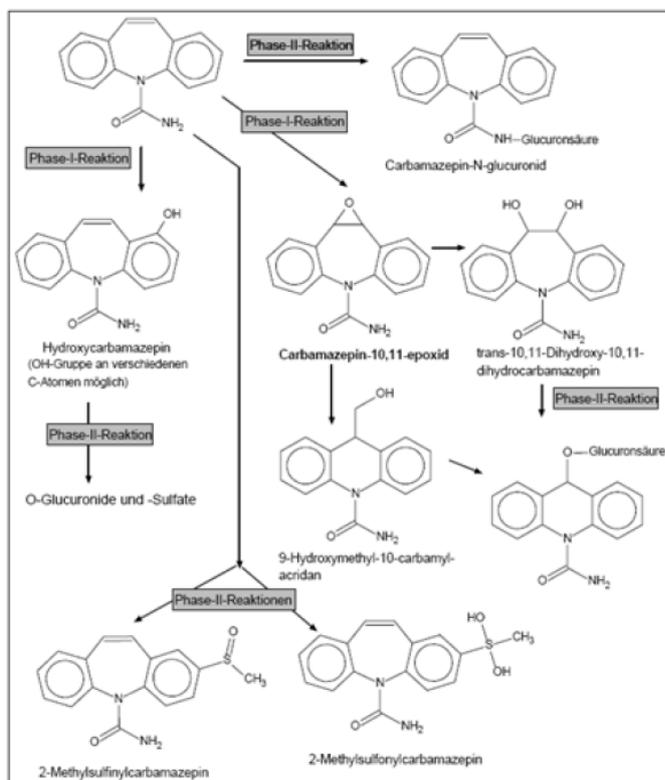


Abbildung 17: Abbauege von Carbamazepin im Körper [23]

Die Ausscheidung von Carbamazepin aus dem Körper erfolgt zu einem großen Teil als Metaboliten. 70% der ursprünglichen Dosis werden als Metaboliten über den Urin ausgeschieden, 13 – 18% über die Fäzes. Die restlichen 12 – 17% werden unverändert aus dem Körper ausgeschieden (2% über den Urin, 10 – 15% über Fäzes). [41]

4.5.2 Aufkommen von Carbamazepin in Krankenanstalten und privaten Haushalten

In Österreich werden jährlich in etwa 5,4 t (Stand 2007) Carbamazepin verbraucht. Es ist daher eines der am häufigsten eingesetzten Antiepileptika. [41]

Carbamazepin ist als Antiepileptikum ein Arzneimittel das von den Patienten zu einem großen Teil im häuslichen Umfeld eingenommen wird. Grund dafür ist die Notwendigkeit der regelmäßigen und dauerhaften Einnahme des Medikaments für die Behandlung von epileptischen Erkrankungen. Dies steht im Gegensatz zu Arzneimitteln, die bevorzugt im Krankenhaus zur akuten Behandlung verschrieben werden, wie beispielsweise bestimmte Antibiotika.

Diese Tatsache ist der Grund dafür, dass Carbamazepin in deutlich höheren Konzentrationen im Kläranlagenablauf zu finden ist, als dies in Krankenhausabwässern der Fall ist. Dies ist auch in Tabelle 10 ersichtlich, welche der Studie „Behandlungsverfahren für Arzneimittel und Industriechemikalien in Abwässern“ des Lebensministeriums [23] entnommen ist.

4.5.3 Verteilung von Carbamazepin im Ökosystem Wasser

Aufgrund seiner schlechten Abbaubarkeit in Kläranlagen ist Carbamazepin mittlerweile eines der am häufigsten detektierten Arzneimittel im Oberflächen- und Grundwasser (siehe Tabelle 12). Auch im Trinkwasser wurde Carbamazepin bereits nachgewiesen. In der aquatischen Umwelt ist der Wirkstoff sehr persistent und weist eine im Labor ermittelte Halbwertszeit von 1712 Tagen auf. Außerdem weist Carbamazepin besonders im Uferfiltrat eine sehr hohe Mobilität auf. [39]

Tabelle 12: Konzentrationen von Carbamazepin in verschiedenen Gewässerarten [39]

Medium	Konzentration [$\mu\text{g/L}$]	Ort
Kläranlage	46	---
	6,3	Frankfurt/Main
Kläranlagenablauf	0,15 – 1,76	Stuttgart
	0,5 – 1	Kanada
Oberflächenwasser	0,1 – 2,1	Rhein
	< 2	Lippe
	< 6,1	---
Uferfiltrat	< 0,2	---
Grundwasser	< 0,61	Colorado
	< 0,9	---
Trinkwasser	0,03	---
Deponiesickerwasser	0,4 – 3	---

Carbamazepin eignet sich aufgrund seiner Eigenschaften als Tracer für eventuelle Undichtheiten von Kanalnetzen bzw. als Screeningparameter für die Verschmutzung des Grundwassers durch kommunales Abwasser.

5 Versuchsvorbereitung

Im Vorfeld der Versuche mussten verschiedene Probleme erörtert und geklärt werden. Im folgenden Kapitel werden diese grundlegenden Fragen und gefällten Entscheidungen erläutert.

5.1 Salzauswahl

Einen wichtigen Parameter für die Anodische Oxidation stellt die elektrische Leitfähigkeit dar. Die elektrochemische Vorgabe für diesen Parameter lautete ca. 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Da nicht alle Abwässer eine elektrische Leitfähigkeit in dieser Größe aufweisen, muss Salz als Leitsubstanz zugesetzt werden. Das dafür verwendete Salz muss weltweit erhältlich, kostengünstig, einfach handhabbar sowie umweltschonend sein. Zur Auswahl standen daher die Salze Natriumhydrogencarbonat (NaHCO_3) und Natriumchlorid (NaCl). Die Versuche wurden daher mit diesen beiden Salzen (zweite Versuchsreihe) durchgeführt, um mögliche Unterschiede in den Abbauraten zu erkennen.

Natriumhydrogencarbonat (auch bekannt als Soda) hat den Vorteil, dass ein Chloreitrag in die Umwelt durch die Nutzung dieses Salzes vermieden wird. Außerdem wird durch NaHCO_3 die Wasserhärte vermindert, was eine Verkalkung der Anlage vermindern kann.

Natriumchlorid wird weltweit verwendet und ist daher überall einfach und kostengünstig erhältlich. Es müssen jedoch bei der Verwendung von NaCl durch die geringe Aufsalzung mögliche Auswirkungen auf die Umwelt durch den Chloreintrag in das Abwasser berücksichtigt werden.

Die endgültige Auswahl des Salzes für den Einsatz in der Praxis wird nach der Auswertung der Versuche getroffen.

5.2 Auswahl der Geräte und Parameter

Das für diese Verfahrenskombination von der Firma Meteka ausgewählte Sterilisationsgerät ist der Medister 560-100 [22] mit einer Speicherkapazität von 1000 L und einem Durchsatz von 100 L/h. Da die Arbeit mit diesem Gerät jedoch einen sehr hohen Versuchsaufwand dargestellt hätte, wurde für die Versuche der kleinere Untertisch-Abwasser-Sterilisator Medister 510 [21] verwendet (siehe Kapitel 3.2.3). Durch den Einsatz dieses Gerätes und einer kleineren Zelle für die Anodische Oxidation (42 cm^2) konnten mittels Kreislaufführung alle wichtigen Parameter sowie die erzielbaren Abbauraten ermittelt werden. Daraus kann anschließend die benötigte Größe und Stromzufuhr der Zelle der Anodischen Oxidation ermittelt werden, um auch bei einem Durchfluss von 100 L/h dieselben Abbauraten zu erzielen.

5.3 Temperature Auswirkungen auf die beteiligten Stoffe

Da es während der Sterilisation zu einer Temperaturerhöhung auf 140°C kommt, ist es notwendig die Auswirkung dieser Temperatur auf die beteiligten Substanzen (Carbamazepin, Natriumchlorid bzw. Natriumhydrogencarbonat) zu ermitteln. Die Informationen über die Temperature Auswirkungen stammen vom Labor des IAE bzw. aus eigenen Versuchen.

5.3.1 Natriumchlorid

Natriumchlorid bildet mit Wasser eine pH-neutrale Lösung, in der Na^+ und Cl^- Ionen dissoziiert vorliegen. [33]

Für NaCl war in der Literatur keine Veränderung der Lösung durch eine Temperaturerhöhung zu finden. Die einzige Auswirkung, die eine erhöhte Temperatur auf Natriumchlorid hat, ist eine leicht erhöhte Löslichkeit in Wasser.

5.3.2 Natriumhydrogencarbonat

Natriumhydrogencarbonat (NaHCO_3) bildet mit Wasser eine leicht alkalische Lösung. [33]

Bei erhöhter Temperatur ist es möglich, dass aufgrund der geringeren Löslichkeit Kohlendioxid aus der Lösung ausgetrieben wird. Dieses sollte sich durch den erhöhten Druck in der Sterilisationseinheit aber zum Teil wieder lösen.

In der Lösung sind Carbonat- sowie Hydrogencarbonationen, gelöstes Kohlendioxid (zum Teil als Kohlensäure) sowie Natriumionen enthalten. Das Verhältnis in welchem die Ionen vorliegen kann durch den Vergleich mit dem Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht abgeschätzt werden.

Für die anodische Oxidation sollte dies keine Veränderungen ergeben.

5.3.3 Carbamazepin

Löst man eine Tablette Tegretol[®] in einem Liter Wasser, bleibt ein ungelöster Rückstand in Form von Flocken in der Lösung enthalten. Um das Verhalten dieser Flocken bei erhöhter Temperatur zu ermitteln, wurde ein Vergleichsversuch durchgeführt

Dafür wurde eine Tablette Tegretol[®] in Wasser gelöst und die Probe anschließend auf ca. 60 °C erwärmt. Zum Vergleich wurde eine zweite gleiche Lösung angesetzt, welche nicht erwärmt wurde. Wie in dem Foto erkennbar ist, sind in der erwärmten Probe (links) deutlich weniger und kleinere Flocken zu sehen als in der Vergleichsprobe (rechts).

Es ist daher anzunehmen, dass sich das Carbamazepin bei erhöhter Temperatur besser in Wasser löst. Als Konsequenz daraus ist es wichtig, die Probe vor den Versuchen

abzufiltrieren. Dies wurde in der ersten Versuchsreihe noch nicht berücksichtigt. Es ist daher möglich, dass sich bei den ersten Versuchen (siehe Kapitel 6.2.1) während oder nach der Sterilisation zusätzliches Carbamazepin in der Probe gelöst hat.



Abbildung 18: Löslichkeit von Carbamazepin in Abhängigkeit der Temperatur

5.4 Indirektparameter

Die Bestimmung von Arzneimittelkonzentrationen in den Proben ist schwierig und kann in Österreich derzeit nur vom Labor des Umweltbundesamtes durchgeführt werden. Daher wäre es von Vorteil einen einfach zu bestimmenden Parameter zu finden, welcher indirekt Auskunft über den Arzneimittelabbau geben könnte.

Folgende Summenparameter kommen als Indirektparameter in Frage:

- Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB);
- Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff (TOC);
- Adsorbierbare organische Halogenverbindungen (AOX);

Die Parameter CSB und TOC werden in der zweiten Versuchsreihe zusätzlich zur Analyse des Umweltbundesamtes bestimmt. Dadurch kann eventuell ein Zusammenhang zwischen Abbauraten und Indirektparameter hergestellt werden. Um aber aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, sind noch weitere Versuche notwendig.

5.4.1 Chemischer Sauerstoffbedarf

Der chemische Sauerstoffbedarf [33] ist ein Summenparameter und ein Maß für die organischen Verbindungen im Wasser. Er gibt Auskunft über die benötigte Sauerstoffmenge für die vollständige Oxidation aller organischen Substanzen im Wasser. Der CSB ist einer der wichtigsten Parameter für Abwassergrenzwerte, Kläranlagen und Trinkwasser.

Die Bestimmung erfolgt über Titration durch die Ermittlung des Verbrauchs an Kaliumdichromat.

Oxidiert werden dabei im Gegensatz zum BSB₅ (Biochemischer Sauerstoffbedarf) auch schwer abbaubare Verbindungen. Daher kann durch das Verhältnis von BSB zu CSB auch die biologische Abbaubarkeit eines Abwassers dargestellt werden.

In den verwendeten Proben ist die Arzneimittelkonzentration jedoch zu gering (20 µg/L), um einen CSB zu messen. Außerdem reagiert die CSB-Messung sehr empfindlich auf Chlor, was bei der Verwendung von Natriumchlorid durch Aufsalzung zu Problemen führen könnte.

5.4.2 Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff

Der TOC (total organic carbon) [33] ist ein Summenparameter und gibt wie der CSB Auskunft über die Menge an organischen Substanzen im Abwasser. Dabei werden sowohl gelöste wie auch ungelöst vorliegende organische Stoffe berücksichtigt. Der TOC stellt ebenfalls einen wichtigen Abwassergrenzwert sowie Parameter für Kläranlagen dar.

Die Bestimmung erfolgt durch Oxidation der Abwasserinhaltsstoffe und Messung des entstehenden Kohlendioxids.

