



Markus Johannes SCHIRNHOFER, BSc

Desinfektion von Trinkwasserleitungen durch UV-C Bestrahlung

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Bauingenieurwissenschaften - Infrastruktur

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer:

Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Günter GRUBER

Mitbetreuende Assistentin:

Dipl.-Ing. Bettina NEUNTEUFEL, BSc

Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau

Graz, April 2023

Danksagung

Mein Dank gebührt jenen Menschen, die mich während meiner gesamten Ausbildungszeit unterstützt und gefördert haben.

Besonders möchte ich mich bei meiner Familie für die jahrelange Unterstützung während des Studiums bedanken. Des Weiteren gilt mein Dank meinen Freunden und Studienkollegen.

Ich möchte mich beim Erfinder von L.E.S.S. Herrn Manfred MOCK sowie bei seinem Unternehmen MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH, insbesondere bei Frau Michaela MOCK und Herrn DI Peter SCHLAGBAUER, für ihr Vertrauen bedanken, dass ich ihre neuartige Technologie im Rahmen meiner Masterarbeit an der TU Graz untersuchen durfte. Die daraus entstandenen Erfahrungen und Erkenntnisse sind auf weiterem Wege sehr wertvoll.

Ein besonderer Dank gilt Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Günter GRUBER und Dipl.-Ing. Bettina NEUNTEUFEL für die Betreuung der Masterarbeit und die fachliche Unterstützung bei der Durchführung der Versuchsreihen.

Ein weiterer Dank ergeht an Herrn Wolfgang VOGL für die Unterstützung während der ColiMinder-Untersuchungen sowie an das Wasserlaborteam der Holding Graz Wasserwirtschaft für die Unterstützung bei den Laboranalysen und den Versuchen.

Weiters möchte ich mich bei der TDC ZT-GmbH für die berufliche Unterstützung während meiner Studienzeit bedanken. Herr Baurat h.c. DDipl.-Ing. Dieter DEPISCH, DI Martin WEINHANDL und DI Philipp HARING konnten mir bereits während des Studiums erste praktische Erfahrungen zuteilwerden lassen.

Kurzfassung

Wasserversorger sind in der Pflicht, die vorgegebenen Grenzwerte für Trinkwasser nach der Trinkwasserverordnung (TWV, i. d. g. F.) einzuhalten. Können die qualitativen Anforderungen an das Trinkwasser nicht eingehalten werden, sind Aufbereitungs- und Desinfektionsmaßnahmen durchzuführen. Im Falle einer Verkeimung von mikrobiologisch relevanten Bakterien in Rohrleitungen sind aufwendige Desinfektionsverfahren bzw. Sanierungsverfahren notwendig.

Diese Arbeit handelt von einem neuartigen Desinfektionsverfahren mit der Kurzbezeichnung L.E.S.S. (Light-Erase-Spraying-System), welches mit UV-C-Strahlung Trinkwasserrohrleitungen in einem nicht befüllten Zustand in-situ desinfizieren kann. Das Ziel der Arbeit ist der Nachweis der Wirksamkeit der UV-C-Desinfektion in verkeimten Trinkwasserrohrleitungen und die Überprüfung der praktischen Anwendbarkeit des patentierten Verfahrens.

Im Rahmen dieser Masterarbeit werden zunächst die Desinfektionsmethoden nach dem Stand der Technik und deren gesetzliche Rahmendbedingungen zusammengefasst. Die Untersuchungsmethoden für die Nachweisführung wurden mit den Standardverfahren zur Bestimmung der mikrobiologischen Parameter gemäß der österreichischen Trinkwasserverordnung (TWV, i. d. g. F.) und einem Online-Bestimmungsverfahren zur Bestimmung der Gesamtzymaktivität von Mikroorganismen durchgeführt.

Die im Rahmen der Masterarbeit durchgeführten Versuchsreihen umfasste insgesamt acht Versuche mit unterschiedlichen Versuchsdurchführungen und Versuchsaufbauten. Davon wurden fünf Versuche mit stagnierenden Wässern, ein Versuch mit Dauerdurchleitung sowie ein Versuch mit geänderter Nachweisführung durchgeführt. Weiters konnte auch ein Feldversuch unter realen Bedingungen am Betriebsgelände einer Wäscherei durchgeführt werden.

Die praktische Anwendbarkeit des Verfahrens in Trinkwasserleitungen konnte mit dem durchgeführten Feldversuch eindrucksvoll bestätigt werden. Ein eindeutiger Nachweis der Wirksamkeit des UV-Desinfektionsverfahrens konnte allerdings nur im letzten der durchgeführten Versuche an einer über längere Zeit im Betrieb befindlichen, verkeimten Trinkwasserleitung nachgewiesen werden.

Noch umfassendere Untersuchungen im Felde unter realen Betriebsbedingungen konnten im Rahmen dieser Arbeit leider jahreszeitlich bedingt nicht mehr durchgeführt werden, sollten aber an verkeimten Leitungsabschnitten unbedingt noch nachgeholt werden.

Schlüsselwörter:

Trinkwasserversorgung, Trinkwasserleitungen, UV-C Strahlung, Trinkwasserdesinfektion, Rohrleitungsdesinfektion

Abstract

Water suppliers are responsible for complying with the specified limit values for drinking water according to the Austrian Drinking Water Guideline (TWV, i. d. g. F.). If the qualitative requirements for drinking water cannot be complied, purification and disinfection procedures must be implemented. In the case of microbiologically relevant bacteria in pipelines, elaborate disinfection or sanitation procedures are necessary.

This master thesis deals with a novel disinfection process with the abbreviation L.E.S.S. (Light Erasure Spraying System), which can disinfect drinking water pipelines in-situ in an unfilled state using UV-C radiation. The aim of the thesis is to prove the effectiveness of UV-C disinfection in contaminated drinking water pipelines and to verify the practical applicability of the patented process.

Within the scope of this master thesis, the disinfection methods according to the state of the art and their legal framework conditions are first summarised. The test methods for detection were carried out using the standard procedures for determining microbiological parameters according to the Austrian Drinking Water Guideline (TWV, i. d. g. F.) and an online determination procedure for determining the total enzyme activity of microorganisms.

The series of tests carried out as part of the master's thesis comprised a total of eight tests with different test designs and test set-ups. Of these, five experiments were carried out with stagnant water, one experiment with continuous flow and one experiment with a modified test procedure. Furthermore, a field test was carried out under real conditions on the premises of a laundry.

The practical applicability of the process in drinking water pipes was impressively confirmed in the field test. However, clear proof of the effectiveness of the UV disinfection process could only be provided in the last of the tests carried out on a drinking water pipe that had been in operation for a long time and was contaminated.

Unfortunately, due to the season, more comprehensive field tests under real operating conditions could not be carried out within the scope of this work, but should definitely be carried out on contaminated pipe sections.

Keywords:

water supply, drinking water pipeline, pipeline disinfection, UV-C radiation, UV disinfection

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	2
1.2	Zielsetzung	3
2	Allgemeine Grundlagen	4
2.1	Trinkwasser in Österreich	4
2.2	Trinkwasserverordnung	6
2.2.1	Mikrobiologische Anforderungen an Trinkwasser	7
2.2.2	Chemische Anforderungen an Trinkwasser	10
2.2.3	Parameter (Grenzwerte)	11
2.2.4	Indikatorparameter	12
2.2.5	Untersuchungsmethoden für die Analyse der Parameter nach dem Stand der Technik	14
2.2.6	On-line-Untersuchungsmethode für die Analyse von ausgewählten mikrobiologischen Parametern mit dem ColiMinder	15
2.3	Trinkwasseraufbereitung	20
2.3.1	Aufbereitungsverfahren in Österreich	20
2.3.2	Mikrobiologische Aufbereitung von Trinkwasser	20
2.3.3	Physikalische und chemische Aufbereitungsverfahren	23
2.4	Hygiene in Trinkwasseranlagen	25
2.4.1	Mikroorganismen und Aufbau des Biofilmes	26
2.4.2	Störungen des Biofilmes	28
2.4.3	Stabilisierung eines Biofilmes und Stagnation in Rohrleitungen	29
2.5	Maßnahmen für Rohrleitungssysteme bei mikrobiologischer Beeinträchtigung	30
2.5.1	Inbetriebnahme neuer bzw. sanierter Rohrleitungsabschnitte	31
2.5.2	Schonender Wasseraustausch	32
2.5.3	Spülvorgang	32
2.5.4	Dauerausleitung	32
2.5.5	Einsatz von Desinfektionsmaßnahmen in Rohrleitungen	33

2.5.6	Umweltaspekte der Maßnahmen für Trinkwasserrohrleitungen mit mikrobiologischer Beeinträchtigung.....	34
3	Desinfektionsverfahren mit L.E.S.S.	36
3.1	Fahrzeugaufbau	36
3.2	Grundkomponenten	37
3.3	Energieversorgung.....	38
3.4	Wirkungsweisen	38
3.4.1	UV-C Strahlung	38
3.4.2	Zerstäubung mittels Desinfektionsmittel.....	40
3.4.3	Vernebelung mit CO ₂ -Gas	40
3.5	Verfahrensdurchführung	41
3.5.1	Vorbereitungen in der Rohrleitung.....	41
3.5.2	Desinfektion der Rohrleitung.....	43
3.5.3	Abschluss der Verfahrensschritte	44
4	Erste Versuchsreihen – Eigenversuche des Erfinders Manfred MOCK	45
4.1	Beschreibung des Versuchsaufbaues	45
4.2	Beschreibung der Methodik	47
4.2.1	Beimpfung der Rohrleitungen mit verkeimten Wässern ...	47
4.2.2	Keimwachstum	47
4.2.3	Rohrdesinfektion mit L.E.S.S.	47
4.2.4	Wirksamkeitsnachweis	48
4.3	Ergebnisse der Erstversuche.....	48
5	Versuchsanordnung in Hartl.....	49
5.1	Grundlagen.....	49
5.2	Zu- und Ableitungssituation	51
5.3	Allgemeine Vorgangsweise bei den Versuchen.....	53
5.4	Durchführung der mikrobiologischen Wasseruntersuchungen	53
6	Versuchsdurchführungen mit L.E.S.S.	54
6.1	Versuch 1 – Erster L.E.S.S.-Versuch L1 bis L4	56
6.1.1	Motivation und Ziel des Versuches.....	56
6.1.2	Versuchsaufbau, Beschreibung der Testumgebung	56

6.1.3	Versuchsdurchführung und Ergebnisse.....	57
6.1.4	Zusammenfassung der Ergebnisse der Versuchsreihe 1 .	78
6.2	Versuch 2 – Zweiter LESS Versuch L3 & L4	79
6.2.1	Motivation und Ziel des Versuches	80
6.2.2	Versuchsaufbau und Beschreibung der Testumgebung ...	80
6.2.3	Versuchsdurchführung und Ergebnisse.....	80
6.2.4	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse aus dem Versuch 2.....	87
6.3	Versuch 3 – Beprobung Behälter 1.....	87
6.3.1	Motivation und Ziel des Versuches	87
6.3.2	Versuchsaufbau, Beschreibung der Testumgebung	88
6.3.3	Versuchsdurchführung und Ergebnisse.....	89
6.3.4	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	90
6.4	Versuch 4 – Langzeitversuch L1 & L2.....	90
6.4.1	Motivation und Ziel des Versuches	90
6.4.2	Versuchsaufbau, Beschreibung der Testumgebung	91
6.4.3	Versuchsdurchführung und Ergebnisse.....	91
6.4.4	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	94
6.5	Versuch 5 – Dritter LESS Versuch L1	95
6.5.1	Motivation und Ziel des Versuches	95
6.5.2	Versuchsaufbau, Beschreibung der Testumgebung	95
6.5.3	Versuchsdurchführung und Ergebnisse.....	96
6.5.4	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	101
6.6	Versuch 6 – Betriebssimulation L1 & L2	101
6.6.1	Motivation und Ziel des Versuches	101
6.6.2	Versuchsaufbau und Beschreibung der Testumgebung .	102
6.6.3	Versuchsdurchführung und Ergebnisse.....	104
6.6.4	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	107
6.7	Versuch 7 – Feldversuch	108
6.7.1	Motivation und Ziel des Versuches	108
6.7.2	Versuchsaufbau, Beschreibung der Testumgebung	109
6.7.3	Versuchsdurchführung und Ergebnisse.....	110