Der TOC ist einfach und schnell zu ermitteln und erfasst auch sehr kleine Mengen [33]. Er eignet sich daher sehr gut als Indirektparameter für den Abbau der Arzneimittel. Um einen aussagekräftigen Zusammenhang zwischen Abbaurate und TOC zu erhalten, sind jedoch noch weitere Versuche notwendig. Die in der zweiten Versuchsreihe bestimmten TOC-Werte sind in Kapitel 7.3 dargestellt.

5.4.3 Adsorbierbare organische Halogenverbindungen

Der Summenparameter AOX [33] umfasst den Großteil aller chlor-, brom- und jodorganische Substanzen. Die genaue Zusammensetzung dieser Stoffe ist jedoch unbekannt. Der AOX stellt ebenfalls einen wichtigen Abwassergrenzwert dar.

Die Bestimmung erfolgt über Adsorption an Aktivkohle mit anschließender Verbrennung und der Messung der entstandenen Halogensäuren.

Der AOX umfasst viele Umweltschadstoffe wie z.B. diverse organische Chlorverbindungen. Zu den organischen Chlorverbindungen gehören beispielsweise die in der Öffentlichkeit

häufig diskutierten Stoffgruppen der Dioxine, PCBs (polychlorierten Biphenyle) und chlorhaltige Pestizide. Der AOX gibt jedoch keine Auskunft über die Toxizität eines Abwassers.

Organische Halogenverbindungen gehören zu den bedeutendsten Umweltschadstoffen. Viele davon sind hoch toxisch. Sie sind lipophil und werden im Fettgewebe gespeichert. Außerdem erweisen sie sich als sehr persistent und werden dadurch in der Nahrungskette akkumuliert. Die biologische Abbaubarkeit von organischen Halogenverbindungen ist in den meisten Fällen sehr schlecht. Das liegt vor allem an der sehr schwer aufzubrechenden C-X-Bindung. In der europäischen Gesetzgebung nimmt die Vermeidung dieser Schadstoffe einen prioritären Stellenwert ein. [42]

Von besonderer Bedeutung sind die halogenorganischen Pestizide. Diese werden in großen Mengen auf die Felder ausgebracht, sind sehr stabil und hoch toxisch. Ein Teil dieser Pestizide ist zusätzlich noch kanzerogen. Schon bei Konzentrationen von einigen µg/L können toxische Wirkungen auf Primärproduzenten in Wasser nachgewiesen werden. Das Ausbringen dieser Substanzen ist ökologisch eigentlich nicht vertretbar, jedoch aus wirtschaftlichen Gründen notwendig. [42]

Einen Anteil an AOX stellen jodorganische Verbindungen dar. Sie dienen als Röntgenkontrastmittel und gelangen über Krankenhausabwässer in die Umwelt. [33]

6 Versuchsaufbau und -durchführung

6.1 Vorversuche

Die Vorversuche wurden im umwelt- und prozessanalytischen Labor des Instituts für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik durchgeführt.

Zweck der Vorversuche war es, die benötigten Mengen an Natriumchlorid und Natriumcarbonat (wasserfrei) für die Einstellung einer elektrischen Leitfähigkeit von 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ zu bestimmen und in weiterer Folge die Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit von der Temperatur zu ermitteln.

6.1.1 Versuchsaufbau zur Bestimmung der Salzkonzentration für eine Leitfähigkeit von 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Die Ermittlung der benötigten Salzkonzentrationen für eine Leitfähigkeit von 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ erfolgte über eine gleichmäßige Zudosierung des jeweiligen Salzes zu einem Liter destillierten Wassers. Die Menge des Salzes wurde dabei über eine Differenzwiegung ermittelt.

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 19 zu sehen. Das verwendete Gerät zur Messung der elektrischen Leitfähigkeit war das Cond315 der Firma WTW.



Abbildung 19: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Salzkonzentration für eine Leitfähigkeit von 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$

6.1.2 Ermittlung der Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit von Salzlösungen

In einem weiteren Vorversuch wurde die Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit verschiedener Salzlösungen untersucht. Hierfür wurden Lösungen von Natriumchlorid und Natriumcarbonat in jeweils einem Liter destillierten Wassers hergestellt. Die Salzkonzentration wurde dafür so gewählt, dass sich eine elektrische Leitfähigkeit von 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (bei 25°C) eingestellt. Diese Lösungen wurden anschließend in Schritten von jeweils 5°C auf 55°C erwärmt. Während des Erwärmens wurde die Leitfähigkeit mit zwei unterschiedlichen Geräten gemessen. Zum einen war dies das bereits zuvor verwendete Cond315 der Firma WTW, welches die elektrische Leitfähigkeit immer auf eine Temperatur von 25°C umrechnet (Kontrollmessung). Zum anderen wurde das „digital conductivity meter PW 9526“ von Philips verwendet, bei welchem sich die Temperaturumrechnung ausschalten lässt. Somit lässt sie der Verlauf der Leitfähigkeit in Abhängigkeit der Temperatur messen und darstellen.

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 20 zu sehen.

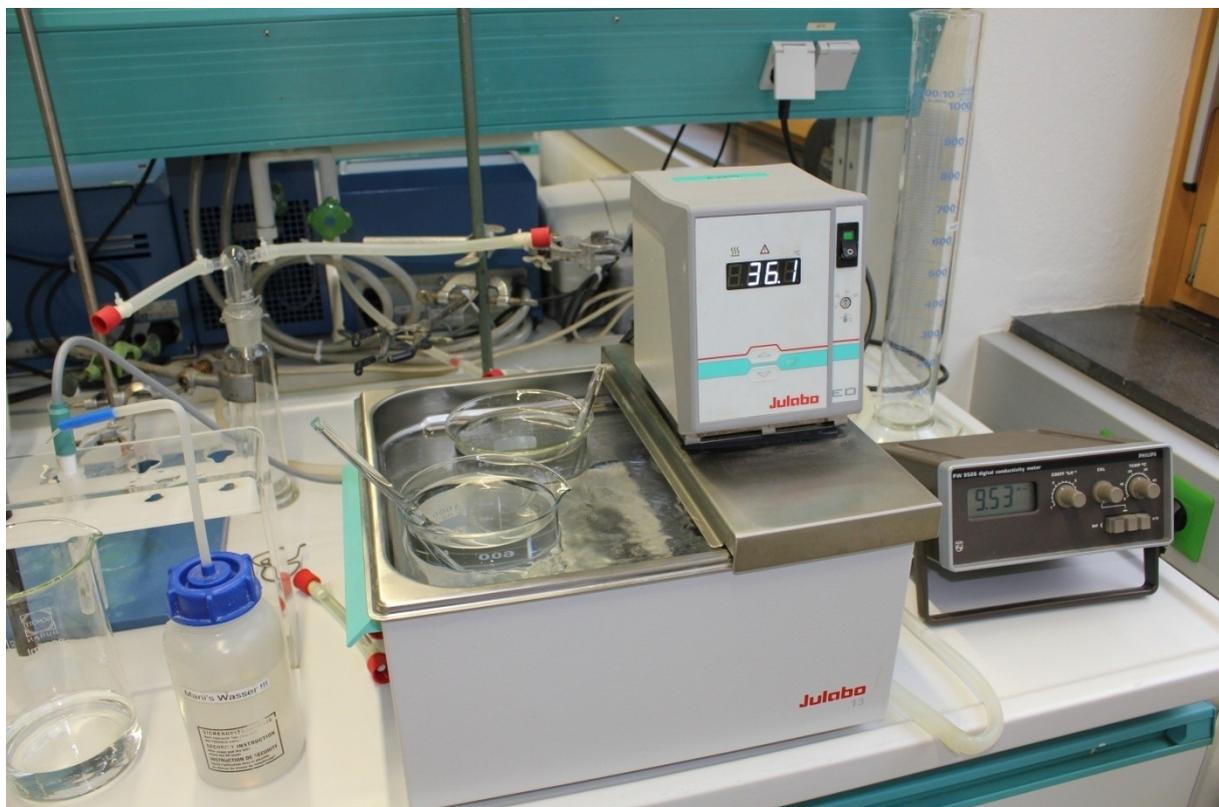


Abbildung 20: Versuchsaufbau zur Messung der Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit

6.2 Versuchsanlage als Kombinationsgerät

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 21 und Abbildung 22 dargestellt.

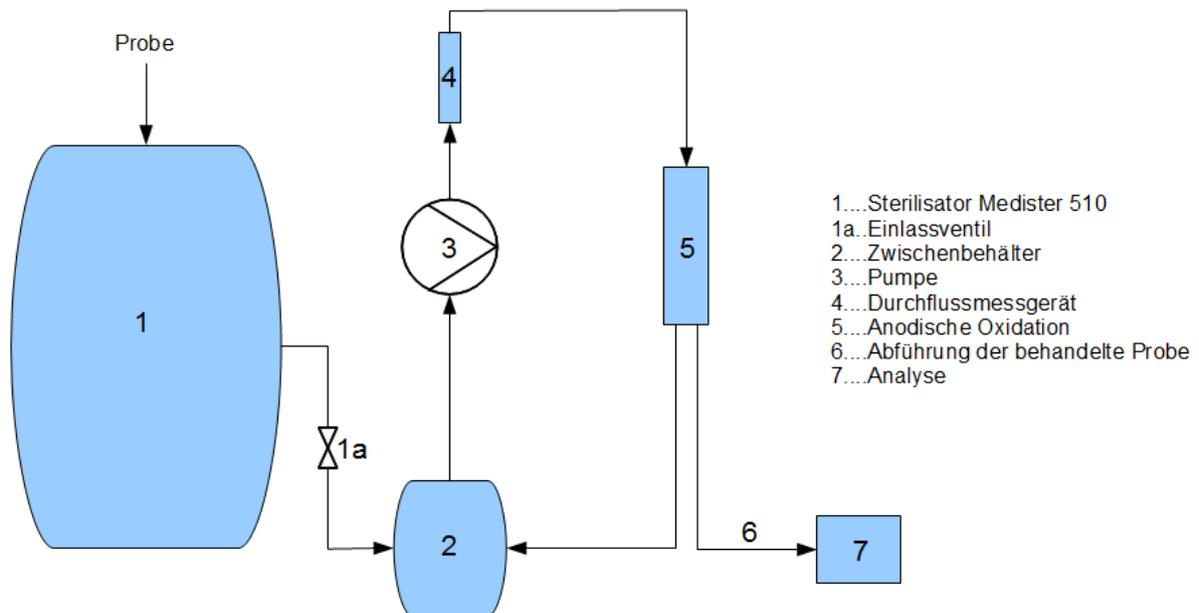


Abbildung 21: Schematischer Versuchsaufbau

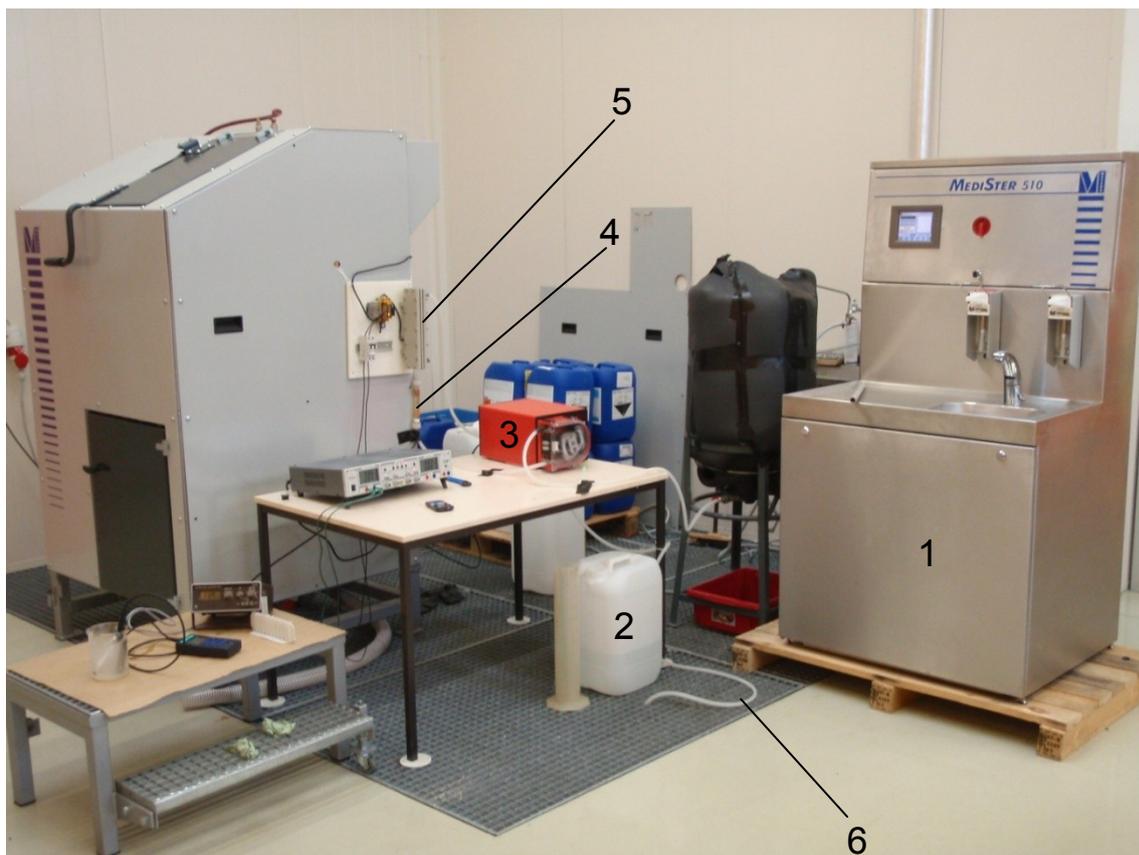


Abbildung 22: Bild des Versuchsaufbaus

Weitere Bilder der Versuchsdurchführung sind in Anhang B zu finden.

6.2.1 Erste Versuchsreihe

Die erste Versuchsreihe wurde ausschließlich mit Natriumhydrogencarbonat durchgeführt.

Für die Herstellung der Probe (gespiktes Trinkwasser) wurde eine Tablette Tegretol® (enthält 200 mg Carbamazepin) in einem Liter Wasser aufgelöst und diese Lösung anschließend auf eine Carbamazepinkonzentration von ca. 10 µg/L (in Abwässern aus dem medizinischen Bereich finden sich Konzentrationen bis zu 1 µg/L) verdünnt. Die verdünnte Probe wurde anschließend mit Natriumhydrogencarbonat auf eine elektrische Leitfähigkeit von 2000 µS/cm eingestellt.

Nach der Behandlung des gespikten Wassers im Sterilisator (Zeit: 2 min, T_{\max} : 140°C, p: 4 bar) wurde die Probe in einem Zwischenbehälter gesammelt. Von diesem Behälter aus wurde die Probe mittels Anodischer Oxidation im Batchbetrieb mit einem Volumenstrom von rd. 100 L/h behandelt.

Die entnommenen Proben wurden nach der Behandlung gekühlt und durch das Labor für organische Analysen des Umweltbundesamtes nach Carbamazepin analysiert.

Im Vergleich zur zweiten Versuchsreihe wurde bei den ersten Versuchen nicht auf einen notwendigen Ladungseintrag geachtet (siehe Tabelle 13). Variiert wurde hierbei nicht die Behandlungsdauer sondern die Stromstärke.

Die Parameter für die 1. Versuchsreihe sind in Tabelle 13 zu sehen.

Tabelle 13: Versuchsparameter – 1. Versuchsreihe

	Strom- dichte	Strom	Spannung	Temperatur	Durchfluss	Ladungs- eintrag
	[mA/cm ²]	[A]	[V]	[°C]	[L/h]	[Ah/L]
NaHCO ₃ (P2)	30	1,26	36,6	52,4	100	0,0126
NaHCO ₃ (P3)	50	2,10	44,5	55,0	100	0,0210
NaHCO ₃ (P4)	70	2,94	51,8	55,4	100	0,0294

6.2.2 Zweite Versuchsreihe

Die zweite Versuchsreihe wurde zusätzlich zu Natriumhydrogencarbonat auch mit Natriumchlorid zur Aufsalzung durchgeführt. Außerdem wurde der Ladungseintrag genau festgelegt und durch die Veränderung der Behandlungsdauer variiert.

Für die Herstellung der Probe (gespiktes Trinkwasser) wurde erneut eine Tablette Tegretol® in einem Liter Wasser aufgelöst und diese Lösung anschließend auf eine Carbamazepinkonzentration von 20 µg/L. Anschließend wurden 2 Proben hergestellt und die notwendige Salzmenge zudosiert, um eine elektrische Leitfähigkeit von 2000 µg/L einzustellen (einmal mit NaCl und einmal mit NaHCO₃).

Nach der Behandlung des gespikten Wassers im Sterilisator (Zeit: 2 min, T_{max}: 140°C, p: 4 bar) wurde die Probe in einem Zwischenbehälter gesammelt. Von diesem Behälter aus wurde die Probe mittels Anodischer Oxidation im Batchbetrieb mit einem Volumenstrom von rd. 50 L/h behandelt.

Die entnommenen Proben wurden nach der Behandlung gekühlt und durch das Labor für organische Analysen des Umweltbundesamtes nach Carbamazepin analysiert.

Die Parameter für die 2. Versuchsreihe sind in Tabelle 14 zu sehen.

Tabelle 14: Versuchsparameter – 2. Versuchsreihe

	Strom- dichte	Strom	Ladungs- eintrag	Behandlungs- dauer	Durchfluss kont.	Durchfluss Kreislauf
	[mA/cm ²]	[A]	[Ah/l]	[min]	[l/h]	[l/h]
NaCl (P2)	100	4,2	0,3	4,71	14,00	50
NaCl (P3)	100	4,2	0,6	9,43	7,00	50
NaCl (P4)	100	4,2	0,9	14,14	4,67	50
NaHCO ₃ (P2)	100	4,2	0,3	4,71	14,00	50
NaHCO ₃ (P3)	100	4,2	0,6	9,43	7,00	50
NaHCO ₃ (P4)	100	4,2	0,9	14,14	4,67	50

Die Ergebnisse aller Versuche sind in Kapitel 7 dargestellt und erläutert.

7 Versuchsauswertung

7.1 Vorversuche

Die in Kapitel 6.1 beschriebenen Vorversuche wurden in tabellarischer und graphischer Form ausgewertet.

7.1.1 Bestimmung der Salzkonzentration für eine elektrische Leitfähigkeit von 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Die benötigten Salzkonzentrationen wurden sowohl für Natriumchlorid (NaCl) als auch für Natriumcarbonat (NaHCO_3) bestimmt.

Natriumchlorid:

Für den Versuch mit Natriumchlorid wurden 2,023 g des Salzes eingewogen. Die gemessenen Werte der elektrischen Leitfähigkeit in Abhängigkeit der Salzkonzentration sind in Tabelle 15 aufgelistet. Die Ergebnisse sind in graphischer Form in Abbildung 23 dargestellt.

Tabelle 15: Elektrische Leitfähigkeit einer NaCl -Lösung in Abhängigkeit der Salzkonzentration

Nr.	Masse (Rest) [g]	Konzentration NaCl in Lösung [g/L]	Elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
	2,023	0,000	4,55
1	1,438	0,585	1680
2	1,045	0,978	2371
3	0,714	1,309	3085
4	0,428	1,595	3659
5	0,007	2,016	4290

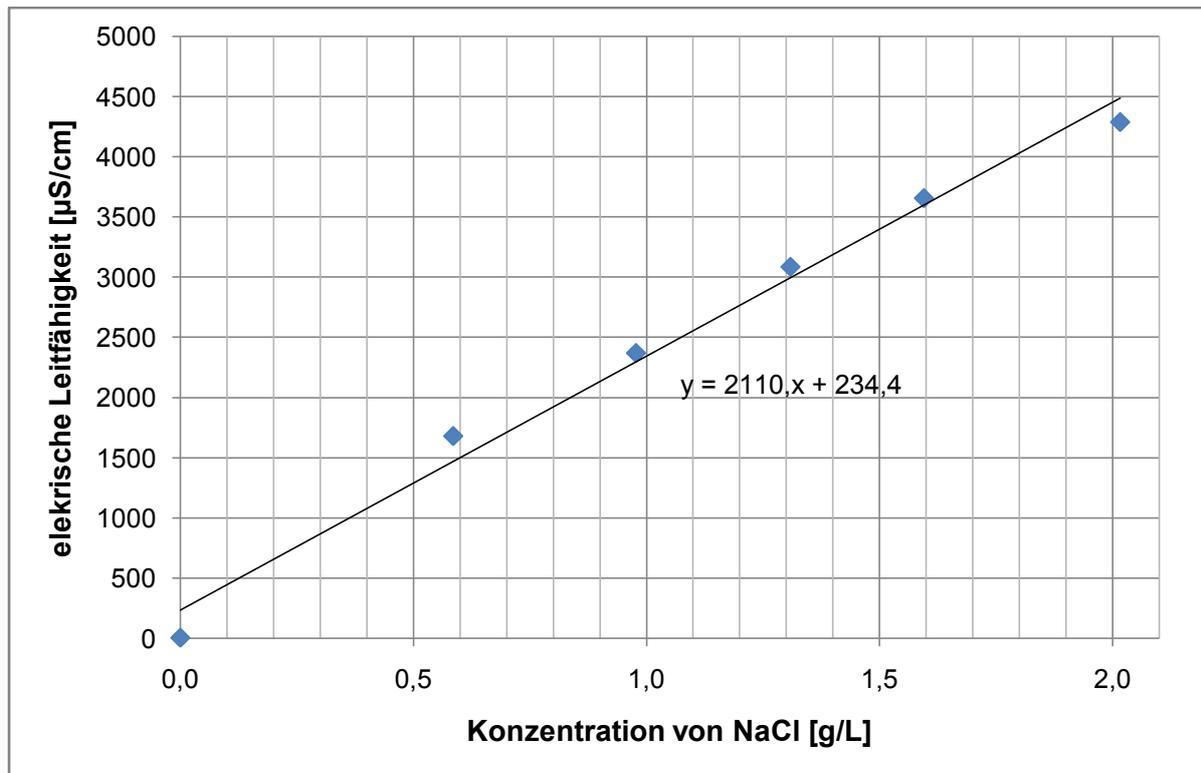


Abbildung 23: Elektrische Leitfähigkeit einer NaCl-Lösung in Abhängigkeit der Salzkonzentration

Aus dem Diagramm lässt sich erkennen, dass für eine elektrische Leitfähigkeit von 2000 µS/cm bei einer Temperatur von 25°C eine Natriumchlorid-Konzentration von ca. 0,85 g/L erforderlich ist.

Natriumcarbonat (wasserfrei):

Für den Versuch mit Natriumcarbonat wurden 3,114 g des Salzes eingewogen. Die gemessenen Werte der elektrischen Leitfähigkeit in Abhängigkeit der Salzkonzentration sind in Tabelle 16 aufgelistet. Die Ergebnisse sind in graphischer Form in Abbildung 24 dargestellt.

Tabelle 16: Elektrische Leitfähigkeit einer NaHCO₃-Lösung in Abhängigkeit der Salzkonzentration

Messung Nr.	Masse (Rest) [g]	Konzentration NaHCO ₃ in Lösung [g/L]	Elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]
1	2,735	0,379	771
2	2,221	0,893	1684
3	1,679	1,435	2580
4	1,076	2,038	3510
5	0,222	2,892	4760

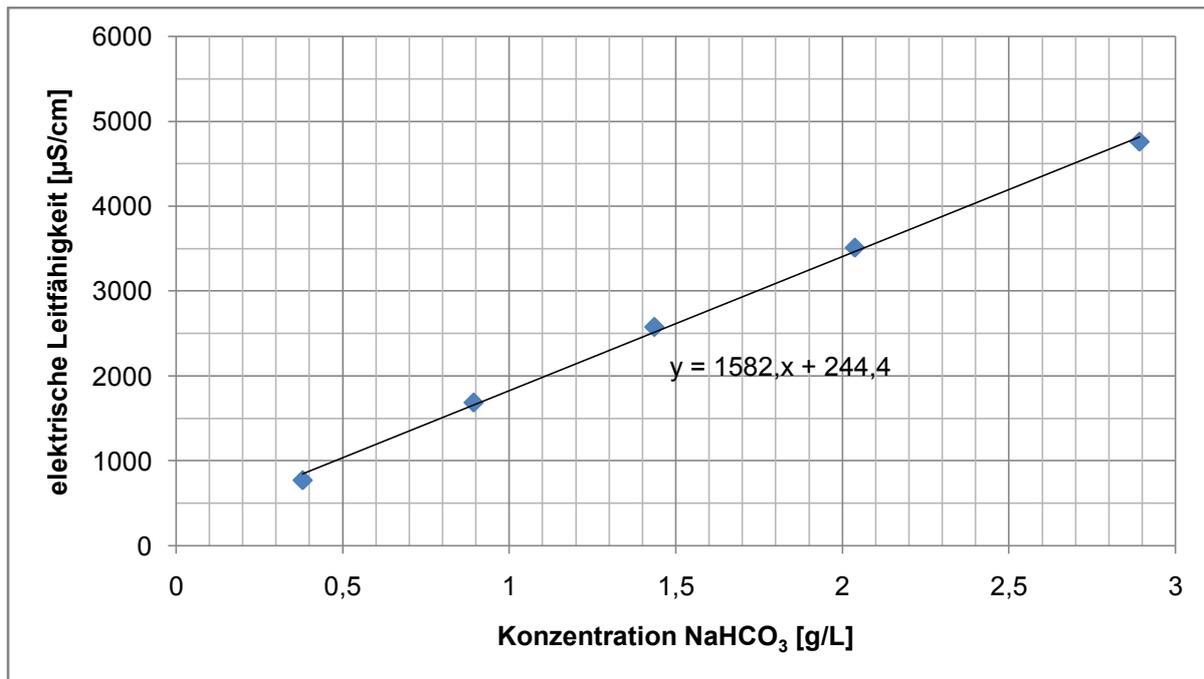


Abbildung 24: Elektrische Leitfähigkeit einer NaHCO₃-Lösung in Abhängigkeit der Salzkonzentration

Aus dem Diagramm lässt sich erkennen, dass für eine elektrische Leitfähigkeit von 2000 µS/cm bei einer Temperatur von 25°C eine Natriumhydrogencarbonat-Konzentration von ca. 1,1 g/L erforderlich ist.