6.7.4	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse des Feldversuches.....	118
6.8	Versuch 8 – Biofilm-Inaktivierung an einer verkeimten Trinkwasserleitung	119
6.8.1	Motivation und Ziel des Versuches	119
6.8.2	Versuchsaufbau, Beschreibung der Testumgebung	120
6.8.3	Versuchsdurchführung und Ergebnisse	121
6.8.4	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	127
7	Zusammenfassung und Ausblick	128
7.1	Nachweis der Wirksamkeit des L.E.S.S.-Verfahrens zur Desinfektion von kontaminierten Wasserleitungen	128
7.2	Nachweis der praktischen Anwendbarkeit des L.E.S.S.-Verfahrens in kontaminierten Wasserleitungen	131
7.3	Weiterführende Untersuchungen.....	131
	Literaturverzeichnis	132

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Herkunft des Trinkwassers im Ländervergleich (ÖVGW, 2023).	4
Abbildung 2-2:	Wassernutzung in Österreich, Auszug aus der Wasserschätzstudie 2021 (ÖVGW, 2023).	5
Abbildung 2-3:	Aufbereitung des Trinkwassers in Österreich (ÖVGW, 2023).	5
Abbildung 2-4:	E. coli Reinkultur auf Lactose-TTC-Agar (nach DIN EN ISO 9308-1) (Feuerpfeil & Botzenhart, 2008).	8
Abbildung 2-5:	Enterokokken auf Galle-Äsculin-Agar (Feuerpfeil & Botzenhart, 2008).	9
Abbildung 2-6:	ColiMinder CMI-02-ERU-Mobile (Emergency Response Unit) (VWMS GmbH, 2023).	17
Abbildung 2-7:	Mögliche Entwicklungsschritte an benetzten Oberflächen in Trinkwasserleitungen (ÖVGW, 2012).	27
Abbildung 2-8:	Beispiel für Koloniezahlen im Wasser während des Aufbaues eines Biofilmes (ÖVGW, 2012).	27
Abbildung 2-9:	Veränderung der Koloniezahl während der Stagnation mit zunehmender Betriebsdauer einer Leitung (Korth et al., 2007).	29
Abbildung 2-10:	Veränderung der Koloniezahl im untersuchten Trinkwasser während der Stagnation einer Leitung in einem Versorgungsnetz mit und ohne vorherige Spülung (Korth et al., 2007).	30
Abbildung 2-11:	Empfohlener Ablauf für die Inbetriebnahme eines neuen Leitungsabschnittes (ÖVGW, 2012).	31
Abbildung 3-1:	Schematischer Aufbau des L.E.S.S.-Fahrzeuges (LessTec AG, 2022).	37
Abbildung 3-2:	Arbeitsraum und Bedienraum (LessTec AG, 2022).	37
Abbildung 3-3:	UV-C-Lampenkopf mit Drahtringen (Gruber, 2022).	39
Abbildung 3-4:	Schematische Darstellung des Lampenkopfes während der UV-C-Bestrahlung. (LessTec AG, 2020).	39
Abbildung 3-5:	Schematische Darstellung der Desinfektionsmittel-Vernebelung (LessTec AG, 2020).	40
Abbildung 3-6:	Einblaskörper (linkes Foto) und Rohrverschlussstopfen (rechtes Foto).	42
Abbildung 3-7:	Montierte Schutzschleuse am Ende der Rohrleitung 1 während einer L.E.S.S.-UV-C-Desinfektion.	43
Abbildung 3-8:	Installierte Kamera- und Lichteinheit am L.E.S.S. zur visuellen Kontrolle des Desinfektionsvorganges in den Rohrleitungen.	44

Abbildung 4-1:	Versuchsaufbau mit Leitungsanfang im Hintergrund nach den ersten Eigenversuchen in der Firmenhalle der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH.	46
Abbildung 4-2:	Versuchsaufbau mit Leitungsenden im Hintergrund nach den ersten Eigenversuchen in der Firmenhalle der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH.	46
Abbildung 5-1:	Schematische Darstellung des Versuchsaufbaues in Hartl.	50
Abbildung 5-2:	Versuchsaufbau der 4 Leitungen in der Werkshalle der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH in Hartl.	50
Abbildung 5-3:	Verwendete Probenahmehähne (Fotos: Gruber).	51
Abbildung 5-4:	Anschlusspunkt Hydrant, Trinkwasser aus dem Ortsnetz von Hartl (Foto: Gruber, mod.).	51
Abbildung 5-5:	Zuleitung und Ableitung der Rohrleitungen (Foto: Gruber, mod.).	52
Abbildung 5-6:	Leitung 1 wird mit Wasser beschickt (Foto: Gruber, mod.).	52
Abbildung 5-7:	Freier Auslauf der Rohrableitung (Foto: Gruber, mod.).	52
Abbildung 6-1:	Multisonden-Messgerät der Fa. WTW vom Type Multi 3430 zur Messung der Temperatur, des pH-Wertes und der Leitfähigkeit (Fotos: Gruber).	55
Abbildung 6-2:	Probenahme direkt am Hydranten (linkes Foto) und am Ende des Druckschlauches (rechtes Foto) (Fotos: Gruber).	57
Abbildung 6-3:	Befüllung des Behälters 1 mit Trinkwasser (linkes Foto) und Beimengung des „Keimcocktails“ (rechtes Foto) (Fotos: Gruber).	58
Abbildung 6-4:	Durchmischung des Behälters 1 (linkes Foto) und Probenahme des Mischwassers (rechtes Foto) (Fotos: Gruber).	58
Abbildung 6-5:	Befüllung der Leitungen (linkes Foto), die verschlossene Leitung 4 (rechtes Foto) (Fotos: Gruber).	59
Abbildung 6-6:	Entleerung der Leitung 1 (linkes Foto) und eine Mischprobe aus Behälter 2 (rechtes Foto) (Fotos: Gruber).	62
Abbildung 6-7:	Probenahme Leitung 4 am Punkt E (linkes Foto) und am Punkt A (rechtes Foto) (Fotos: Gruber).	70
Abbildung 6-8:	Probenahme am Ende der L4 während der 14-tägigen Langzeitanalyse	76

Abbildung 6-9:	Vergleich der Keimentwicklung in den Leitungen 3 und 4 auf Basis der täglichen ALP-Messwerte des ColiMinders während einer 14-tägigen Stagnationsphase in den beiden Leitungen.	78
Abbildung 6-10:	Behälter 1 im Vordergrund zum Auffangen der Rohrleitungsinhalte (linkes Foto) und der Füllstand im Behälter 1 nach der Zugabe von ca. 100 L Trinkwasser (rechtes Foto).	88
Abbildung 6-11:	Keimentwicklung im Behälter 1.	89
Abbildung 6-12:	Mikrobiologische Wasseranalysen mit dem ColiMinder.	91
Abbildung 6-13:	Vergleich der Keimentwicklung in den mit RO-Wasser befüllten Leitungen 1 und 2 auf Basis der ALP-Werte des ColiMinders.	94
Abbildung 6-14:	Vergleich des Gefälles der Leitungen bei ca. 1 % (linkes Foto) und bei ca. 5 % (rechtes Foto).	96
Abbildung 6-15:	Versuchsaufbau für die kontinuierliche Durchflussbeschickung der beiden Leitungen 1 und 2 zur Nachbildung einer realen Betriebssituation.	103
Abbildung 6-16:	Probeflaschen mit Grundablass und Überlauf für die kontinuierliche Probenahme durch den ColiMinder.	103
Abbildung 6-17:	Graphische Darstellung der ColiMinder-Untersuchungen an den Endpunkten der beiden kontinuierlich durchflossenen Leitungen 1 und 2 über den Beobachtungszeitraum von 4 Tagen.	106
Abbildung 6-18:	Einstieg zum Kollektorgang am Anfangspunkt A (linkes Foto), die Leitung 2 ist am Punkt A bereits demontiert und für den Feldversuch entleert (rechtes Foto).	110
Abbildung 6-19:	Leitungsendpunkt E (linkes Foto): Wanddurchführungen der ankommenden Transportleitungen (rechtes Foto: Gruber, mod.).	110
Abbildung 6-20:	Schematischer Versuchsaufbau des Versuchs 7.	110
Abbildung 6-21:	Einbringung des Lampenkopfes (linkes Foto) und Schachteinstieg in den Kollektorgang mit installierter Umlenkrolle (rechtes Foto) für den L.E.S.S.-Lampenkopf (Fotos: Gruber).	111
Abbildung 6-22:	Der bereits durchgezogene Lampenkopf (linkes Foto) im Punkt E und die verwendete Seilwinde (rechtes Foto) für das Durchziehen des Lampenkopfes (Fotos: Gruber).	112
Abbildung 6-23:	Probenahme am Hydranten (linkes Foto: Gruber) und der eingebaute Probenahmehahn am Punkt A (rechtes Foto).	114

Abbildung 6-24:	Probenahme am Leitungspunkt E (linkes Foto: Gruber) und die entnommenen Wasserproben während des Versuchs 7 (rechtes Foto).	114
Abbildung 6-25:	DN 100-Rohrquerschnitt (linkes Foto) der kontaminierten TW-Leitung und die beiden abgelängten PVC-Rohre (rechtes Foto) A und B (Fotos: Gruber).	121
Abbildung 6-26:	Sterile Teststäbchen (linkes Foto), die auch für die Corona-PCR-Tests verwendet werden und die sterile und mit 0,9%iger Kochsalzlösung befüllte Probeflaschen (rechtes Foto) für die Biofilm-Untersuchungen (Fotos: Gruber).	122
Abbildung 6-27:	Durchführung eines Biofilm-Abstrichs entlang der Rohrwand (linkes Foto) und mit dem Biofilm kontaminiertes Teststäbchen (rechtes Foto) vor der L.E.S.S.-Behandlung des verkeimten TW-Rohres (Fotos: Gruber).	123
Abbildung 6-28:	Der händisch eingebrachte L.E.S.S.-Lampenkopf (linkes Foto) vor der Installation der Schutzschleuse vor einer L.E.S.S.-Behandlung des Rohres und die Durchführung einer L.E.S.S.-UV-C-Behandlung (rechtes Foto) in einem kontaminierten TW-Rohr (Fotos: Gruber).	124
Abbildung 6-29:	Mit Biofilm kontaminierte Teststäbchen nach der L.E.S.S.-Behandlung (linkes Foto) und die Teststäbchen vor dem Abschneiden (rechtes Foto) und Aufbewahrung in den sterilen und mit Kochsalzlösung befüllten Probeflaschen (Fotos: Gruber).	124