7.1.2 Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit von Salzlösungen

Die Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit wurde für Lösungen von Natriumchlorid bzw. Natriumhydrogencarbonat in jeweils einem Liter destillierten Wassers bestimmt.

Natriumchlorid:

Für den Versuch mit Natriumchlorid wurde die elektrische Leitfähigkeit der Lösung bei 25°C auf ca. 2000 µS/cm eingestellt. Die gemessenen Werte der elektrischen Leitfähigkeit in Abhängigkeit der Temperatur sind in Tabelle 17 aufgelistet. Die Ergebnisse sind in graphischer Form in Abbildung 25 dargestellt.

Tabelle 17: Elektrische Leitfähigkeit einer NaCl-Lösung in Abhängigkeit der Temperatur

Soll-temperatur [°C]	Ist-temperatur [°C]	Elektrische Leitfähigkeit Gerät 1 [μS/cm]	Elektrische Leitfähigkeit Gerät 2 [μS/cm]
25	24,7	2020	1976
30	29,8	2150	1977
35	34,9	2460	1970
40	39,9	2680	1969
45	44,8	2960	1965
50	49,8	3250	1975
55	54,5	3480	1977

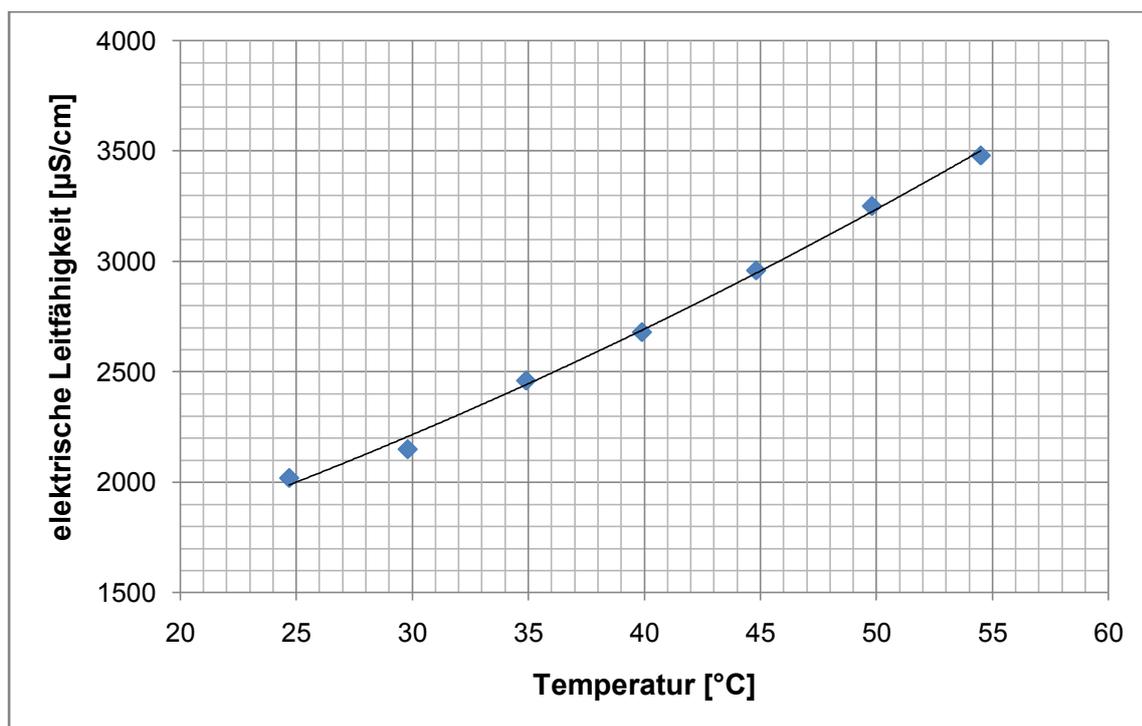


Abbildung 25: Leitfähigkeit einer NaCl-Lösung in Abhängigkeit der Temperatur

Wie in dem Diagramm zu sehen ist, steigt die Leitfähigkeit der Lösung mit der Temperatur erheblich an. Dies ist bei der Anodischen Oxidation von großem Vorteil, da sie bei erhöhter Leitfähigkeit einen besseren Wirkungsgrad erreicht.

Natriumhydrogencarbonat:

Für den Versuch mit Natriumhydrogencarbonat wurde die elektrische Leitfähigkeit der Lösung bei 25°C auf ca. 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ eingestellt. Die gemessenen Werte der elektrischen Leitfähigkeit in Abhängigkeit der Temperatur sind in Tabelle 18 aufgelistet. Die Ergebnisse sind in graphischer Form in Abbildung 26 dargestellt.

Tabelle 18: Elektrische Leitfähigkeit einer NaHCO_3 -Lösung in Abhängigkeit der Temperatur

Solltemperatur [°C]	Isttemperatur [°C]	Elektrische Leitfähigkeit Gerät 1* [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Elektrische Leitfähigkeit Gerät 2** [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
20	20,0	1830	2000
25	24,7	2020	2020
30	29,8	2210	2030
35	34,9	2530	2050
40	39,8	2790	2060
45	44,7	3130	2070
50	49,6	3420	2090
55	54,5	3740	2110

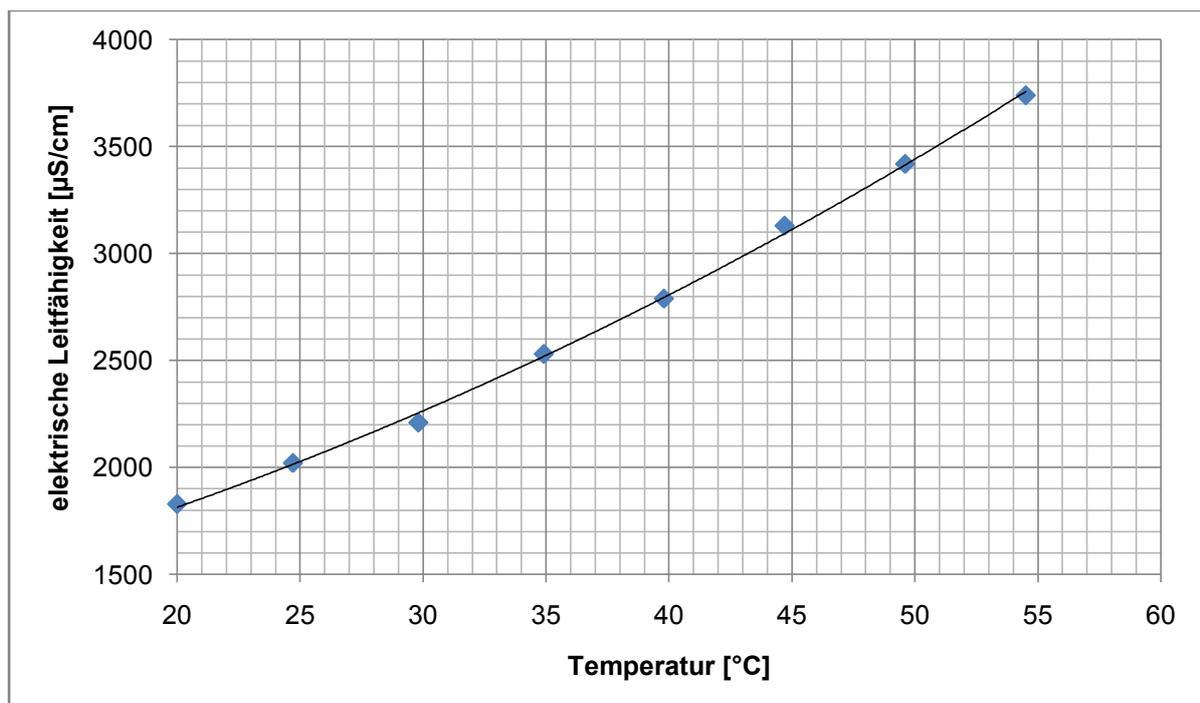


Abbildung 26: Elektrische Leitfähigkeit einer NaHCO_3 -Lösung in Abhängigkeit der Temperatur

Auch bei Natriumhydrogencarbonat ist ein erheblicher Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit feststellbar. Die erhöhte Leitfähigkeit bei höherer Temperatur ist für den Betrieb der Anodischen Oxidation von Vorteil und sogar erwünscht.

7.2 Erste Versuchsreihe

Die Analysen zur Bestimmung des Carbamazepingehalts wurden vom Labor für organische Analysen des Umweltbundesamtes durchgeführt. In der Ausgangsprobe wurden 10,31 µg/L Carbamazepin gemessen. Die Konzentrationen an Carbamazepin in den behandelten Proben sind in Tabelle 19 sowie graphisch in Abbildung 27 dargestellt.

Tabelle 19: Analysenergebnisse – 1. Versuchsreihe

Probe Nr.	Bemerkung	Carbamazepin-konz. [µg/L] (NaHCO ₃)	Abbau [%]	Ladungseintrag [Ah/L]
P0	Ausgangssprobe	10,31	0	0
P1	Nach Sterilisation	7,61	26,2	0
P2	Stromdichte 30 mA/cm ²	7,09	31,2	0,0126
P3	Stromdichte 50 mA/cm ²	7,17	30,5	0,0210
P4	Stromdichte 70 mA/cm ²	7,03	31,8	0,0294

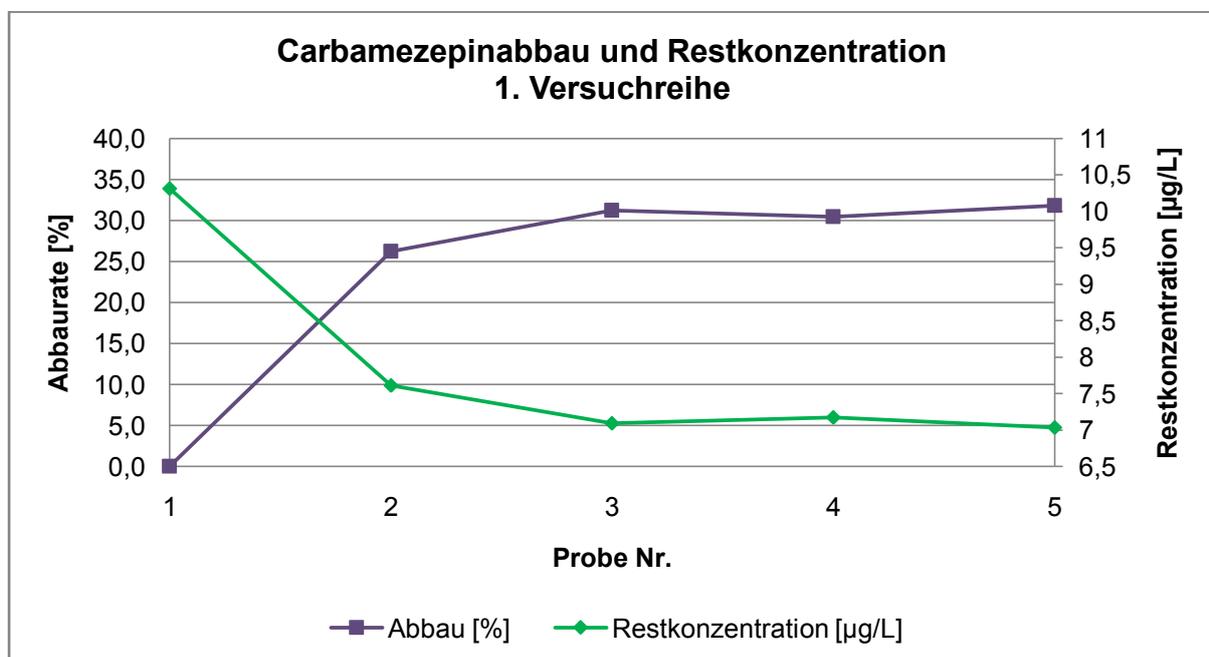


Abbildung 27: Carbamazepinabbau – erste Versuchsreihe

Der erreichte Carbamazepinabbau in der ersten Versuchsreihe lag bei ca. 30%. Der Grund für den schlechten Abbau liegt in einem zu geringen Ladungseintrag (ca. 10% des empfohlenen Ladungseintrags von 0,3 Ah/L). Zusätzlich dazu waren in der Ausgangsprobe noch ungelöste Anteile der Tablette als Flocken sichtbar. Es ist daher möglich, dass aufgrund der erhöhten Temperatur während und nach der Sterilisation zusätzliches Carbamazepin gelöst wurde. Dieses Problem wurde in der zweiten Versuchsreihe durch Abfiltrieren der Probe vor den Versuchen gelöst (siehe auch Kapitel 5.3.3).