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Mikrobiologische Parameter (TWV, i. d. g. F., mod.).....	11
Tabelle 2-2:	Chemische Parameter (TWV, i. d. g. F., mod.).....	12
Tabelle 2-3:	Chemische und physikalische Indikatorparameterwerte (TWV, i. d. g. F., mod.).....	13
Tabelle 2-4:	Mikrobiologische Indikatorwerte (TWV, i. d. g. F., mod.).....	14
Tabelle 2-5:	Radioaktivität (Indikatorparameter) (TWV, i. d. g. F.)	14
Tabelle 2-6:	Referenzverfahren zur Bestimmung der mikrobiolo- gischen Parameter (TWV, i. d. g. F.).....	15
Tabelle 2-7:	Chemikalien zur Anlagendesinfektion (ÖVGW, 2012, mod.).....	34
Tabelle 6-1:	Auswertung des Versuches 1 – Beimpfung	60
Tabelle 6-2:	Auswertung des Versuches 1 – Beimpfung	60
Tabelle 6-3:	Auswertung des Versuches 1 nach 7 Wochen Stagnation mit angeimpften Wasser in den Leitungen 1 und 2.....	63
Tabelle 6-4:	Auswertung des Versuches 1 vor der L.E.S.S.- Behandlung der Leitung 1.....	65
Tabelle 6-5:	Auswertung des Versuches 1 nach der L.E.S.S.- Behandlung der L1.....	66
Tabelle 6-6:	Auswertung des Versuches 1 nach dem Spülvorgang in der Leitung 2	67
Tabelle 6-7:	Auswertung des Versuches 1 – Wirksamkeitsanalyse	68
Tabelle 6-8:	Auswertung des Versuches 1 nach 7 Wochen Stagnation in der Leitung 3 und Leitung 4	71
Tabelle 6-9:	Auswertung des Versuches 1 vor einer L.E.S.S.- Behandlung in der L3.....	72
Tabelle 6-10:	Auswertung des Versuches 1 nach einer L.E.S.S.- Behandlung in der L3.....	73
Tabelle 6-11:	Auswertung des Versuches 1 nach der einmaligen Spülung der L4.....	74
Tabelle 6-12:	Auswertung des Versuches 1 – Hydrantenwasser nach Wasserzähler	75
Tabelle 6-13:	Auswertung des Versuches 1, Langzeitanalyse der L3, Tag 0 – 7	76
Tabelle 6-14:	Auswertung des Versuches 1, Langzeitanalyse der L3, Tag 8 – 14	76
Tabelle 6-15:	Auswertung des Versuches 1, Langzeitanalyse Leitung 4, Tag 0 - 7	77

Tabellenverzeichnis

Tabelle 6-16:	Auswertung des Versuches 1, Langzeitanalyse Leitung 4, Tag 8 - 14.....	77
Tabelle 6-17:	Auswertung des Versuches 2 – ColiMinder-Ergebnisse des 15 Tage lang stagnierten Wassers in der Leitung 3 und in der Leitung 4	82
Tabelle 6-18:	Auswertung des Versuches 2 nach der 1. Spülung und noch vor der zweiten L.E.S.S.-Behandlung der Leitung 3.....	83
Tabelle 6-19:	Auswertung des Versuches 2 nach der L.E.S.S.-Behandlung und nachfolgender Spülung in der Leitung 3.....	84
Tabelle 6-20:	Auswertung des Versuches 2 nach der 1. Spülung und noch vor der ersten L.E.S.S.-Behandlung der Leitung 4	85
Tabelle 6-21:	Auswertung des Versuches 2 nach der L.E.S.S.-Behandlung und nachfolgender Spülung in der Leitung 4.....	86
Tabelle 6-22:	Auswertung des Versuches 3 – Veränderung des verkeimten Inhaltes des Behälters 1 während einer Zeitperiode von 8 Tagen.....	89
Tabelle 6-23:	Auswertung des Versuches 4 – Qualität des verwendeten RO-Wassers am Beginn des Versuches.	92
Tabelle 6-24:	Auswertung des Versuches 4, Langzeitanalyse der L1, Tag 0 – 5	93
Tabelle 6-25:	Auswertung des Versuches 4, Langzeitanalyse der L1, Tag 6 – 13	93
Tabelle 6-26:	Auswertung des Versuches 4, Langzeitanalyse der L2, Tag 0 – 5	93
Tabelle 6-27:	Auswertung des Versuches 4, Langzeitanalyse der L2, Tag 6 – 13	94
Tabelle 6-28:	Auswertung des Versuches 5, Keimentwicklung während der 5-tägigen Stagnationsphase in den Leitungen 1 und 2 und Ausgangszustand.....	98
Tabelle 6-29:	Auswertung des Versuches 5 nach der Entleerung und 10-minütigen Spülung der Leitung 1 und noch vor der L.E.S.S.-Behandlung der L1	98
Tabelle 6-30:	Auswertung des Versuches 5 nach der L.E.S.S.-Behandlung der Leitung 1 und nachfolgender 10-minütigen Spülung der Leitung 1	99
Tabelle 6-31:	Auswertung des Versuches 5 nach der einmaligen Spülung der Leitung 2 nach einer 5-tägigen Stagnationsperiode in der Leitung 2	100

Tabelle 6-32:	Auswertung des Versuches 6, kontinuierliche ColiMinder-Analysen im 2-Stundenintervall an den Endpunkten der beiden kontinuierlich durchflossenen Leitungen 1 und 2 (Probennummer 97 bis 185)	105
Tabelle 6-33:	Auswertung des Versuches 6, laboranalytische Kontrollmessungen am Ende der 4-tägigen, kontinuierlichen ColiMinder-Untersuchungen.	107
Tabelle 6-34:	Auswertungen des Versuches 7 vor Beginn des Spülvorganges	115
Tabelle 6-35:	Auswertung des Versuches 7 am Ende des Spülvorganges der L2	116
Tabelle 6-36:	Auswertung des Versuches 7, Wirksamkeitsanalyse der L.E.S.S.-Behandlung der Leitung 2 nach 3 Tagen Stagnation in beiden Leitungen	117
Tabelle 6-37:	Ergebnisse der Trinkwasseruntersuchungen der mit Fäkalien (Gülle) über einen längeren Zeitraum kontaminierten Quelle	125
Tabelle 6-38:	Auswertung des Versuches 8, Ergebnisse der Biofilm-Untersuchungen im kontaminierten Rohr A und Rohr B vor und nach den L.E.S.S.-Behandlungen.....	126

Abkürzungsverzeichnis

C. perfringens	Clostridium perfringens
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches
E. coli	Escherichia coli
KZ20	Koloniezahl bei 20 °C
L.E.S.S.	Light-Erasure-Spraying-System
MVK	Mindestverfahrenskennwerte
ÖVGW	Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach
P. aeruginosa	Pseudomonas aeruginosa
PE	Polyethylen
PE-HD	Polyethylen high density
RB	Regelblatt
RO	Reverse Osmose (Umkehrosmose)
TW	Trinkwasser
TW-VO	Trinkwasserverordnung
UV	Ultraviolett
WVA	Wasserversorgungsanlage
WVU	Wasserversorgungsunternehmen

1 Einleitung

Trinkwasser ist ein kostbares, lebensnotwendiges Gut, das in Zeiten des Klimawandels erheblich im Fokus steht. Die Wasserversorger haben die Aufgabe, deren Wasserversorgungsanlagen aufrechtzuerhalten und zukünftig zu sichern. Nach der Erreichung der Nutzungsdauer oder durch unvorhergesehene Ereignisse, wie bei Rohrbrüchen oder Ähnlichem, sind die Anlagenteile und Rohrleitungen zu sanieren. Bei den Sanierungsverfahren sowie auch bei einer Erneuerung von Trinkwasserrohrleitungen sind in erster Linie die Qualitätssicherung und die Baukosten für die Betreiber der Wasserversorgungsanlage ausschlaggebend, denn sie sind vertraglich für die qualitative und quantitative Trinkwasserversorgung der angeschlossenen Objekte zuständig und verantwortlich.

Um den qualitativen Ansprüchen der geltenden Trinkwasserverordnung gerecht zu werden, müssen die Versorgungsunternehmen die Qualität des Trinkwassers regelmäßig überprüfen. Die Trinkwasserproben aus den Anlagen geben die Qualität des Wasservorkommens wieder. Sollte dabei eine mangelhafte Qualität festgestellt werden, sind umgehend Maßnahmen zu ergreifen. (TWV, i. d. g. F.)

Probleme können von den einzelnen Quelfassungen bzw. Brunnenanlagen ausgehen oder durch eine Verkeimung der Wasserspeicher durch zu lange Verweilzeiten in den Behältern entstehen. Sollte das Problem nicht an der Wassergewinnungsstelle oder in den Wasserspeichern identifizierbar sein, ist von einer Verkeimung im Rohrnetz auszugehen. (ÖVGW, 2012)

Die derzeitige Lösung dieser Problemstellung in den Verteilungsnetzen ist eine Außerbetriebnahme des betroffenen Rohrleitungsabschnittes. Je nach Priorität des Leitungsstranges kann dies zu erheblichen Einschränkungen der zu versorgenden Objekte für Wasserversorgungsunternehmen führen. (ÖVGW, 2012)

Kann ein Rohrleitungsabschnitt nicht außer Betrieb genommen werden (Haupt- und Zubringerleitungen), werden die Bewohner:innen der betroffenen Objekte im Falle einer Verkeimung des Trinkwassers dazu aufgefordert, das Trinkwasser vor der Verwendung abzukochen, um die im Trinkwasser enthaltenen Keime durch thermische Desinfektion zu eliminieren. Dies wird durch die zuständige Behörde entsprechend angeordnet bzw. vom Betreiber kommuniziert. Die Behebung einer Verkeimung in den betroffenen Rohrabschnitten ist entsprechend der Ursache der Verkeimung unterschiedlich zu gestalten. Dazu gibt es mehrere Vorgangsweisen, die je nach Art der vorgefundenen Verkeimung anzuwenden sind. (ÖVGW, 2012)

Eine Desinfektion mittels aufwendiger chemischer Verfahren ist dabei eine häufig angewendete Methode für die betroffenen Trinkwasserleitungen. Sind die dabei angewandten chemischen Verfahren und die nachfolgenden Spülvorgänge nicht erfolgreich, kann noch eine zusätzliche Molchung, ein mechanisches Verfahren

zur Reinigung der Rohrrinnenwand, in Erwägung gezogen werden. Sind alle angewandten Methoden unwirksam, sind die betroffenen Rohrleitungsabschnitte durch Austauschen der alten Rohre durch neue Rohre zu ersetzen. (ÖVGW, 2012)

Die dabei verwendeten und durch die chemischen Desinfektionsmittel kontaminierten Wasserressourcen müssen nach deren Anwendung entsprechend entsorgt bzw. unter strengen Auflagen entsprechend aufbereitet und entsorgt werden. (ÖVGW, 2012)

Des Weiteren sind neben den baulichen Maßnahmen auch die Kosten der Laboruntersuchungen zu tragen. Diese benötigen bei den dafür anzuwendenden biologischen Untersuchungsverfahren in der Regel eine Auswertungszeit von ca. 3 Tagen, bis ein Ergebnis feststeht. Vom Beginn der Maßnahmen an bis zum Erhalt der Untersuchungsergebnisse vergehen meist mehrere Tage bis Wochen, an denen die Versorgung durch provisorische Maßnahmen aufrechterhalten werden muss.

Die beschriebenen Methoden sind meist langwierige und kostenintensiv, stellen aber derzeit die einzigen Möglichkeiten für die Wasserversorger dar, die gesundheitsgefährdenden Keime zu eliminieren bzw. zu inaktivieren.

1.1 Motivation

Diese Tatsache motivierte Manfred MOCK dazu, eine alternative Methode für die Desinfektion von Trinkwasserleitungen zu entwickeln. Er hat mit seinem Unternehmen MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH langjährige Erfahrungen im Bereich der Behälter- und Rohrleitungssanierungen gesammelt. Nach ersten Gedanken und entsprechendem Erfindergeist für eine möglichst saubere und umweltschonende Lösung für die Desinfektion von Trinkwasserleitungen entwickelte er schließlich sein patentiertes L.E.S.S. (Light-Erasure-Spraying-System).

Die Technologie der Keimdesinfektion mit UV-C Strahlung ist aus anderen Bereichen, wie Oberflächenentkeimung, Trinkwasseraufbereitung und Raumlufreinigung, bekannt. (BfS, 2023)

Mit dem Einsatz dieser Technologie und den Erfahrungen aus der Rohrleitungssanierung wurde ein erster Prototyp auf einem Kraftfahrzeug (Transporter) entwickelt. Die ersten Ergebnisse aus internen Versuchen waren vielversprechend und motivierten zur Weiterentwicklung. Nachdem aber ein eindeutiger und entsprechend dokumentierter Nachweis der Wirksamkeit bislang fehlte, bat er das Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der Technischen Universität Graz darum, diesen im Rahmen einer Masterarbeit durchzuführen.

1.2 Zielsetzung

Basierend auf den bisherigen Ergebnissen und Erfahrungen aus den Eigenversuchen des Erfinders Manfred MOCK ist es das Ziel dieser Arbeit, die bisher schon durchgeführten Versuche in Hartl möglichst gleichartig nachzubilden und zu wiederholen und auf deren Basis und mit wissenschaftlicher Begleitung einen Wirksamkeitsnachweis der UV-Desinfektion von TW-Leitungen zu erbringen.

Aus den Gesprächen mit den Firmenvertretern entwickelten sich zwei wesentliche Untersuchungsbereiche.

Dabei sollte der Nachweis der Wirksamkeit der UV-C Strahlung auf verkeimte Trinkwasserleitungen durch Anwendung des L.E.S.S.-Verfahrens erbracht werden, ohne das detaillierte mikrobiologische Untersuchungen des Biofilms durchgeführt wurden.

Als Biofilm wird die gesamte Ausbreitung von Mikroorganismen an den wasserberührten Oberflächen in Wasserversorgungsanlagen bezeichnet. (ÖVGW, 2012)

Dabei wurden die nach der österreichischen Trinkwasserverordnung i. d. g. F. zu untersuchenden mikrobiologischen Parameter zumeist im Spülwasser nach den durchgeführten Versuchen untersucht. Die mikrobiologischen Trinkwasseruntersuchungen wurden dafür jeweils von einem akkreditierten Wasseruntersuchungslabor durchgeführt.

Die praktische Anwendbarkeit des L.E.S.S.-Verfahrens sollte im Rahmen eines Feldversuches unter realen Bedingungen getestet werden.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sollten auch in die zukünftige Weiterentwicklung des L.E.S.S.-Verfahrens einfließen.

2 Allgemeine Grundlagen

2.1 Trinkwasser in Österreich

Die Trinkwasserversorgung wird in Österreich von Wasserversorgungsunternehmen (WVU) betrieben. Zumeist wird die Versorgung der Haushalte durch die öffentliche Hand (Städte, Gemeinden) sichergestellt. Jedoch können im ländlichen Raum auch Wassergenossenschaften als Betreiber für die Wasserversorgung zuständig sein. Die WVUs unterliegen durch den Verkauf von Trinkwasser an die Haushalte dem Lebensmittelgesetz und tragen somit die Rechte und die Pflichten gegenüber den Verbrauchern. Die gesetzlichen Vorgaben für den Betrieb einer Wasserversorgungsanlage sind in Österreich in der Trinkwasserverordnung geregelt. (TWV, i. d. g. F.)

Im Jahr 2020 wurden ca. 725.000.000 m³ Trinkwasser in die Trinkwasseranlagen Österreichs eingespeist und von Haushalten, öffentlichen Einrichtungen sowie von Gewerbe und Industrie genutzt. Pro Kopf werden ca. 130 L pro Tag und Person im Durchschnitt verbraucht. Der gesamte Wasserbedarf kann in Österreich durch Quell- und Grundwasser gedeckt werden. Oberflächenwässer werden in Österreich nicht für die Bereitstellung von Trinkwasser genutzt. In der Abbildung 2-1 ist der prozentuelle Anteil des genutzten Wasservorkommens von Deutschland, Großbritannien und Norwegen im Vergleich zu Österreich dargestellt. Das gesamte Speichervolumen der Wasserbehälter beträgt in Österreich ca. 4.000.000 m³. Die Länge der Leitungsnetze, welche von den WVUs betrieben werden, beträgt ca. 81.000 km. Rund 20 % der Gesamtrohrleitungen sind Zubringerleitungen, die keine direkten Abnehmer versorgen. (ÖVGW, 2023)



Abbildung 2-1: Herkunft des Trinkwassers im Ländervergleich (ÖVGW, 2023).

„Aktuell kann der Trinkwasserbedarf aus dem Grundwasser problemlos nachhaltig gedeckt werden. Die jährliche Verfügbarkeit liegt aktuell bei 5,9 Mrd. m³ und der Bedarf bei 1,2 Mrd. m³.“ (ÖVGW, 2023)

Die 1,2 Mrd. m³ Grundwasser werden im Wesentlichen zur Bereitstellung von Trinkwasser, zu landwirtschaftlichen Zwecken und für Industrie und Gewerbe genutzt. Die Abbildung 2-2 zeigt eine Übersicht über die Aufteilung der Wassernutzung in Österreich. (ÖVGW, 2023)

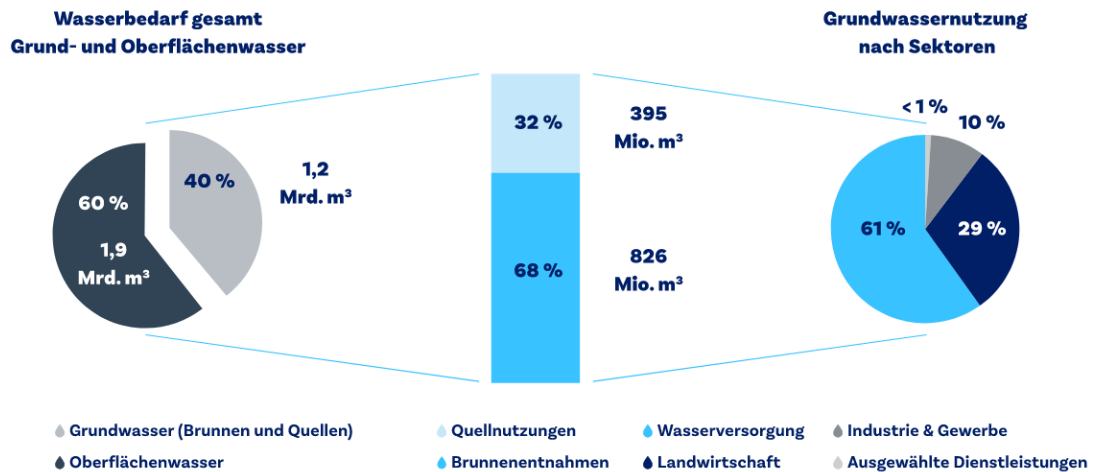


Abbildung 2-2: Wassernutzung in Österreich, Auszug aus der Wasserschatzstudie 2021 (ÖVGW, 2023).

Aufbereitungsmaßnahmen sind für verunreinigte Quell- und Grundwässer notwendig, um die Qualität für das bereitgestellte Trinkwasser, entsprechend den Vorgaben der Trinkwasserverordnung bzw. dem Lebensmittelgesetz, einzuhalten. Je nach dem Umwelteinfluss und der Art der Verschmutzung des Grundwassers kommen verschiedene Aufbereitungsstufen zum Einsatz. Die Aufbereitungsmaßnahmen sind regional unterschiedlich und stark von der chemischen Zusammensetzung des Trinkwassers abhängig. In der Abbildung 2-3 ist ersichtlich, dass für ca. zwei Drittel des genutzten Trinkwasservorkommens in Österreich keine Aufbereitung notwendig ist. (ÖVGW, 2023)

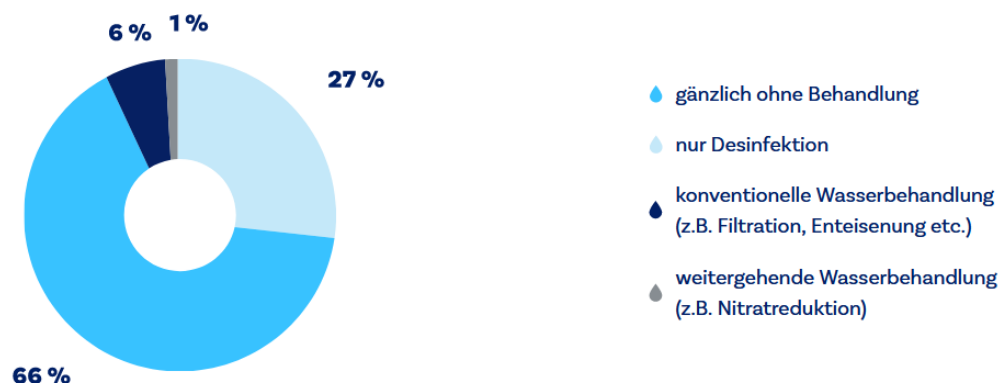


Abbildung 2-3: Aufbereitung des Trinkwassers in Österreich (ÖVGW, 2023).

2.2 Trinkwasserverordnung

Die Trinkwasserverordnung (TWV, i. d. g. F.) regelt im Wesentlichen den Umgang mit dem Lebensmittel Trinkwasser und überträgt die fachgerechte Eigenkontrolle, die Information der Trinkwasserqualität an die Einwohner, die festgelegte Überwachung durch die Behörde und den Untersuchungsumfang des Trinkwassers an die Wasserversorgungsunternehmen.

Die österreichische Trinkwasserverordnung ist eine generelle abstrakte Rechtsnorm, welche vom Bundesminister für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch im Jahr 2001 erlassen wurde. Mit der Trinkwasserverordnung wurde die Richtlinie 98/83/EG ins österreichische Recht umgesetzt. (TWV, 2001)

Am 12.01.2021 ist die EU-Richtlinie 2020/2184 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch in einer neuen, überarbeiteten Version in Kraft getreten. Diese löste die Richtlinie 98/83/EG, auf der die TWV (i. d. g. F.) beruht, ab und hätte von den EU-Mitgliedsstaaten bis 12.01.2023 in nationales Recht umgesetzt werden sollen. (EUR-OP, 2023)

Nachfolgend sind die wesentlichen Punkte der EU-Richtlinie 2020/2184 (EUR-OP, 2023) zusammengefasst:

- Die umfassende Definition von „Wasser für den menschlichen Gebrauch“.
- Die Regelung der Ausnahmen von der Richtlinie.
- Die Anpassung der Wasser-Qualitätsstandards hinsichtlich mikrobiologischer und chemischer Parameter, Indikatorparameter und Parameter für die Risikobewertung von Hausinstallationen.
- Gänzlich neu sind eine Risikobewertung und ein Risikomanagement beginnend vom Einzugsgebiet der Wasserquelle, über das Rohrnetz, bis hin zur Hausinstallation. Die Risiken und Gefahren im System, die die Wasserqualität beeinflussen könnten, sind zu ermitteln und durch Kontrollmaßnahmen zu überprüfen.
- Eine Regelung zu den Materialien mit denen Trinkwasser in Berührung kommen darf.
- Die EU-Länder müssen den Zugang zu Trinkwasser für alle verbessern oder aufrechterhalten und sicherstellen, dass angemessene Informationen zum Trinkwasser verfügbar sind.
- Die EU-Länder müssen Datensätze zu Risikobewertungen, zu Maßnahmen zur Verbesserung des Zugangs zu Wasser und zu Wasserqualitätsüberwachungen erstellen.

Zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführungen von Juni 2022 bis November 2022 war die neue Richtlinie (EU) 2020/2184 in Österreich noch nicht in nationales Recht umgesetzt. Daher wurden die rechtlichen Bedingungen und die Grenzwerte der Parameterwerte sowie der Indikatorparameterwerte nach der Trinkwasserverordnung nach dem BGBl. II Nr. 304/2001 i. d. g. F. für die Nachweissführung herangezogen. Diese Fassung wurde sinngemäß für das Kapitel 2.2 und die Unterkapitel verwendet.

Der Beprobungsumfang einer Wasserversorgungsanlage wird in Österreich von der zuständigen Behörde festgelegt. Er ist von der Menge an abgegebenem Wasser in m³ pro Tag abhängig. Bei der Festlegung des Beprobungsumfanges wird zwischen routinemäßigen Kontrollen und umfassenden Kontrollen unterschieden. Die individuellen Aufbereitungsanlagen der Wasserversorger sind für den Beprobungsplan einer Wasserversorgungsanlage (WVA) miteinzubeziehen. Bei grundlegenden Änderungen am Trinkwassersystem eines Versorgers wird der Beprobungsplan neuerlich überarbeitet. (TWV, i. d. g. F.)

Im Rahmen der Trinkwasseruntersuchungen wird zwischen Parameterwerten und Indikatorparameterwerten unterschieden. Parameterwerte sind Grenzwerte und ziehen bei Überschreitung einen sofortigen Handlungsbedarf nach sich. Die zu setzenden Maßnahmen sind in der Trinkwasserverordnung geregelt. Bei den Indikatorparametern wird bei einer Überschreitung die Ursache geprüft und Maßnahmen werden zur Aufrechterhaltung einer einwandfreien Wasserqualität gesetzt. (TWV, i. d. g. F.)