Aufgrund dieser Feststellungen wurde eine zweite Versuchsreihe durchgeführt, bei welcher der Ladungseintrag und weitere Erkenntnisse berücksichtigt wurden.

7.3 Zweite Versuchsreihe

Nach den nicht zufriedenstellenden Ergebnissen der ersten Versuchsreihe wurden weitere Versuche mit veränderten Parametern durchgeführt. Die Analysen zur Bestimmung des Carbamazepingehalts wurden erneut vom Labor für organische Analysen des Umweltbundesamtes durchgeführt. In der Ausgangsprobe wurden 21 µg/L Carbamazepin gemessen. Die Konzentrationen an Carbamazepin in den behandelten Proben sind in Tabelle 20 dargestellt.

Tabelle 20: Analysenergebnisse – 2. Versuchsreihe

Probe Nr.	Bemerkung	Carbamazepin-konz. [µg/L] (NaCl)	Abbau [%]	Carbamazepin-konz. [µg/L] (NaHCO ₃)	Abbau [%]
P0	Ausgangsprobe	21	0	21	0
P1	Nach Sterilisation	21	0	19	9,5
P2	Ladungseintrag 0,3 Ah/L	1,4	93,3	1,5	92,9
P3	Ladungseintrag 0,6 Ah/L	0,086	99,6	0,22	99,0
P4	Ladungseintrag 0,9 Ah/L	0,16	99,2	0,045	99,8

Die Carbamazepin-Konzentration von P4 (NaCl) ist nicht in Ordnung, da während des Versuches ein kurzer Stromausfall aufgetreten ist und dadurch das System gestört wurde. Die Ergebnisse sind graphisch in Abbildung 28 dargestellt.

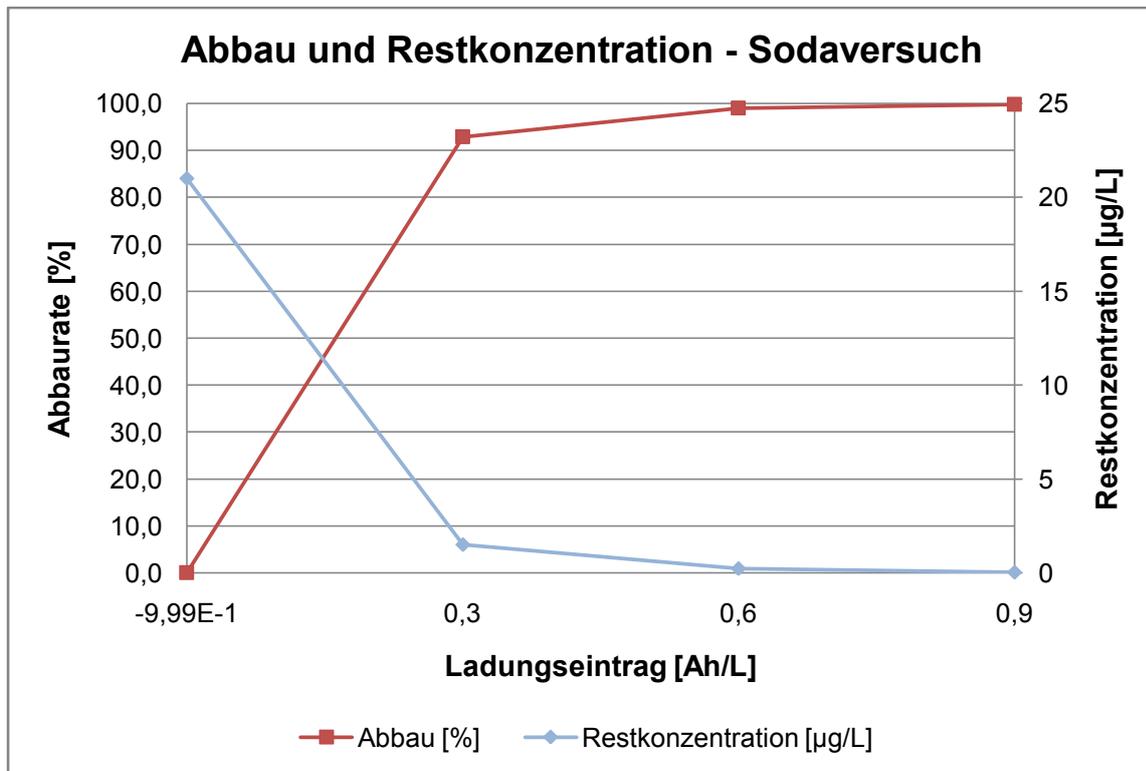


Abbildung 28: Carbamazepinabbau in Abhängigkeit des Ladungseintrags – zweite Versuchsreihe, Leitsubstanz NaHCO_3

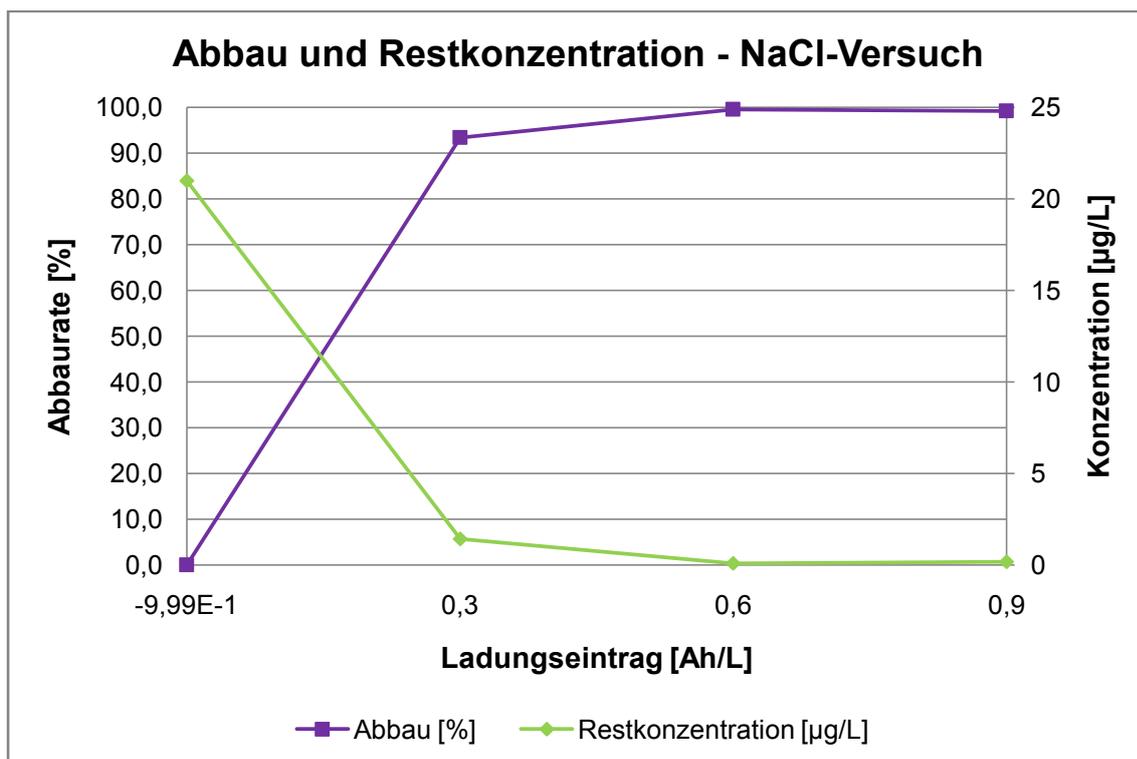


Abbildung 29: Carbamazepinabbau in Abhängigkeit des Ladungseintrags – zweite Versuchsreihe, Leitsubstanz NaCl

Es ist ersichtlich, dass bei einem Ladungseintrag von 0,3 Ah/L bereits ein Abbau von ca. 93% erreicht wird. Ein solcher Abbau ist für diese Aufgabenstellung vollkommen ausreichend. Den Ladungseintrag auf 0,6 bzw. 0,9 Ah/L zu erhöhen, ist also nicht notwendig.

Zusätzlich zur Bestimmung der Carbamezepinkonzentration durch das Umweltbundesamt wurden vom Labor des Instituts für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik die Indirektparameter CSB und TOC bestimmt. Die Parameter wurden jeweils für die Ausgangsprobe sowie für die Proben P2(NaHCO₃) und P2(NaCl) gemessen. Während der CSB in diesen Proben nicht messbar war, ergaben sich für den TOC folgende Werte (Tabelle 21):

Tabelle 21: Ergebnisse der TOC-Messung – zweite Versuchsreihe

Probe Nr.	TOC [mg/L]
P0	5,85
P2 (NaHCO ₃)	24,80
P2 (NaCl)	9,09

Der gesamte Prüfbericht ist im Anhang zu finden.

Diese Messungen zeigen, dass sich der TOC durch die Behandlung mittels Anodischer Oxidation verändert. Dadurch besteht die Möglichkeit, dass der TOC als Indirektparameter verwendet werden kann. Um einen schlüssigen Zusammenhang zwischen Abbaurate und TOC zu ermitteln, sind jedoch weitere Versuche notwendig.

8 Ergebnisse und Diskussion

Im folgenden Kapitel werden die Versuchsergebnisse einer genauen Betrachtung unterzogen, sowie die Wirtschaftlichkeit der Verfahrenskombination erläutert.

8.1 Abbauversuche

Ziel der Abbauversuche war es, die richtige Kombination von Parametern zu ermitteln, um einen ausreichenden Carbamazepinabbau (>90%) zu erzielen.

In den Vorversuchen wurden dazu die Salzkonzentrationen ermittelt, um die benötigte elektrische Leitfähigkeit von 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ zu erreichen. Dabei ergaben sich Salzkonzentrationen von ca. 1 g/L. Diese Salzmenge muss zudosiert werden, um die Funktionalität der Anodischen Oxidation zu gewährleisten. Nachdem die Versuchsergebnisse vorlagen, wurde für alle weiteren Versuche die Verwendung von Natriumchlorid für die Aufsalzung beschlossen.

In der ersten Versuchsreihe wurden verschiedene Stromdichten getestet. Es wurde untersucht, ob sich durch die Erhöhung der Stromdichte eine bessere Abbaurate erzielen lässt. Die verwendeten Stromstärken waren 30, 50 und 70 mA/cm^2 . Wie sich nach der Versuchsauswertung und –analyse herausstellte, wurde der Durchfluss für die Größe dieser Zelle jedoch zu hoch gewählt (100 L/h), sodass es zu einem viel zu geringen Ladungseintrag in die Probe kam. Dies führte dazu, dass sich keine ausreichende Menge an Oxidationsmitteln bilden konnte, was wiederum die geringe Abbaurate von nur 30% zur Folge hatte.

Aufgrund der in der ersten Versuchsreihe erhaltenen Erkenntnisse wurde eine zweite Versuchsreihe geplant, wobei der Parameter „Ladungseintrag pro Liter“ eingeführt wurde. Als Minimum für den Ladungseintrag wurde 0,3 Ah/L festgelegt. Um zu ermitteln, ob ein erhöhter Ladungseintrag zu einer signifikant höheren Abbaurate führt, wurden auch Proben bei einem Ladungseintrag von 0,6 bzw. 0,9 Ah/L genommen. Dafür wurde nicht die Stromdichte der Zelle erhöht, sondern die Behandlungsdauer derselben Probe verdoppelt bzw. verdreifacht.

Bereits bei einem Ladungseintrag von 0,3 Ah/L konnte ein Abbau von über 90% erzielt werden. Mit erhöhtem Ladungseintrag könnte der Abbau noch auf bis zu 99,8% gesteigert werden. Die Steigerung der Abbaurate in diesem Bereich ist jedoch nicht gefordert und steht in keinem wirtschaftlich sinnvollen Verhältnis zum erhöhten Energieverbrauch.

Wie bereits in Kapitel 5.2 beschrieben, wurden die Versuche mit einer Zellengröße (Anodische Oxidation) von 42 cm^2 und einer Stromdichte von 100 mA/cm^2 durchgeführt. Da die Anodische Oxidation jedoch für einen Durchfluss von 100 L/h ausgelegt werden soll, müssen Zellengröße und Stromdichte angepasst werden. Dabei muss der für den Abbau notwendige Ladungseintrag von 0,3 Ah/L jedoch derselbe bleiben. Dies ist durch eine Zellengröße von 150 cm^2 und eine Stromdichte von 87 mA/cm^2 erreicht werden. Diese Parameter führen zu einer Stromaufnahme von 13 A bei einer Spannung von ca. 100 V. Der

Abbau mit diesen angepassten Parametern und den entsprechenden Geräten muss wiederum durch Versuche bestätigt werden, welche jedoch nicht mehr Gegenstand dieser Arbeit sind.

Zudem wurde entschieden, dass für die zukünftigen Versuche sowie für den Einsatz in der Praxis das Salz Natriumchlorid eingesetzt werden soll. Natriumchlorid ist kostengünstig, einfach handhabbar und weltweit einfach erhältlich. Die Umweltauswirkungen des Chloreintrages in das Abwasser können aufgrund der sehr geringen Mengen vernachlässigt werden.