2.2.1 Mikrobiologische Anforderungen an Trinkwasser

Die unterschiedlichen mikrobiologischen Anforderungen werden in der Trinkwasserverordnung je nach Verwendungszweck an das Trinkwasser gestellt und wie folgt eingeteilt: (TWV, i. d. g. F.)

- Nicht desinfiziertes Wasser
- Desinfiziertes Wasser, unmittelbar nach Abschluss der Desinfektion, Überprüfung der Wirksamkeit der Desinfektionsmaßnahme
- Wasser, das in Flaschen oder dgl. abgefüllt und in Verkehr gebracht wird

Die Einordnung und die Parameterwerte für die mikrobiologische Beurteilung von Trinkwasser nach der TWV (i. d. g. F.) sind im Kapitel 2.2.3 und im Kapitel 2.2.4 aufgelistet.

2.2.1.1 Relevante mikrobiologische Parameter im Trinkwasser

„Wasserproben können eine Vielzahl von Mikroorganismen unterschiedlicher Herkunft beinhalten. Die Bestimmung ihrer Zahl bezogen auf ein festgelegtes Wasservolumen und ein bestimmtes Nährmedium sowie bestimmte Kultivierungsbedingungen ergeben wertvolle Informationen zur Beurteilung und Überwachung der Wasserqualität in hygienischer Hinsicht.“ (Feuerpfeil & Botzenhart, 2008)

- Escherichia coli (E. coli):

„... ist ein typischer Bewohner des Dickdarms von Säugern. Obwohl mengenmäßig im Darm andere Bakterien vorherrschen, ist E. coli wegen seiner leichten Nachweisbarkeit und seiner Überlebensfähigkeit außerhalb des Darmes der wichtigste Nachweiskeim zur Kontrolle von Trinkwasser oder Badeseen auf fäkale Verunreinigungen.“ (Fuchs et al., 2007)

Werden E. coli Bakterien in Trinkwasserproben gefunden, können mitunter weitere pathogene Keime im Wasser vorhanden sein. (Gujer, 2007)

Die Abbildung 2-4 zeigt die gebildeten E. coli-Kolonien nach der Ausbrütingsperiode einer Wasserprobe auf einem Nährmedium.

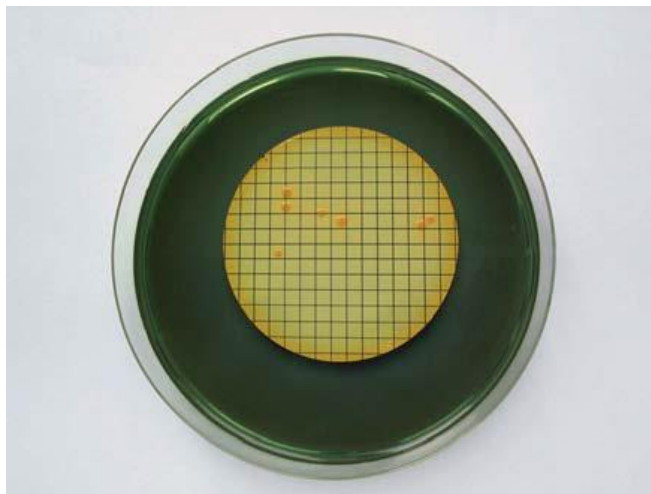


Abbildung 2-4: E. coli Reinkultur auf Lactose-TTC-Agar (nach DIN EN ISO 9308-1) (Feuerpfeil & Botzenhart, 2008).

- Coliforme Bakterien:

„Als coliforme Enterobakterien werden neben E. coli einige Boden- oder Wasserbakterien zusammengefasst, die Lactose zu Säuren vergären.“ (Fuchs et al., 2007)

Die coliformen Bakterien sind aber zum überwiegenden Teil in der Umwelt zu finden, können aber auch von Warmblüterfäkalien stammen. Sie nehmen neben den E. coli Bakterien eine wichtige Indikatorrolle weltweit ein. Werden coliforme Bakterien zusammen mit E. coli Bakterien in einer Was-

serprobe nachgewiesen, liegt mit großer Wahrscheinlichkeit eine Fäkalverunreinigung des beprobten Wassers vor. Kommen coliforme Bakterien jedoch ohne E. coli Bakterien in einem Untersuchungsergebnis vor, ist das ein Hinweis auf eine Umweltbelastung, die aber nicht zwingend aus Fäkalverunreinigungen stammt. (Feuerpfeil & Botzenhart, 2008)

- Enterokokken:

Stammen meist aus dem Darm von Warmblütern, ähnliche Herkunft wie das E. coli, und zählen zu den klassischen, fäkalen Indikatorbakterien. Enterokokken können ebenso von Insekten stammen. (Auckenthaler & Huggenberger, 2003)

Auch in Pflanzen oder Pflanzenteilen, wie etwa nicht sterilen Hanfstricken, können Enterokokken-Arten gefunden werden. Jedoch ist die Wahrscheinlichkeit sehr gering, dass eine andere Art als eine Fäkalverunreinigung zutrifft. Sie sind aufgrund des Zellaufbaus sehr widerstandsfähig gegen Einflüsse aus der Umwelt und länger als E. coli und coliforme Bakterien nachweisbar. (Feuerpfeil & Botzenhart, 2008)

Die Abbildung 2-5 zeigt die gebildeten Enterokokken-Kolonien nach der Ausbrütungsperiode einer Wasserprobe auf einem Nährmedium.



Abbildung 2-5: Enterokokken auf Galle-Äsculin-Agar (Feuerpfeil & Botzenhart, 2008).

- Koloniebildende Einheiten bei 22 °C und 37 °C:

„Als Koloniezahl wird die Zahl der sichtbaren Kolonien bezeichnet, die sich aus den in 1 mL des zu untersuchenden Wassers befindlichen Mikroorganismen in Plattenkulturen mit nährstoffreichen Nährböden bei festgelegten Bebrütungstemperaturen und innerhalb einer bestimmten Bebrütungszeit entwickeln.“ (Feuerpfeil & Botzenhart, 2008)

Hierbei werden keine spezifischen Bakterien untersucht. Es werden alle vermehrungsfähigen Mikroorganismen, die eine Kolonie bilden, abgezählt. Diese beiden Werte geben einen gesamtheitlichen Überblick über den hygienischen Zustand der Wasserprobe.

- Clostridium perfringens:

„C. perfringens ist ubiquitär vorhanden und konnte unter anderem in Luft, Staub, Erde und Nahrungsmitteln nachgewiesen werden.“ (Auckenthaler & Huggenberger, 2003)

C. perfringens bildet unter Sauerstoffmangel umweltresistente Sporen und kann somit längere Zeit in seinem Habitat überleben und in einen neuen Lebensraum verfrachtet werden. (Auckenthaler & Huggenberger, 2003)

Der Parameter tritt vor allem bei Trinkwasser aus Oberflächenwässern und bei Grundwasser, das von Oberflächenwasser beeinflusst wird, auf. (Kölle, 2004)

- Pseudomonas aeruginosa:

„P. aeruginosa kommt ubiquitär vor und besiedelt unter anderem Oberflächengewässer, Grundwasser, Trinkwasser, in Behältnisse abgefülltes Wasser, Böden und Gemüse. Favorisierte Habitate sind Wasser-Luft Grenzflächen, wie sie beispielsweise in Sand- und Aktivkohlefiltern, Duschköpfen und Befeuchtern vorkommen.“ (Auckenthaler & Huggenberger, 2003)

P. aeruginosa ist als „Krankenhauskeim“ bekannt. Er verursacht bei geschwächten Personen Harn- und Atemwegsinfekte, kann in Wunden oder bei Verbrennungen auftreten und ist auf natürliche Weise gegen viele Antibiotika resistent. (Fuchs et al., 2007)

Die Bakterienart kann sich trotz eines sehr geringen Nährstoffangebotes vermehren und ist in destilliertem Wasser überlebensfähig. Daher kann sich der Keim in jedem wasserführenden Bauteil, wie in Waschbecken, Filtern, Spalträumen von Dichtungen etc., verbreiten. Auch in Rohrleitungen ist dieser Keim beheimatet. Der Eintrag kommt dabei meist von außen über Reparaturen oder unsachgemäße Handhabung beim Einbau und Lagern von Leitungsbauteilen. P. aeruginosa ist oftmals bei der Bildung des Biofilms beteiligt. (Feuerpfeil & Botzenhart, 2008)

„Pseudomonas aeruginosa wird daher auch als Indikatorkeim für Biofilmwachstum in der Trinkwasserüberwachung (TWV) verwendet.“ (ÖVGW, 2019)

2.2.2 Chemische Anforderungen an Trinkwasser

Die chemischen Anforderungen werden hinsichtlich der maximal zulässigen Stoffkonzentrationen von giftigen Inhaltsstoffen, wie Arsen, Blei, Quecksilber etc., im Trinkwasser gestellt. Der Großteil der zu untersuchenden chemischen Stoffe ist als Grenzwert in der Trinkwasserverordnung definiert. Die Parameter- und Indikatorwerte der chemischen Stoffe nach der TWV (i. d. g. F.) sind im Kapitel 2.2.3 und im Kapitel 2.2.4 aufgelistet.

Als Grenzwert sind Konzentrationen definiert, die für den Menschen bei dem Verzehr von Trinkwasser gerade noch als ungefährlich bzw. nicht gesundheitsschädlich gelten. Die Grenzwerte sind mit Schwankungsbreiten definiert, sogenannte Mindestverfahrenskennwerte (MVK) oder früher auch Messunsicherheiten betitelt, die von den akkreditierten Labors nachweislich eingehalten werden müssen. Diese MVK fließen in die Bewertung eines Trinkwasserbefundes mit ein.

2.2.3 Parameter (Grenzwerte)

Die Wasserversorgungsunternehmen sind in der Pflicht bei Überschreitung der Parameterwerte unverzüglich Maßnahmen zu setzen und ggf. entsprechend ihrer Informationspflicht, die versorgten Objekte ihrer Wasserversorgungsanlage zu informieren. Die Häufigkeit der zu überprüfenden Parameter wird je nach Größe der Wasserversorgungsanlage bzw. nach dem täglichen Verbrauch des Versorgungsgebietes festgelegt.

Zusätzliche Fußnoten und Anmerkungen zu den Parameterwerten werden aufgrund der umfangreichen Beschreibung in der Trinkwasserverordnung in dieser Arbeit nicht angeführt.

Entsprechend der Trinkwasserverordnung (TWV, i. d. g. F.) sind folgende mikrobiologischen Parameter für den jeweiligen Verwendungszweck in der Tabelle 2-1 und die chemischen Parameterwerte in der Tabelle 2-2 einzuhalten:

Tabelle 2-1: Mikrobiologische Parameter (TWV, i. d. g. F., mod.)

	Parameter	Wert	Einheit
Nicht desinfiziertes Wasser	Escherichia coli	0	Anzahl/100 mL
	Enterokokken	0	Anzahl/100 mL
Desinfiziertes Wasser, unmittelbar nach der Desinfektionsmaßnahme	Escherichia coli	0	Anzahl/250 mL
	Enterokokken	0	Anzahl/250 mL
Wasser, das in Flaschen oder dgl. abgefüllt wird und in Verkehr gebracht wird	KBE 22 (koloniebildende Einheiten bei 22 °C Bebrütungstemperatur)	100	Anzahl/1 mL
	KBE 37 (koloniebildende Einheiten bei 37 °C Bebrütungstemperatur)	20	Anzahl/1 mL
	Escherichia coli	0	Anzahl/250 mL
	Enterokokken	0	Anzahl/250 mL
	Pseudomonas aeruginosa	0	Anzahl/250 mL

Tabelle 2-2: Chemische Parameter (TWV, i. d. g. F., mod.)