Die Versuche lassen erkennen, dass diese Verfahrenskombination eine wertvolle Methode für gleichzeitige Sterilisation und Chemikalienabbau von Abwässern aus dem medizinischen Bereich darstellt.

8.2 Wirtschaftliche Betrachtung

Laut Auskunft der Firma Proaqua hat die Zelle der Anodischen Oxidation mit einer Fläche von 150 cm² eine Leistungsaufnahme von 1,3 kW. Dies entspricht in etwa einem Drittel der für die Sterilisation mittels Medister 560-100 benötigten Leistung (4 kW).

Die Daten der Zelle für die Anodische Oxidation sind in Tabelle 22 ersichtlich.

Tabelle 22: Daten der Zelle der Anodischen Oxidation (150 cm²)

Aktive Elektrodenfläche	150 cm ²
Stromstärke	13 A
Spannung	100 V
Stromdichte	87 mA/cm ²
Durchfluss	100 L/h
Leistungsaufnahme	1,3 kW

Die Behandlung von 1 m³ Abwasser dauert bei einem Durchfluss von 100 L/h zehn Stunden. Dies ergibt für die Anodische Oxidation einen Energieverbrauch von 13 kWh, für die Sterilisation werden 40 kWh benötigt. Dies ergibt einen gesamten Energieverbrauch von 53 kWh für die Behandlung von 1 m³ Abwasser.

Legt man der Kostenrechnung einen durchschnittlichen Gesamtstrompreis (STEWEG-STEAG, Salzburg AG, EVN) von ca. 16 ct/kWh [43], [44], [45] zugrunde, ergeben sich Kosten von 8,48 € für die Behandlung von 1000 L Abwasser. Davon entfallen 6,40 € auf die Sterilisation sowie 2,08 € auf die Behandlung mittels Anodischer Oxidation.

Diese Kosten umfassen die Energiekosten sowie die Netzgebühren, Steuern und sonstigen Abgaben. Der Durchschnittspreis bezieht sich auf die Netto-Strompreise für Haushalte, die Strompreise für die Industrie können davon abweichen.

9 Zusammenfassung

In Österreich wird jährlich eine große Menge an Arzneimitteln verschrieben und verwendet. Diese Arzneimittel gelangen über Ausscheidung, Entsorgung etc. zum Teil unverändert in die Umwelt und wirken sich negativ auf diese aus. Die Firma Meteka hat es sich daher zum Ziel gesetzt, zusätzlich zur Entfernung der potentiell infektiösen Keime durch ihr bewährtes Sterilisationssystem auch die Arzneimittel und Chemikalien aus Abwässern aus dem medizinischen Bereich zu entfernen. Erreicht werden soll dies durch die Kombination des Sterilisationsgerätes mit der Anodischen Oxidation.

Für die Entwicklung eines neuen Verfahrens ist die aktuelle Gesetzeslage in diesem Bereich von großer Bedeutung. Die europäische Union und damit auch Österreich hat eine umfassende Umweltgesetzgebung, welche auch Abfälle und Abwässer aus dem medizinischen Bereich betrifft. Ausgehend von der Abfallrahmenrichtlinie und deren Verordnungen werden Sammlung, Lagerung, Transport, Behandlung und Entsorgung von Abfällen aus dem medizinischen Bereich sehr klar geregelt. In Österreich sind die wichtigsten Gesetze hierzu das Abfallwirtschaftsgesetz 2002 sowie seine Verordnungen, im Speziellen die Abwasseremissionsverordnung – Medizinischer Bereich. Trotz der starken Reglementierung in diesem Bereich, gibt es keine Grenzwerte für Arzneimittel im Abwasser. Dies ist jedoch auf europäischer Ebene bereits Gegenstand von Diskussionen. Daher ist die Entwicklung neuer Verfahren zur Entfernung von Arzneimitteln aus Abwässern eine Investition in die Zukunft.

Das Sterilisationssystem der Firma Meteka hat sich bereits im Einsatz z.B. in verschiedenen Krankenhäusern bewährt. Sterilisation bedeutet die möglichst vollständige Eliminierung aller Keime. Der Medister 560-100 ist ein Durchflussterilisationsgerät und arbeitet mit einer Temperatur von 140°C, welche 2 min gehalten werden muss, um die Sterilisationsanforderungen zu erfüllen. Dabei arbeitet der Medister in dem Wirkungsbereich ABCD. Dieses Gerät soll im Laufe dieses Projekt um die Anodische Oxidation zum Zwecke des Arzneimittel- und Chemikalienabbaus erweitert werden.

Die Anodische Oxidation ist ein elektrochemischer Oxidationsprozess. Dabei werden die benötigten Oxidationsmittel für den Abbau der Arzneimittel und Chemikalien direkt aus dem zu reinigenden Medium erzeugt. Die Zelle der Firma Proaqua arbeitet mit Bor-dotierten Diamantelektroden, die eine sehr hohe Überspannung erzeugen. Dies bietet gegenüber anderen Elektrodenarten den Vorteil, dass starke Oxidationsmittel wie Hydroxylradikale erzeugt werden. Für die Funktionalität der Anodischen Oxidation muss ein Minimum an elektrischer Leitfähigkeit vorhanden sein (ca. 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Da dies nicht in jedem Abwasser gewährleistet werden kann, ist eine Zudosierung von Salz notwendig. Dafür wurden im Laufe der Versuche zwei Salze getestet: Natriumchlorid und Natriumhydrogencarbonat.

Der Grund, eine Entwicklung in diese Richtung voranzutreiben, ist die große Menge an Abwässern (mehr als 300 L pro Tag und Spitalsbett) und Abfällen aus dem medizinischen Bereich und ihre Belastung durch verschiedenste Arzneimittel und Chemikalien. Aber auch durch falsche Entsorgung, Pharmaproduzenten, Landwirtschaft und Kläranlagen gelangen diese Substanzen in die Umwelt. Arzneimittel sind zwar nur in geringen Konzentrationen in

der Umwelt messbar ($\mu\text{g/L}$ -Bereich), ihre negativen Auswirkungen auf das Ökosystem sind jedoch mittlerweile erwiesen. Zu den am häufigsten detektierten Arzneimitteln gehören Carbamazepin, Diazepam, verschiedenen Antibiotika und Coffein. Carbamazepin wurde aus diesem Grund sowie aufgrund seiner Stabilität und Persistenz als Leitsubstanz für die Versuche ausgewählt.

Die Versuche dienen dem Zweck die Parameter für die Anodische Oxidation festzulegen und einzustellen sowie zur Ermittlung der erreichbaren Abbauraten von Carbamazepin (als Indikator für die möglichen Abbauraten für Arzneimittel im Allgemeinen). Zur Ermittlung der benötigten Salzkonzentration für die Einstellung der elektrischen Leitfähigkeit sowie für deren Abhängigkeit von der Temperatur wurden Vorversuche im Labor des IAE durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 23 zusammengefasst.

Tabelle 23: Zusammenfassung der Ergebnisse der Vorversuche

Salz	benötigte Salzkonzentration	Temperaturabhängigkeit der el. Leitfähigkeit
	g/L	%/°C
Natriumchlorid	0,85	2
Natriumhydrogencarbonat	1,1	2

Anschließend wurde die erste Versuchsreihe durchgeführt. Dafür wurde die Probe mittels Sterilisation und Anodischer Oxidation bei einem Durchfluss von 100 L/h behandelt, wobei die Stromdichte der Anodischen Oxidation als veränderlicher Parameter diente. Als Salz wurde Natriumhydrogencarbonat verwendet. Die Erkenntnis aus dieser Versuchsreihe war, dass der gewählte Durchfluss zu hoch war, um eine ausreichende Abbaurate zu erzielen. Daher wurde eine zweite Versuchsreihe durchgeführt und der Ladungseintrag als veränderlicher Parameter eingeführt. Der Ladungseintrag ist ein Maß für die in das Medium eingebrachte Energie. In der zweiten Versuchsreihe wurden sowohl Natriumchlorid als auch Natriumhydrogencarbonat zur Aufsalzung verwendet. Mit diesen neuen Einstellungen konnten Abbauraten von über 99% erreicht werden. Die Ergebnisse beider Versuchsreihen sind in Tabelle 24 zusammengefasst. Zum Vergleich wurde nachträglich auch für die erste Versuchsreihe der Ladungseintrag berechnet.

Da bereits mit 0,3 Ah/L ein Abbau von über 90 % erreicht wird, ist eine Steigerung auf 0,6 bzw. 0,9 Ah/L nicht notwendig und wirtschaftlich auch nicht sinnvoll. In Bezug auf die Wirtschaftlichkeit ist zu sagen, dass die Behandlung von 1 m³ Abwasser bei den derzeitigen Strompreisen (Privatkunden) ca. 8,48 € kosten würde.

Tabelle 24: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

1. Versuchsreihe (NaHCO ₃)			
Probe	Bemerkung	Restkonzentration [µg/L]	Abbau [%]
P0	Ausgangsprobe	10,31	0
P1	Nach Sterilisation	7,61	26,2
P2	LE: 0,0126 Ah/L	7,09	31,2
P3	LE: 0,0210 Ah/L	7,17	30,5
P4	LE: 0,0294 Ah/L	7,03	31,8
2. Versuchsreihe (NaCl)			
Probe	Bemerkung	Restkonzentration [µg/L]	Abbau [%]
P0	Ausgangsprobe	21	0
P1	Nach Sterilisation	21	0
P2	LE: 0,3 Ah/L	1,4	93,3
P3	LE: 0,6 Ah/L	0,086	99,6
P4	LE: 0,9 Ah/L	0,16	99,2
2. Versuchsreihe (NaHCO ₃)			
Probe	Bemerkung	Restkonzentration [µg/L]	Abbau [%]
P0	Ausgangsprobe	21	0
P1	Nach Sterilisation	19	9,5
P2	LE: 0,3 Ah/L	1,5	92,9
P3	LE: 0,6 Ah/L	0,22	99,0
P4	LE: 0,9 Ah/L	0,045	99,8

LE....Ladungseintrag

Die Versuche lassen erkennen, dass diese Verfahrenskombination eine wertvolle Methode für gleichzeitige Sterilisation und Chemikalienabbau von Abwässern aus dem medizinischen Bereich darstellt.

10 Verzeichnisse

10.1 Literatur

- [1] World Health Organization (Hrsg.): World health statistics 2011. 14-17.
- [2] Meteka GmbH (Hrsg.) : Meteka Training Guide – Einführung in das Abfallmanagement. Judenburg, 2010.
- [3] Schleip, Anselm: Proseminar zum Thema Chirurgie und Hygiene. Am: Institut für industrielle Anwendungen in der Informatik und Mikrosystemtechnik (IAIM). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (Hrsg.), 2002.
- [4] BGBl. Nr. 522/1973 idF BGBl. III Nr. 43/2011: Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR).
- [5] BGBl. Nr. 229/1993 idF BGBl. III Nr. 46/2010: Basler Übereinkommen über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung.
- [6] BGBl. III Nr.158/2004 idF BGBl. III Nr. 99/2009: Stockholmer Übereinkommen über Persistente Organische Schadstoffe.
- [7] Europäische Union: Richtlinie 2006/12/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Abfälle idF 2008/98/EG des Europäischen Parlaments in: Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 312/3 vom 22.11.2008.
- [8] Europäische Union: Verordnung Nr. 1013/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Juni 2006 über die Verbringung von Abfällen in: Amtsblatt der Europäischen Union Nr. 190/1 vom 12.07.2006.
- [9] Europäische Union: Entscheidung 2000/532/EG der Kommission vom 3. Mai 2000 zur Ersetzung der Entscheidung 94/3/EG über ein Abfallverzeichnis idF 2001/573/EG in: Amtsblatt der Europäischen Union L 203/18 vom 28.07.2001.
- [10] ÖNORM EN 12740: Biotechnik - Laboratorien für Forschung, Entwicklung und Analyse- Leitfaden für die Behandlung, Inaktivierung und Prüfung von Abfällen, Österreichisches Normungsinstitut, 1999.
- [11] ÖNORM EN 12128: Biotechnik – Laboratorien für Forschung, Entwicklung und Analyse – Sicherheitsstufen mikrobiologischer Laboratorien, Gefahrenbereich, Räumlichkeiten und technische Sicherheitsanforderungen, Österreichisches Normungsinstitut, 1998.
- [12] BGBl. I Nr. 102/2002 idF BGBl. I Nr. 9/2011: Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – AWG 2002).
- [13] BGBl. II Nr. 570/2003 idF BGBl. II Nr. 498/2008: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über ein Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnisverordnung).