Parameter	Parameterwert	Einheit
Acrylamid	0,10	µg/L
Antimon	5,0	µg/L
Arsen	10	µg/L
Benzol	1,0	µg/L
Benzo-(a)-pyren	0,010	µg/L
Blei	10	µg/L
Bor	1,0	mg/L
Bromat	10	µg/L
Cadmium	5,0	µg/L
Chrom	50	µg/L
Cyanid	50	µg/L
1,2-Dichlorethan	3,0	µg/L
Epichlorhydrin	0,10	µg/L
Fluorid	1,5	mg/L
Kupfer	2,0	mg/L
Nickel	20	µg/L
Nitrat	50	mg/L
Nitrit	0,1	mg/L
Pestizide	0,10	µg/L
Pestizide insgesamt	0,50	µg/L
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	0,10	µg/L
Quecksilber	1,0	µg/L
Selen	10	µg/L
Tetrachlorethen und Trichlorethen	10	µg/L
Trihalomethane insgesamt	30	µg/L
Uran	15	µg/L
Vinylchlorid	0,50	µg/L

2.2.4 Indikatorparameter

„Werte von Indikatorparametern stellen Konzentrationen an Inhaltsstoffen, Mikroorganismen, Radioaktivität oder Strahlendosen dar, bei deren Überschreitung die Ursache zu prüfen und festzustellen ist, ob bzw. welche Maßnahmen zur Aufrechterhaltung einer einwandfreien Wasserqualität erforderlich sind. Natürliche Gehalte sind, auch wenn sie weit unter dem jeweiligen Wert liegen, vor unerwünschten Veränderungen zu schützen.“ (TWV, i. d. g. F.)

Zusätzliche Fußnoten und Anmerkungen zu den Indikatorparameterwerten werden aufgrund der umfangreichen Beschreibung in der Trinkwasserverordnung in dieser Arbeit nicht angeführt.

Entsprechend der Trinkwasserverordnung (TWV, i. d. g. F.) sind folgende chemischen und physikalischen Indikatorparameterwerte in der Tabelle 2-3, die mikrobiologischen Indikatorparameterwerte für den jeweiligen Verwendungszweck in der Tabelle 2-4 und die radioaktiven Indikatorparameterwerte in der Tabelle 2-5 einzuhalten:

Tabelle 2-3: Chemische und physikalische Indikatorparameterwerte (TWV, i. d. g. F., mod.)

Indikatorparameter	Wert	Einheit
Aluminium	200	µg/L
Ammonium	0,50	mg/L
Chlorid	200	mg/L
Eisen	200	µg/L
Färbung spektraler Absorptionskoeffizient bei 436 nm	Für den Verbraucher annehmbar und ohne anormale Veränderung 0,5	m ⁻¹
Geruch	Für den Verbraucher annehmbar und ohne anormale Veränderung	
Geschmack	Für den Verbraucher annehmbar und ohne anormale Veränderung	
Leitfähigkeit	2500	µS cm ⁻¹ bei 20°C
Mangan	50	µg/L
Natrium	200	mg/L
Organisch gebundener Kohlenstoff (TOC)	Ohne anormale Veränderung	
Oxidierbarkeit	5,0	mg/L O ₂
Sulfat	250	mg/L
Temperatur	25 ohne anormale Veränderung	°C
Trübung	Für den Verbraucher annehmbar und ohne anormale Veränderung	
Wasserstoffionen-Konzentration	≥ 6,5 und ≤ 9,5	pH-Einheiten

Tabelle 2-4: Mikrobiologische Indikatorwerte (TWV, i. d. g. F., mod.)

	Indikatorparameter	Wert	Einheit
Nicht desinfiziertes Wasser	KBE 22 (koloniebildende Einheiten bei 22 °C Bebrütungstemperatur)	100	Anzahl/mL
	KBE 37 (koloniebildende Einheiten bei 37 °C Bebrütungstemperatur)	20	Anzahl/mL
	coliforme Bakterien	0	Anzahl/100 mL
	Clostridium perfringens (einschließlich Sporen) (Anmerkung 1)	0	Anzahl/100 mL
	Pseudomonas aeruginosa	0	Anzahl/100 mL
Desinfiziertes Wasser, unmittelbar nach der Desinfektionsmaßnahme	KBE 22 (koloniebildende Einheiten bei 22 °C Bebrütungstemperatur)	10	Anzahl/mL
	KBE 37 (koloniebildende Einheiten bei 37 °C Bebrütungstemperatur)	10	Anzahl/mL
	coliforme Bakterien	0	Anzahl/250 mL
	Clostridium perfringens (einschließlich Sporen)	0	Anzahl/250 mL
	Pseudomonas aeruginosa	0	Anzahl/250 mL
Wasser, das in Flaschen oder dgl. abgefüllt wird und in Verkehr gebracht wird	coliforme Bakterien	0	Anzahl/250 mL
	Clostridium perfringens (einschließlich Sporen)	0	Anzahl/250 mL

Tabelle 2-5: Radioaktivität (Indikatorparameter) (TWV, i. d. g. F.)

Indikatorparameter	Wert	Einheit
Radon	100	Bq/L
Tritium	100	Bq/L
Richtdosis	0,10	mSv

2.2.5 Untersuchungsmethoden für die Analyse der Parameter nach dem Stand der Technik

„Die für die Zwecke der Überwachung und zum Nachweis der Einhaltung dieser Verordnung verwendeten Analyseverfahren müssen im Einklang mit der Norm EN ISO/IEC 17025 oder anderen gleichwertigen international anerkannten Normen validiert und dokumentiert werden. Diese Analyseverfahren müssen in einer gemäß dem Akkreditierungsgesetz 2012 akkreditierten Konformitätsbewertungsstelle oder in einer Konformitätsbewertungsstelle in einem anderen Mitglied- oder Vertragsstaat der EU oder EWR-Staat mit einer dieser gleichzuhaltenden Akkreditierung im Rahmen der gewährten Akkreditierung durchgeführt werden.“ (TWV, i. d. g. F.)

Zur Bestimmung der chemischen Parameter und Indikatorparameter werden in der TWV keine Analyseverfahren namentlich festgelegt. Damit ein Analyseverfahren eingesetzt werden darf, müssen die Mindestverfahrenskennwerte (MVK) der jeweiligen Parameter und Indikatorparameter von dem gewählten Verfahren nachweislich eingehalten werden. (TWV, i. d. g. F.)

Die Definition der Mindestverfahrenskennwerte für chemische Parameter und Indikatorparameter werden in dieser Arbeit nicht angeführt.

„Die nachstehenden Verfahrensgrundsätze für mikrobiologische Parameter haben, sofern ein CEN/ISO-Verfahren angegeben ist, Referenzfunktion. Andere als die genannten Verfahren dürfen angewendet werden, wenn die erzielten Ergebnisse nachweislich mindestens genauso zuverlässig sind, wie die mit den vorgegebenen Verfahren ermittelten Ergebnisse.“ (TWV, i. d. g. F.)

In der Tabelle 2-6 sind die Referenzverfahren zur Bestimmung der jeweiligen mikrobiologischen Parameter angegeben.

Tabelle 2-6: Referenzverfahren zur Bestimmung der mikrobiologischen Parameter (TWV, i. d. g. F.)

Parameter	Referenzverfahren nach Norm
Escherichia coli	EN ISO 9308-1 oder EN ISO 9308-2
Coliforme Bakterien	EN ISO 9308-1 oder EN ISO 9308-2
Enterokokken	EN ISO 7899-2
Pseudomonas aeruginosa	EN ISO 16266
Koloniezahl bei 22°C	EN ISO 6222
Koloniezahl bei 37°C	EN ISO 6222
Clostridium perfringens einschl. Sporen	EN ISO 14189

2.2.6 On-line-Untersuchungsmethode für die Analyse von ausgewählten mikrobiologischen Parametern mit dem ColiMinder

Der ColiMinder wird von der VWMS GmbH entwickelt und vertrieben. Die Firma hat ihren Hauptsitz in Österreich und ist weltweit mit ihrem Produkt für mikrobiologische Wasseranalysen unterschiedlichster Beschaffenheit im Einsatz. Durch die einfache Handhabung und die rasche Analyse von Gesamtzymaktivitäten in Wässern wurde der ColiMinder der Fa. VWMS GmbH zeitweise bei einigen Versuchsserien parallel als alternatives Analysesystem zu den standardmäßig durchgeführten mikrobiologischen Laboruntersuchungen hinzugezogen. Die zusätzliche Echtzeitanalyse ermöglichte zeitweise noch umfangreichere Untersuchung über die Vorgänge in der Testumgebung in Hartl.

2.2.6.1 Beschreibung und Ausstattung des ColiMinders

Herkömmliche mikrobiologische Trinkwasseruntersuchungen nach 2.2.5 benötigen ca. 3 Tage für die Bewertung der mikrobiologischen Trinkwasserqualität. Der ColiMinder kann spezifische mikrobiologische Organismen in wenigen Minuten detektieren und deren Anzahl abschätzen.

Für die in Hartl im Rahmen dieser Masterarbeit untersuchten Versuchsreihen stand für die mikrobiologischen Untersuchungen zeitweise auch ein ColiMinder CMI-02-ERU-Mobile (Emergency Response Unit) zur Verfügung. Dieser war für die Untersuchungen in Hartl mit zusätzlichen Aufbauten, wie Batterien, Abwassertank und Multisampler ausgestattet. Der Vorteil dieser Einheit ist die automatisierbare Messung von bis zu 10 Proben in Folge und auch eine kontinuierliche Messung von 2 Proben über einen festgelegten Zeitraum. (VWMS GmbH, 2023)

Das Kernstück des ColiMinders ist das fluorometrische Messgerät, das die mikrobiologischen Verunreinigungen in der zur Verfügung gestellten Probe detektieren kann und innerhalb von wenigen Minuten auch schon eine Auswertung der Messung liefert. Die Auswertungen werden im System direkt gespeichert und können bei einer internetfähigen Anbindung jederzeit auch on-line abgerufen werden. (VWMS GmbH, 2023)

Die Kontrolle und Überwachung des ColiMinders ist on-line über eine VPN-Verbindung möglich. Die elektrische Energieversorgung ist entweder mit einer stationären Versorgung oder mit einer Autobatterie oder aber auch mit Photovoltaikpaneelen möglich. (VWMS GmbH, 2023)

Zur Reinigung während des Betriebs ist eine Reinigungslösung zu verwenden, die zwischen den Prozessen automatisch aus einem Vorratsbehälter entnommen wird. Für die wiederkehrende Kalibrierung und zur Eigenkontrolle wird steriles Wasser in einem Vorratsbehälter verwendet. Dieser Behälter samt Inhalt muss bei längerem Betrieb regelmäßig getauscht werden. (VWMS GmbH, 2023)

„Der ColiMinder wird auf wissenschaftlich definierte enzymatische Aktivitätswerte für jeden gegebenen Zielorganismus kalibriert.“ (VWMS GmbH, 2023)

Der ColiMinder kann im Wesentlichen drei mikrobiologische Parameter der Wasserqualität bestimmen. Je nach Anwendungsgebiet ist der ColiMinder dafür entsprechend umzurüsten. Die dafür erforderlichen Reagenzien-Kits können je nach Verwendungszweck in verschiedenen Beprobungsmengen geordert und eingesetzt werden. (VWMS GmbH, 2023)

Zwei der drei verfügbaren Analyseparameter sind auch als Grenzwerte in der österreichischen Trinkwasserverordnung definiert und werden wie folgt von der Fa. VWMS GmbH beschrieben: (VWMS GmbH, 2023)

- E. Coli (GUS)
Beta-D-Glucuronidase Activity Assay-Kit. Entwickelt für die Messung der enzymatischen Aktivität von E. coli in Süßwasser (RK-EC) oder Salzwasser (RK-EC-SW) (VWMS GmbH, 2023)
- Enterokokken (GLU)
Beta-D-Glucosidase-Aktivitäts-Assay-Kit. Entwickelt, um die enzymatische Aktivität von Enterokokken in Süßwasser (RK-EN) oder Salzwasser (RK-EN-SW) zu messen. (VWMS GmbH, 2023)

Zusätzlich zu diesen beiden Parametern kann der ColiMinder auch die Gesamt-enzymaktivität der im Wasser befindlichen Keime analysieren:

- Gesamtenzymaktivität (ALP)
Assay-Kit für alkalische Phosphatase-Aktivität. Entwickelt zur Messung der gesamten mikrobiologischen Aktivität in Süßwasser (RK-TA) oder in Mineralwässern mit hohem Mineralgehalt. (VWMS GmbH, 2023)

Die in der Abbildung 2-6 dargestellte ColiMinder-Einheit wurde bei den Versuchsdurchführungen in Hartl eingesetzt. (VWMS GmbH, 2023)



Abbildung 2-6: ColiMinder CMI-02-ERU-Mobile (Emergency Response Unit) (VWMS GmbH, 2023).