- [14] BGBl. Nr. II 618/2003: Verordnung über die Nachweispflicht für Abfälle (Abfallnachweisverordnung).
- [15] BGBl. Nr. 215/1959 idF BGBl. I Nr. 14/2011: Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG 1959).
- [16] BGBl. II Nr. 268/2003: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus Krankenanstalten, Pflegeanstalten, Kuranstalten und Heilbädern (AEV Medizinischer Bereich).
- [17] BGBl. II Nr. 304/2001 idF BGBl. II Nr. 121/2007: Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TWV).
- [18] Hahn, Helmut (Hrsg.); Kaufmann, Stefan H.E. (Hrsg.): Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie. Heidelberg: Springer Medizin Verlag, 2005.
- [19] Meteka GmbH (Hrsg.): Meteka Training Guide – Mikrobiologie. Judenburg, 2010.
- [20] Flamm, Heinz; Rotter, Manfred (Hrsg.): Angewandte Hygiene in Krankenhaus und Arztpraxis. Wien: Mandrich, 1999.
- [21] Meteka GmbH (Hrsg.): Gerätebeschreibung Medister 510. Judenburg, 2010.
- [22] Meteka GmbH (Hrsg.): Gerätebeschreibung Medister 560-100. Judenburg, 2010.
- [23] Menapace, Hannes: Behandlungsverfahren für Arzneimittel und Industriechemikalien in Abwässern. Wien: Lebensministerium, 2009.
- [24] Proaqua GmbH: Allgemeine Technologiebeschreibung.
- [25] Poldlehner, Matthias: Behandlung von Reinigungsemulsionen mittels Diamantelektrodenzelle. Leoben: Montanuniversität Leoben, 2011. - Masterarbeit.
- [26] Proaqua GmbH: Testsystem 1 – Technische Beschreibung.
- [27] Buletti, Marco: Entsorgung von medizinischen Abfällen. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), 2004.
- [28] Treschnitzer, Martin: Abwasserbehandlung durch den Einsatz von Ozon. Leoben: Montanuniversität Leoben, 2010. - Masterarbeit.
- [29] Brandt, Öznur: Die Messmethode ist entscheidend – Induktive Leitfähigkeitsmessung in der Abwassertechnik. In: Werner M. (Hrsg.): wlb - Umwelttechnik für Industrie und Kommune. Mainz: Vereinigte Fachverlage GmbH, 2012.
- [30] BMLFUW (Hrsg.): Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich. – Statusbericht. Wien: BMLFUW (Hrsg.), 2009.
- [31] BMLFUW (Hrsg.): Bundes-Abfallwirtschaftsplan. Wien: BMLFUW (Hrsg.), 2011.
- [32] Steiermärkische Krankenanstaltengesellschaft m.b.H. (Hrsg.): Umweltbericht. Graz: KAGes (Hrsg.), 2006.

- [33] Universität Bremen – Institut für Verfahrenstechnik (Hrsg.): Wasser Wissen – Das Internetportal für Wasser und Abwasser. Online im WWW unter URL: <http://www.wasser-wissen.de/>. Stand: Juni 2012.
- [34] Hefler, Friedrich: Gesetzliche Begrenzung von Abwasseremissionen aus Krankenanstalten, Pflegeanstalten, Kuranstalten und Heilbädern; Wien: BMLFUW, 2003.
- [35] Hauptverband der österreichischen Sozialversicherungsträger (Hrsg.): Die österreichische Sozialversicherung in Zahlen; Wien: 2011.
- [36] TU Kaiserslautern - Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft (Hrsg.): Emissionen von gefährlichen Stoffen aus den Abwasserentsorgungssystemen vor dem Hintergrund der EG-WRRL. Kaiserslautern: 2006.
- [37] Schwaiger, Julia: Ökotoxikologische Auswirkungen von Arzneimitteln - Langzeitwirkungen bei Fischen. München: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft - Abteilung Gewässerökologische Forschung (Hrsg.), 2004.
- [38] Scharf, Sigrid, Gans, Oliver, Sattelberger, Robert: Arzneimittelwirkstoffe im Zu- und Ablauf von Kläranlagen; Wien: Umweltbundesamt GmbH (Hrsg.), 2002.
- [39] Schramm, Claudia; et.al.: Carbamazepin und Koffein – Potenzielle Screeningparameter für Verunreinigungen des Grundwassers durch kommunales Abwasser; Wien: Umweltbundesamt GmbH (Hrsg.), 2006.
- [40] Clara, Manfred; et.al.: Antibiotika im Grundwasser - Sondermessprogramm im Rahmen der Gewässerzustandsüberwachungsverordnung; Wien: BMFLUW, 2010.
- [41] Umweltbundesamt (Hrsg.): Fact Sheet Carbamazepin. Online im WWW unter URL: http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/gesundheit/fact_sheets/Fact_Sheet_Carbamazepin.pdf. Stand: 2012.
- [42] Fokuhl, Inga: Halogenorganische Verbindungen in Umweltkompartimenten: Untersuchung auf Zusammensetzung, Herkunft und Verbleib des AOX in Umweltwasserproben; Oldenburg: Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, 1999. – Dissertation.
- [43] STEWEAG-STEAG GmbH (Hrsg.) : Kundeninformation und Preisblatt Strom. Stand: 1.5.2012.
- [44] Salzburg AG (Hrsg.): Produktblatt Privat OK. Stand: Juni 2012.
- [45] EVN Energievertrieb GmbH & Co KG (Hrsg.) : Informations- und Preisblatt Privat Strom. Stand: Juni 2012.

10.2 Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
%	Prozent

€	Euro
AAEV	Allgemeine Abwasseremissionsverordnung
ADR	Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route
AEV	Abwasseremissionsverordnung
AIDS	Acquired Immune Deficiency Syndrome
Ah	Amperestunden
AOX	Adsorbierbare organische Halogenverbindungen
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
BSB	Biochemischer Sauerstoffbedarf
Ca.	Zirka
Cl-	Chloridion
cm	Zentimeter
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
ct	Cent
d.h.	das heißt
DANN	Desoxiribonucleinacid
EN	Europäische Norm
EU	Europäische Union
g	Gramm
h	Stunde
H ₂ O ₂	Wasserstoffperoxid
HIV	Humanes Immundefizienz-Virus
idF	in der Fassung
IEV	Indirekteinleitungsverordnung
KAGes	Steiermärkische Krankenanstaltengesellschaft
KbE	Koloniebildende Einheit
kg	Kilogramm
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
L	Liter
mg	Milligramm
min	Minute
mm	Millimeter
mS	Millisiemens
MVA	Müllverbrennungsanlage
µg	Mikrogramm
µS	Mikrosiemens
Na ⁺	Natriumion

NaCl	Natriumchlorid
NaHCO ₃	Natriumhydrogencarbonat
ng	Nanogramm
Nr.	Nummer
O ₃	Ozon
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
OH ⁻	Hydroxylradikal
POPs	persistant organic pollutants
S	Siemens
SN	Schlüsselnummer
t	Tonnen
TOC	total organic carbon
UV	ultraviolett
V	Volt
z.B.	zum Beispiel

10.3 Tabellen

Tabelle 1: Einteilung der gefährlichen Güter laut ADR.....	8
Tabelle 2: Auszug aus dem europäischen Abfallverzeichnis (Kapitel 18)	13
Tabelle 3: Ausgewählte Grenzwerte für die Abwässer aus dem medizinischen Bereich.....	19
Tabelle 4: Behandlungsverfahren für flüssige und feste medizinische Abfälle.....	21
Tabelle 5: Übersicht der Sterilisations- und Desinfektionsverfahren	22
Tabelle 6: Wirkungsbereiche von Sterilisations- und Desinfektionsverfahren	23
Tabelle 7: Resistenzstufen von Mikroorganismen gegen feuchte Hitze	24
Tabelle 8: Abfallaufkommen im medizinischen Bereich im Vergleich von 2008 zu 2009	33
Tabelle 9: Zahl der Heilmittelverordnungen und Heilmittelaufwand 2006 bis 2010	36
Tabelle 10: Vergleich von Arzneimittelkonzentration in Kläranlagenablauf und Krankenhausabwasser	39
Tabelle 11: Wirkstoffgruppen von Antibiotika	44
Tabelle 12: Konzentrationen von Carbamazepin in verschiedenen Gewässerarten.....	50
Tabelle 13: Versuchsparameter – 1. Versuchsreihe	59
Tabelle 14: Versuchsparameter – 2. Versuchsreihe	60
Tabelle 15: Elektrische Leitfähigkeit einer NaCl-Lösung in Abhängigkeit der Salzkonzentration	61

Tabelle 16: Elektrische Leitfähigkeit einer NaHCO ₃ -Lösung in Abhängigkeit der Salzkonzentration	62
Tabelle 17: Elektrische Leitfähigkeit einer NaCl-Lösung in Abhängigkeit der Temperatur	64
Tabelle 18: Elektrische Leitfähigkeit einer NaHCO ₃ -Lösung in Abhängigkeit der Temperatur	65
Tabelle 19: Analysenergebnisse – 1. Versuchsreihe	66
Tabelle 20: Analysenergebnisse – 2. Versuchsreihe	67
Tabelle 21: Ergebnisse der TOC-Messung – zweite Versuchsreihe	69
Tabelle 22: Daten der Zelle der Anodischen Oxidation (150 cm ²)	71
Tabelle 23: Zusammenfassung der Ergebnisse der Vorversuche	73
Tabelle 24: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	74

10.4 Abbildungen

Abbildung 1: Abfallhierarchie laut Abfallrahmenrichtlinie	11
Abbildung 2: MEDISTER 510 (links) und MEDISTER 560-100 (rechts) der Firma Meteka...	25
Abbildung 3: Schema der Anodischen Oxidation mittels Diamantelektrode.....	27
Abbildung 4: Einsatzbereich verschiedener Elektrodenarten.....	27
Abbildung 5: Stromdichte-Spannungsverlauf in Abhängigkeit der Leitfähigkeit	29
Abbildung 6: Wasserverbrauch in verschiedenen steirischen Krankenanstalten	34
Abbildung 7: Abhängigkeit des Medikamentenverbrauchs vom Lebensalter	37
Abbildung 8: Eintragspfade von Arzneimitteln in die Umwelt.....	38
Abbildung 9: Strukturformel von Diclofenac	40
Abbildung 10: Strukturformel von Diazepam	42
Abbildung 11: Strukturformel von Coffein	43
Abbildung 12: Strukturformel von Erythromycin und Clarithromycin.....	45
Abbildung 13: Strukturformel von Roxithromycin	46
Abbildung 14: Strukturformel von Sulfamethoxazo	46
Abbildung 15: Strukturformel von Trimethoprim	47
Abbildung 16: Strukturformel von Carbamazepin.....	48
Abbildung 17: Abbauwege von Carbamazepin im Körper	48
Abbildung 18: Löslichkeit von Carbamazepin in Abhängigkeit der Temperatur	53

Abbildung 19: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Salzkonzentration für eine Leitfähigkeit von 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	56
Abbildung 20: Versuchsaufbau zur Messung der Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit	57
Abbildung 21: Schematischer Versuchsaufbau	58
Abbildung 22: Bild des Versuchsaufbaus	58
Abbildung 23: Elektrische Leitfähigkeit einer NaCl-Lösung in Abhängigkeit der Salzkonzentration	62
Abbildung 24: Elektrische Leitfähigkeit einer NaHCO_3 -Lösung in Abhängigkeit der Salzkonzentration	63
Abbildung 25: Leitfähigkeit einer NaCl-Lösung in Abhängigkeit der Temperatur	64
Abbildung 26: Elektrische Leitfähigkeit einer NaHCO_3 -Lösung in Abhängigkeit der Temperatur	65
Abbildung 27: Carbamazepinabbau – erste Versuchsreihe	66
Abbildung 28: Carbamazepinabbau in Abhängigkeit des Ladungseintrags – zweite Versuchsreihe, Leitsubstanz NaHCO_3	68
Abbildung 29: Carbamazepinabbau in Abhängigkeit des Ladungseintrags – zweite Versuchsreihe, Leitsubstanz NaCl	68

Anhang A – Prüfberichte

Prüfbericht über Indirektparameter:



INSTITUT FÜR NACHHALTIGE ABFALLWIRTSCHAFT UND ENTSORGUNGSTECHNIK
 Montanuniversität Leoben
 Franz-Josef-Straße 18
 A-8700 Leoben

Prüfbericht

Probennummer: 0241-12-00 bis 0243-12-00
 Auftraggeber: Montanuniversität Leoben
 Inst. für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik
 Franz-Josef-Straße 18 8700 Leoben

Eingegangen von: DI Sarc
 Probeneingangsdatum: 02.05.2012
 Probenahme: durch Kundenn
 Probenkonservierung: -15°C
 Probenaufbereitung: keine
 Probenvorbereitung: keine
 Beurteilung nach: keine

Bemerkung:

Parameter	Kurzbezeichnung	BG	Norm	SOP
Chemischer Sauerstoffbedarf	CSB	16 mg/l	DIN 38408-41-1:1980	AA C&B

Analysen-					
Probennummer	Messwert	Einheit	datum	Kundenbezeichnung	Bemerkungen
0241-12-00	n.b.	mg O ₂ /l	11.05.2012	Meteka; 21.03.12	
0242-12-00	n.b.	mg O ₂ /l	11.05.2012	P2 - Soda - 0,3 Meteka; 21.03.12	
0243-12-00	n.b.	mg O ₂ /l	11.05.2012	P2 - NaCl - 0,3 Meteka; 21.03.12	

Parameter	Kurzbezeichnung	BG	Norm	SOP
Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff (Flüssigkeit)	TOC	1 mg/l	* DIN EN 1484 (H 3)	

Analysen-					
Probennummer	Messwert	Einheit	datum	Kundenbezeichnung	Bemerkungen
0241-12-00	5,85	mg/l	16.05.2012	Meteka; 21.03.12	
0242-12-00	24,8	mg/l	16.05.2012	P2 - Soda - 0,3 Meteka; 21.03.12	
0243-12-00	9,09	mg/l	16.05.2012	P2 - NaCl - 0,3 Meteka; 21.03.12	

Bemerkungen:

Univ.Prof.Dr.-Ing. Karl E. Lorber
 Laborleiter

Carina Tauterer
 Qualitätsleiter und Laborleiterstellvertreter

Der Prüfbericht darf ohne schriftliche Genehmigung des IAE nicht auszugswise vervielfältigt, weitergegeben oder veröffentlicht werden. Die im Prüfbericht angeführten Meßwerte beziehen sich ausschließlich auf das übergebene Prüfgut zum Zeitpunkt der Übergabe an das Labor, die Probenahme ist ausgeschlossen. Für mit * gekennzeichnete Analysen sind wir nicht akkreditiert.