2.2.6.2 Methodik

Für die Bestimmung des hygienischen Zustandes der Wasserprobe nutzt der Coli-Minder nicht die herkömmliche Methode durch Aufbringung und Bebrütung der Wasserprobe auf ein Nährmedium, sondern er misst die Enzymaktivität der Keime in der vorhandenen Wasserprobe. Die Unterscheidung zwischen E. coli, Enterokokken und der Gesamtenzymaktivität wird durch die jeweiligen zugeführten Reagenzien bestimmt. (VWMS GmbH, 2023)

Ein Messvorgang dauert bis zur erneuten Einsatzbereitschaft ca. 30 min und ist auch kontinuierlich betreibbar. Die einzelnen Phasen des Messvorganges laufen vollständig automatisiert ab und bestehen im Wesentlichen aus der Vorreinigung, Probenahme, Heizphase, Analysephase und Reinigungsphase. Über einen zusätzlich verfügbaren 10-fach Sampler können mehrere Proben für die Analysen vorbereitet werden, die entsprechend des vorgegebenen Beprobungsplanes abgearbeitet werden können. (VWMS GmbH, 2023)

„Der enzymatische Ansatz:

Der enzymatische Ansatz bewertet den Kontaminationsgrad durch Messen eines Signals von allen Zielorganismen im Probenvolumen. Dieser Ansatz erfordert keine Probenvorbehandlung und weniger ausgefeilte Technologie und ist daher robuster als Ansätze zur Bewertung einzelner Organismen. Der grundlegendste Hinweis auf einen lebensfähigen Organismus ist sein Stoffwechsel, da er die Energie widerspiegelt, die die Zelle aus der Umgebung aufnimmt. Dieser Stoffwechsel erfolgt durch Enzyme. Es gibt kein grundlegendes Maß für die Lebensfähigkeit als die Stoffwechselaktivität. Es gibt Enzyme, die für bestimmte Organismen oder Gruppen von Organismen spezifisch sind. Dies bietet die Möglichkeit, die Stoffwechselaktivität der jeweiligen Zielorganismen gezielt zu messen. Die Metrik ist die enzymatische Aktivität pro Volumen eines bestimmten Enzyms. Sie gibt den energetischen Umsatz der Zielorganismen pro Volumen oder anders ausgedrückt die Konzentration an lebenden Zielorganismen wieder, die den Grad der Kontamination darstellt.“ (VWMS GmbH, 2023)

2.2.6.3 Auswertung und Interpretation der Ergebnisse

Die Ergebnisauswertung der Trinkwasserprobe wird nach der Beendigung des Analyseprozesses in der Datenbank gespeichert, an der Bedienoberfläche visuell dargestellt und das quantitative Ergebnis der Gesamtenzymaktivität (ALP) in $\mu\text{U}/100\text{ mL}$ (Mikrounits) ausgegeben. Diese Einheit bezieht sich auf die alkalische Phosphatase. Eine Einheit (U) hydrolysiert $1,0\text{ }\mu\text{mol}$ para-Nitrophenylphosphat (pNPP) pro Minute in Glycinpuffer bei pH10,4 bei $37\text{ }^{\circ}\text{C}$. (VWMS GmbH, 2023)

Eine definierte Skala oder Grenzwerte bei Messwerten von Trinkwasser wurde vom Hersteller empirisch ermittelt. (VWMS GmbH, 2019)

Einstufung der Trinkwasserqualität nach der VWMS GmbH (2019):

- | | |
|------------------------|---------------------------------|
| • Sehr gut | < 10 µU/100 mL |
| • Gut | 10 µU/100 mL bis < 15 µU/100 mL |
| • Ok | 15 µU/100 mL bis 25 µU/100 mL |
| • Fragwürdige Qualität | > 25 µU/100 mL |

Steriles Wasser liegt je nach Zustand in einem Wertebereich, zwischen 3 µU/100 mL und 5 µU/100 mL. Diesen hygienischen Zustand sollte man auch als Ausgangszustand betrachten, ähnlich einer Nullpunktverschiebung. Die Angabe von absoluten Grenzwerten ist hier nicht praktikabel, da der ColiMinder bzw. das Messverfahren sehr sensibel auf die jeweilige Stichprobe reagiert. Eine exakte Reproduzierbarkeit desselben Messwertes ist nur schwer möglich, alleine schon aufgrund der permanenten Veränderung der Wasserprobe selbst. (VWMS GmbH, 2023)

Das bedeutet im Umkehrschluss, dass der ColiMinder sehr genaue Messwerte liefert. Für die Interpretation der Messwerte sind die Kenntnisse aller Randbedingungen der Wasserprobe erforderlich, um eine gesicherte Aussage über die Wasserqualität zu tätigen.

Bei bekannten Randbedingungen und definierten Fragestellungen ist der ColiMinder ein akkurates Messinstrument, das nahezu vollständig automatisiert kontinuierliche Wasserqualitäten messen und aufzeichnen kann.

2.2.6.4 Anwendungsbereiche

Der ColiMinder ist aufgrund seiner Mobilität und seiner Zuverlässigkeit vielerorts einsetzbar. Die einfache Bedienbarkeit ist ein Vorteil, da die Messungen bereits nach einer kurzen Einschulung ohne Fachpersonal durchführbar sind. Unter der Einhaltung diverser Prozessabläufe und Probevorbereitungen sind die Ergebnisse reproduzierbar. (VWMS GmbH, 2023)

Dies spiegelt auch die umfangreiche Referenzliste seiner bisherigen Einsatzorte, an denen der ColiMinder bereits im Einsatz war, wider. Die weltweite Verwendung, wie z. B. in Rumänien, Australien, USA, Frankreich, Neuseeland, Israel, Schweden, Südafrika, Hongkong, Canada und weiteren Ländern, zeigt, dass ein Bedarf an derartigen Messinstrumenten und Überwachungseinheiten für Wässer gegeben ist. (VWMS GmbH, 2023)

2.3 Trinkwasseraufbereitung

Wasser ist eine Lebensgrundlage für alle Lebewesen und ist unabdingbar für das Fortbestehen der Menschheit. Die direkt nutzbaren Trinkwasservorkommen sind endlich und nehmen vielerorts auf Grund verschiedener Umwelteinflüsse in einer fassbaren Zeitperiode deutlich ab. Der Rückgang der Ergiebigkeit von Quellen und des Grundwasservorkommens wird in vielen Regionen der Welt zunehmend ein Problem für die Versorgung der Einwohner mit sauberem Trinkwasser.

Daher muss die Priorität der Wasserversorger darin liegen, das vorhandene Darangebot bestmöglich auszunutzen, um die Versorgung der Verbraucher dauerhaft zu sichern.

Vorwiegend soll das Trinkwasser ohne Aufbereitungsmaßnahmen bereitgestellt werden, sofern die Parameter und Indikatorparameter der TWV eingehalten werden. (ÖLMB, 2007)

2.3.1 Aufbereitungsverfahren in Österreich

Für die Nutzung von Grundwasser als Trinkwasser muss der hygienisch einwandfreie Nachweis für das jeweilige Wasserdargebot erbracht werden. Der Beprobungsumfang und die Häufigkeit der Untersuchungen sind in der TWV bzw. werden von den zuständigen Behörden festgelegt. Ist das genutzte Grundwasser in einer Art beeinträchtigt, dass es schädlich für den Menschen sein würde, muss es vor der Einspeisung oder Speicherung aufbereitet werden. Das aufzubereitende Wasser ist vor und nach einer Aufbereitungsanlage zu beproben, um die Wirksamkeit der Maßnahme feststellen zu können. (TWV, i. d. g. F.)

In diesem Falle werden die notwendigen Aufbereitungsmaßnahmen auf das Rohwasser abgestimmt. In Österreich können ca. zwei Drittel des Grundwassers ohne Aufbereitung in die Wasserversorgungsanlagen eingespeist werden. Die übrigen Grundwasservorkommen werden mit adäquaten Maßnahmen behandelt. (ÖVGW, 2023)

2.3.2 Mikrobiologische Aufbereitung von Trinkwasser

Die Aufbereitung von Trinkwasser in mikrobiologischer Hinsicht nennt man Trinkwasserdesinfektion. Die Desinfektionsmaßnahmen bewirken eine irreversible Inaktivierung der gesundheitsschädlichen Mikroorganismen im Trinkwasser. Sämtliche physikalische und chemische Anforderungen müssen bei dem zu behandelnden Wasser der TWV entsprechen. (ÖLMB, 2007)

„Als Grundvoraussetzungen für die Verwendung von Desinfektionsmitteln gilt, dass nur Stoffe eingesetzt werden dürfen, die den Zulassungsbedingungen nach dem Biozid-Produkte-Gesetz – BiozidG, BGBl. I Nr. 105/2000 idgF, entsprechen.“ (ÖLMB, 2007)

Für die Trinkwasserdesinfektion sind lt. dem Lebensmittelbuch vom Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz folgende Verfahren zulässig: (ÖLMB, 2007)

- Chlorung mit Natrium-, Kalium-, Calcium- oder Magnesiumhypochlorit
- Chlorung mit Chlorgas
- Behandlung mit Chlordioxid
- Ozonung
- UV-Bestrahlung

*„Die Wirksamkeit der Maßnahme ist durch routinemäßige Kontrollen vor und unmittelbar nach Abschluss der Desinfektion zu überprüfen. Dabei sind jeweils auch die Parameter *Pseudomonas aeruginosa* und *Clostridium perfringens* in die Untersuchung aufzunehmen. Zur direkten Vergleichbarkeit der Ergebnisse wird empfohlen, die Untersuchung auf Indikatorbakterien auch im Wasser vor der Desinfektion in einem Probevolumen von 250 mL durchzuführen.“* (ÖLMB, 2007)

„Die Zulässigkeit von nicht angeführten Desinfektionsverfahren kann durch die Codexkommission nach Vorliegen entsprechender Sachverständigengutachten festgestellt werden.“ (ÖLMB, 2007)

Bei den Desinfektionsmaßnahmen muss man darauf achten, welche Nebenprodukte entstehen können und welche Art von Kontamination vorliegt. Mit der Chlorung können nur mikrobiologische Bakterien und krankheitserregende Viren inaktiviert werden. Gegen Parasiten ist die höchstzulässige Menge an Chlor zu gering. Auch der pH-Wert eines Wassers spielt für die Wirkung einer Desinfektionsmaßnahme mit Chlor eine Rolle. (Baur et al., 2019)

Generell ist zu beachten, dass eine ausreichende Einwirkzeit und Konzentration des Desinfektionsmittels sichergestellt werden. Eine Trübung des Wassers kann die Wirksamkeit der Desinfektionsverfahren vermindern. (Baur et al., 2019)

2.3.2.1 Chlorung mit Hypochloritlösungen oder mit Chlorgas

Bei der Chlorung wird über ein Impfstück (Injektor) das Rohwasser mit einer Hypochloritlösung oder mit Chlorgas beimpft. Durch die Einbringung des Desinfektionsmittels können krankheitserregende Mikroorganismen abgetötet bzw. inaktiviert werden. Die Dosierung erfolgt kontinuierlich und muss an die Durchflussmenge in der Rohwasserleitung angepasst werden. (Baur et al., 2019)