16.05.2012

Seite 1 von 1

0241-12-00 bis 0243-12-00

Prüfbericht – 1. Versuchsreihe

PERSPEKTIVEN FÜR
UMWELT & GESELLSCHAFT **umweltbundesamt**^U

Umweltbundesamt GmbH
Prüfstelle für
Umwelt-, GVD- & Treibstoff-Analytik
Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich
Tel.: +43-(0)1-313 04
Fax: +43-(0)1-313 04/5222
analytik@umweltbundesamt.at
www.umweltbundesamt.at

Auftrag A 11834 – AVH-Nr. 1412

Analyse von Wasserproben auf Carbamazepin

Prüfbericht Nr. 1202/0135

Akkreditierte Prüfstelle Nr. 200 gemäß ÖVE/NÖNORM EN ISO/IEC 17025 durch Bescheid des BMWA vom 10.12.2001 GZ 2074/999-10/9/01
zuletzt geändert durch Bescheid vom 25.08.2011 GZ 818673-90.710/10442-112/2011
Firmenbuchgericht: Handelsgericht Wien; Firmenbuchnummer: FN 1870105; DVR 0492221
Bankverbindung: Raiffeisenlandesbank NÖ-Wien, RIBZ 50130, BLZ 32000, BIC-Code RLNWAT33, IBAN AT19 1000 0000 0000 0000 0000



1 AUFTRAGGEBER UND AUFTRAG

1.1 Auftraggeber

Meteka GmbH
Herr DI Günther Staber
Viktor-Kaplan-Str. 7
8750 Judenburg

1.2 Analysenauftrag

Angebot Nr. 201-42/12 vom 22.11.2011

Auftrag vom 25.01.2012, per Mail

Das Umweltbundesamt wurde mit der Analyse von Wasserproben auf Carbamazepin beauftragt.

2 BESCHREIBUNG DER PROBEN

2.1 Probenahme

Über die Probenahme ist dem Umweltbundesamt nichts Näheres bekannt.

2.2 Probeneingang

Labornummer	Probeneingang am	Art des Probeneinganges
1201 0504-1201 0508	20.01.2012	per Post

Prüfbericht Nr. 1202/0135 „Analyse von Wasserproben auf Carbamazepin“

Auftrag A 11634 – AVH-Nr. 1412

2.3 Bezeichnung und Beschreibung der Proben

Labornummer	Bezeichnung	Beschreibung	Menge / Gebinde
1201 0504	P0	synthetisches Abwasser	500 mL Kunststoff
1201 0505	P1 NS	synthetisches Abwasser	500 mL Kunststoff
1201 0506	P2 AO1	synthetisches Abwasser	500 mL Kunststoff
1201 0507	P3 AO2	synthetisches Abwasser	500 mL Kunststoff
1201 0508	P4 AO3	synthetisches Abwasser	500 mL Kunststoff

3 ANALYSEN UND ANALYSENERGEBNISSE

3.1 Analysenzeitraum

Parameter	Analysenzeitraum	
	von	bis
Carbamazepin	07.02.2012	10.02.2012

3.2 Prüfverfahren

Kurzbezeichnung	Beschreibung
Carbamazepin	Zugabe von Surrogatstandards Direktinjektion der Wasserprobe Bestimmung mittels Flüssigchromatographie-Tandemmassenspektrometrie (LC-MS/MS)

Prüfbericht Nr. 1202/0135 „Analyse von Wasserproben auf Carbamazepin“

Auftrag A 11634 – AVH-Nr. 1412

3.3 Analysenergebnisse

Die Analysenergebnisse auf den folgenden Seiten beziehen sich ausschließlich auf die in Punkt 2.3 angegebenen Proben.

Labornummer: 1201 0504

Bezeichnung: P0

Parameter	Einheit	Wert	BG	NG
Carbamazepin	µg/l	10	0,020	0,010

Labornummer: 1201 0505

Bezeichnung: P1 NS

Parameter	Einheit	Wert	BG	NG
Carbamazepin	µg/l	7,6	0,020	0,010

Labornummer: 1201 0506

Bezeichnung: P2 AO1

Parameter	Einheit	Wert	BG	NG
Carbamazepin	µg/l	7,1	0,020	0,010

Labornummer: 1201 0507

Bezeichnung: P3 AO2

Parameter	Einheit	Wert	BG	NG
Carbamazepin	µg/l	7,2	0,020	0,010

Prüfbericht Nr. 1202/0135 „Analyse von Wasserproben auf Carbamazepin“

Auftrag A 11634 – AVH-Nr. 1412

Labornummer: 1201 0508

Bezeichnung: P4 AO3

Parameter	Einheit	Wert	BG	NG
Carbamazepin	µg/l	7,0	0,020	0,010

BG Bestimmungsgrenze

NG Nachweisgrenze

n.n. nicht nachweisbar

Datum

für den Inhalt verantwortlich

14. Februar 2012



Dr. Stefan Weiß
Leiter der Arbeitsgruppe LC-MS/MS

Die auszugsweise Vervielfältigung dieses Prüfberichtes ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Prüflabors erlaubt.

Prüfbericht – 2. Versuchsreihe

PERSPEKTIVEN FÜR **umweltbundesamt**^U
UMWELT & GESELLSCHAFT

Umweltbundesamt GmbH
Prüfstelle für
Umwelt-, GVO- & Treibstoff-Analytik
Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04
Fax: +43-(0)1-313 04/5222

analytik@umweltbundesamt.at
www.umweltbundesamt.at

Auftrag A 11634 – AVH-Nr. 1412

Analyse von Wasserproben auf Carbamazepin

Prüfbericht Nr. 1204/0304

Akkreditierte Prüfstelle Nr. 200 gemäß ÖVE/NORM EN ISO/IEC 17025 durch Bescheid des BMWA vom 10.11.2009 GZ 9076/999-1/1/01
zuletzt geändert durch Bescheid vom 23.08.2011 GZ BMWA/3-02-314/10440-1/12/2011
Firmenbuchgericht: Handelsgericht Wien; Firmenbuchnummer: FN 187010z; DVR 0450221
Bankverbindung: Raiffeisenlandesbank NÖ-Wien, Kto. 503.913.812 31.000, BIC-Code: RLNW AT 3300, IBAN AT31 0000 0000 0030 3902



1 AUFTRAGGEBER UND AUFTRAG

1.1 Auftraggeber

Meteka GmbH
Herr DI Günther Staber
Viktor-Kaplan-Str. 7
8750 Judenburg

1.2 Analysenauftrag

Angebot vom 25.11.2011
Auftrag vom 25.01.2012, per Mail
Das Umweltbundesamt wurde mit der Analyse von Wasserproben auf Carbamazepin beauftragt.

2 BESCHREIBUNG DER PROBEN

2.1 Probenahme

Über die Probenahme ist dem Umweltbundesamt nichts Näheres bekannt.

2.2 Probeneingang

Labornummer	Probeneingang am	Art des Probeneinganges
1203 1609-1203 1617	22.03.2012	per Post

Prüfbericht Nr. 1204/0304 „Analyse von Wasserproben auf Carbamazepin“

Auftrag A 11634 – AVH-Nr. 1412

2.3 Bezeichnung und Beschreibung der Proben

Labornummer	Bezeichnung	Beschreibung	Menge / Gebinde
1203 1609	P0 21/3/12 Me- teka	klar, farblos	250mL Kunststoff
1203 1610	P1-Soda-NS 21/3/12 Meteka	klar, farblos	250mL Kunststoff
1203 1611	P1-NaCl-NS 21/3/12 Meteka	klar, farblos	250mL Kunststoff
1203 1612	P2-Soda-0,3 21/3/12 Meteka	klar, farblos	250mL Kunststoff
1203 1613	P2-NaCl-0,3 21/3/12 Meteka	klar, farblos	250mL Kunststoff
1203 1614	P3-Soda-0,6 21/3/12 Meteka	klar, farblos	250mL Kunststoff
1203 1615	P3-NaCl-0,6 21/3/12 Meteka	klar, farblos	250mL Kunststoff
1203 1616	P4-Soda-0,9 21/3/12 Meteka	klar, farblos	250mL Kunststoff
1203 1617	P4-NaCl-0,9 21/3/12 Meteka	klar, farblos	250mL Kunststoff

Prüfbericht Nr. 1204/0304 „Analyse von Wasserproben auf Carbamazepin“

Auftrag A 11634 – AVH-Nr. 1412

3 ANALYSEN UND ANALYSENERGEBNISSE

3.1 Analysenzeitraum

Parameter	Analysenzeitraum	
	von	bis
Carbamazepin	03.04.2012	12.04.2012

3.2 Prüfverfahren

Kurzbezeichnung	Beschreibung
Carbamazepin	Zugabe von Surrogatstandards Direktinjektion der Wasserprobe Bestimmung mittels Flüssigchromatographie- Tandemmassenspektrometrie (LC-MS/MS)

3.3 Analysenergebnisse

Die Analysenergebnisse auf den folgenden Seiten beziehen sich ausschließlich auf die in Punkt 2.3 angegebenen Proben.

Labornummer: 1203 1609

Bezeichnung: P0 21/3/12 Meteka

Parameter	Einheit	Wert	BG	NG
Carbamazepin	µg/l	21	0,020	0,010

Labornummer: 1203 1610

Bezeichnung: P1-Soda-NS 21/3/12 Meteka

Parameter	Einheit	Wert	BG	NG
Carbamazepin	µg/l	19	0,020	0,010

Prüfbericht Nr. 1204/0304 „Analyse von Wasserproben auf Carbamazepin“

Auftrag A 11634 – AVH-Nr. 1412

Labornummer: 1203 1611

Bezeichnung: P1-NaCl-NS 21/3/12 Meteka

Parameter	Einheit	Wert	BG	NG
Carbamazepin	µg/l	21	0,020	0,010

Labornummer: 1203 1612

Bezeichnung: P2-Soda-0,3 21/3/12 Meteka

Parameter	Einheit	Wert	BG	NG
Carbamazepin	µg/l	1,5	0,020	0,010

Labornummer: 1203 1613

Bezeichnung: P2-NaCl-0,3 21/3/12 Meteka

Parameter	Einheit	Wert	BG	NG
Carbamazepin	µg/l	1,4	0,020	0,010

Labornummer: 1203 1614

Bezeichnung: P3-Soda-0,6 21/3/12 Meteka

Parameter	Einheit	Wert	BG	NG
Carbamazepin	µg/l	0,22	0,020	0,010

Labornummer: 1203 1615

Bezeichnung: P3-NaCl-0,6 21/3/12 Meteka

Parameter	Einheit	Wert	BG	NG
Carbamazepin	µg/l	0,086	0,020	0,010

Prüfbericht Nr. 1204/0304 „Analyse von Wasserproben auf Carbamazepin“

Auftrag A 11634 – AVH-Nr. 1412

Labornummer: 1203 1616

Bezeichnung: P4-Soda-0,9 21/3/12 Meteka

Parameter	Einheit	Wert	BG	NG
Carbamazepin	µg/l	0,045	0,020	0,010

Labornummer: 1203 1617

Bezeichnung: P4-NaCl-0,9 21/3/12 Meteka

Parameter	Einheit	Wert	BG	NG
Carbamazepin	µg/l	0,16	0,020	0,010

BG Bestimmungsgrenze

NG Nachweisgrenze

n.n. nicht nachweisbar

Datum

für den Inhalt verantwortlich

13. April 2012



Dr. Stefan Weiß

Leiter der Arbeitsgruppe emerging pollutants

Die auszugsweise Vervielfältigung dieses Prüfberichtes ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Prüflabors erlaubt.

Anhang B – Bilder der Versuche



Abbildung I: Probenvorbereitung



Abbildung II: Geräteeinstellungen (Netzgerät und Umpoleinheit)



Abbildung III: Messgeräte für die Messung der elektrischen Leitfähigkeit



Abbildung IV: Messung der elektrischen Leitfähigkeit



Abbildung V: Zelle der Anodischen Oxidation



Abbildung VI: Netzgerät und Pumpe



Abbildung VII: Probenahme