Das Desinfektionsverfahren bei dem Hypochloritlösungen oder Chlorgas verwendet wird, bezeichnet man als Chlorung. Nach der geforderten Reaktionszeit von mindestens 30 Minuten darf eine Restkonzentration von 0,3 mg/L Cl₂ nicht unterschritten und von 0,5 mg/L Cl₂ nicht überschritten werden. Die Menge an freiem Chlor darf bei den Abnehmern nicht mehr als 0,3 mg/L Cl₂ enthalten. (ÖLMB, 2007)

Nicht geeignet ist die Chlorung für die Desinfektion von Wässern mit einem Ammoniumgehalt von über 0,2 mg/L NH_4 , da es zu einer Bildung von Nitrit kommen könnte. Des Weiteren ist bei der Chlorung von huminstoffreichen Wässern auf die Bildung von Nebenprodukten, wie leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe, zu achten. (ÖLMB, 2007)

2.3.2.2 Behandlung mit Chlordioxid

Bei der Verwendung von Chlordioxid wird vor Ort eine Chlordioxidlösung in einem Vorratsbehälter hergestellt und danach über eine Dosiereinrichtung in die Rohwasserleitung kontinuierlich eingebracht. Die Dosierungsmenge muss auf die Durchflussmenge in der Rohwasserleitung abgestimmt werden. Durch die Einbringung des Desinfektionsmittels können krankheitserregende Mikroorganismen abgetötet bzw. inaktiviert werden. (Baur et al., 2019)

„Neben Chlor und Hypochloriten wird in Deutschland zunehmend auch Chlordioxid für die Desinfektion von Trinkwasser eingesetzt. Gründe hierfür sind die Vermeidung der Trihalogenmethanbildung, die im Vergleich zu Chlor bessere Wirkung bei höheren pH-Werten, die geringere Bildung von Geruch und Geschmack bei der Nutzung von Oberflächenwasser für die Trinkwasseraufbereitung sowie eine inzwischen ausgereifte Herstellungs- und Dosiertechnik.“ (Baur et al., 2019)

„Bei der Desinfektion mit Chlordioxid (angegeben als ClO_2) beträgt die Zugabe mindestens 0,2 mg/L ClO_2 und höchstens 0,4 mg/L ClO_2 . Eine Mindestreaktionszeit von 15 Minuten ist einzuhalten, wobei auf ausreichende Durchmischung zu achten ist.“ (ÖLMB, 2007)

Bei den Abnehmern darf eine zulässige Höchstkonzentration von 0,2 mg/L Chlorit vorhanden sein, das als unerwünschtes Nebenprodukt bei diesem Desinfektionsverfahren entsteht. (ÖLMB, 2007)

Bei den Desinfektionsverfahren mit Chlor, welche zur Aufrechterhaltung der mikrobiologischen einwandfreien Wasserqualität am Transportweg dienen, muss die Dosierung so erfolgen, dass es am Ende der Verteilerleitungen eine Restkonzentration feststellbar ist, jedoch die zulässigen Höchstkonzentrationen der jeweiligen Desinfektionsmittel nicht überschreitet. (ÖLMB, 2007)

2.3.2.3 Ozonung

Bei der Ozonung wird das Luft/Ozon-Gemisch über Injektoren in das Rohwasser eingebracht und reagiert aufgrund des hohen Oxidationsvermögens mit den Inhaltsstoffen des Rohwassers. Die Abluft im Reaktionsbehälter muss gefiltert werden, da sich darin noch Restkonzentrationen des Ozons befinden. (Baur et al., 2019)

„Bei der Desinfektion mit Ozon muss die Ozonzugabe so eingestellt bzw. geregelt werden, dass nach einer Reaktionszeit von mindestens 4 Minuten noch eine Restkonzentration von mindestens 0,1 mg/L Ozon (angegeben als O₃) nachzuweisen ist. Auf die ausreichende Durchmischung ist zu achten. Die Restkonzentration an Ozon ist durch eine kontinuierliche Messung (z. B. über das Redoxpotential) zu überwachen.“ (ÖLMB, 2007)

An den Abnahmepunkten im Verteilungsnetz darf eine Höchstkonzentration von 0,05 mg/L O₃ festgestellt werden. Bei huminstoffhaltigen Wässern können Reaktionsprodukte entstehen (ÖLMB, 2007)

Bei der Benützung von Ozon als Desinfektionsmittel müssen die Rohrwerkstoffe korrosionsbeständig sein. Auch bei der Ozonung können unerwünschte Nebenprodukte gebildet werden. Bromat kann durch die Behandlung von bromidhaltigen Wässern mit Ozon entstehen. (Baur et al., 2019)

2.3.2.4 UV-Desinfektion von Trinkwasser

Bei der UV-Desinfektion wird die Bestrahlungskammer vom Rohwasser durchströmt. In der Bestrahlungskammer sind UV-Strahler situiert, die das vorbeifließende Wasser mit einer Wellenlänge von 253,7 nm bestrahlen. Durch diese Maßnahme wird das Erbgut von Mikroorganismen und Viren zerstört. Eine Vermehrung ist nicht mehr möglich. Sofern die Bestrahlungsparameter nicht eingehalten werden, kann eine Reaktivierung der Zellen stattfinden. (Baur et al., 2019)

Die Desinfektionsmaßnahmen mittels UV-Strahlung müssen bestimmte Betriebsbedingungen permanent einhalten. Eine Strahlungsdosis von 400 J/m² auf einer Wellenlänge von 253,7 nm sind für eine wirksame Desinfektion vorgesehen. Der Durchfluss, die Mindest-Referenzbestrahlungsstärke und die UV-Durchlässigkeit werden ständig gemessen, um den einwandfreien Betrieb der Anlage zu gewährleisten. Bei Abweichungen der Betriebsparameter wird der weitere Zufluss in die Wasserversorgungsanlage gestoppt. Eine Einspeisung in das Verteilungsnetz muss verhindert werden. (ÖLMB, 2007)

2.3.3 Physikalische und chemische Aufbereitungsverfahren

Die zulässigen Trinkwasseraufbereitungsverfahren in Österreich nach dem Lebensmittelbuch vom Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz sind (ÖLMB, 2007):

- Entfernung von suspendierten Stoffen:
 - Sedimentation
 - Flotation
 - Flockung
 - Filtration

- Enteisung und Entmanganung
 - Oxidation mit Luftsauerstoff, Ozon oder Kaliumpermanganat
 - Biologische Enteisung und Entmanganung
- Entsäuerung
 - Entfernung des Kohlenstoffdioxids durch Belüftung
 - Chemische Entfernung des Kohlenstoffdioxids durch Filtration mit geeigneten Filtermaterialien
- Korrektur des pH-Wertes
 - Zugabe von Salzsäure, Schwefelsäure, Kohlenstoffdioxid
 - Zugabe von Calciumhydroxid, Calciumoxid, Natriumhydroxid, Natriumhydrogencarbonat, Natriumcarbonat
- Entfernung von Ammonium
 - Biologische Oxidation
- Entfernung von Schwefelwasserstoff
 - Belüftung
- Verminderung des Nitratgehaltes
 - Biologische Denitrifikationsverfahren
 - Ionenaustausch
 - Membrantechnologie (z.B. Umkehrosmose)
 - Elektrodialyse
- Enthärtung
 - Langsamentkarbonisierung
 - Schnellentkarbonisierung
 - Ionenaustausch
- Entfernung gelöster organischer Stoffe
 - Flockung mit Sedimentation oder Filtration
 - Adsorption an Aktivkohle
 - Flockungsfiltration mit Adsorption an Aktivkohle, Aluminiumoxid oder Kieselgur
 - Oxidation durch Ozon, Wasserstoffperoxid, Natriumperoxodisulfat
 - Verstärkte Oxidation (Oxidation mit Ozon und Wasserstoffperoxid oder Ozon unter UV-Bestrahlung)

- Biologisch arbeitende Anlage, auch nach Oxidationsverfahren
- Membrantechnologie (z. B. Umkehrosmose)
- Entfernung leichtflüchtiger halogenierter aliphatischer Kohlenwasserstoffe
 - Belüftung
 - Adsorption an Aktivkohle
 - Verstärkte Oxidation (Oxidation mit Ozon und Wasserstoffperoxid oder Ozon unter UV-Bestrahlung)

Die Aufbereitungsverfahren sollen die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Rohwassers an die einzuhaltenden Parameterwerte und Indikatorparameterwerte der Trinkwasserverordnung anpassen und für die kontinuierliche Einhaltung sorgen. (ÖLMB, 2007)

„Für die Trinkwasseraufbereitung sind die angegebenen Verfahren einzeln oder in Kombination zulässig. Die Wirksamkeit der angewandten Verfahren ist durch die angeführten Überprüfungen bzw. Untersuchungen, die jeweils vor und nach dem Aufbereitungsverfahren durchzuführen sind, festzustellen.“ (ÖLMB, 2007)

Nach den Aufbereitungsmaßnahmen wird das Trinkwasser in Wasserbehälter gespeichert und mit den Verteilerleitungen zu den angeschlossenen Objekten geliefert.

2.4 Hygiene in Trinkwasseranlagen

Die Untersuchung des Trinkwassers an den primären Anlagepunkten einer WVA ist notwendig, um eine ausreichende Sicherheit der Trinkwasserqualität gewährleisten zu können. Die Probenahme in der Quell- und Brunnenstube, am Wasserspeicher und an definierten Leitungspunkten im Versorgungsnetz ist für die Überwachung des Systems wie auch für die Ermittlung einer Ursachensuche für problematische Trinkwasserqualität notwendig. Derzeit werden die meisten Trinkwasseranlagen stichprobenartig in regelmäßigen Abständen überprüft. Ein kontinuierliches Monitoring ist in den seltensten Fällen verfügbar. (TWV, i. d. g. F.)

Für die Versorgung der Einwohner wird hygienisch einwandfreies Trinkwasser in einem Wasserbehälter gespeichert und bei Bedarf in das Leitungsnetz abgegeben. Damit sich die Qualität des Trinkwassers während des Transportes nicht verschlechtert, ist beim Bau von Wasserversorgungsanlagen auf eine hygienische Arbeitsweise der ausführenden Firma zu achten. (ÖVGW, 2012)

„Jedes in der Wasserverteilung verwendete Material wird im Zuge des Herstellungsprozesses hohen Temperaturen ausgesetzt und ist daher zunächst steril.“ (ÖVGW, 2012)

Daher sind die korrekte Lagerung und der sorgfältige Umgang mit den Bauteilen auf der Baustelle Grundvoraussetzung für eine hygienisch einwandfreie Rohrleitung bzw. Trinkwasseranlage. Durch die Nutzung von Grundwasser werden die im Boden vorhandenen unzähligen Mikroorganismen in das Wasserversorgungssystem eingespeist. Völlig sauberes Grundwasser ohne lebendige Mikroorganismen kommt in der Natur nicht vor. Auch nach den Aufbereitungsmaßnahmen sind noch zahlreiche Mikroorganismenarten im Trinkwasser vorhanden. (ÖVGW, 2012)

Der Keimeintrag aus den Grundwasservorkommen und die Abgabe von abgestorbenen Kolonien aus einem stabilen gesunden Biofilm in das Wasser entsprechen der natürlichen Sterblichkeitsrate von Keimen im Wasser. Daher ist kein oder nur ein sehr geringer Unterschied bei Trinkwasseruntersuchungen des eingespeisten Trinkwassers an den verschiedenen Probenahmestellen in einer Wasserversorgungsanlage zu erkennen. (Korth et al., 2007)

Geht man von hygienisch einwandfreien Wässern in einer Trinkwasserversorgungsanlage aus, bildet sich an den benetzten Oberflächen ein einwandfreier Biofilm. Eine Verkeimung des vorbeifließenden Wassers ist nicht zu erwarten. (ÖVGW, 2012)

2.4.1 Mikroorganismen und Aufbau des Biofilmes

Wird das Grundwasser aus Quellvorkommen oder Brunnenanlagen gespeichert und im Wasserverteilsystem an die Haushalte geliefert, kommen sämtliche Oberflächen der Bauteile einer Wasserversorgungsanlage mit dem Trinkwasser in Berührung. Durch die Benetzung der Bauteile mit Trinkwasser heften sich einzelne Mikroorganismen an der Oberfläche von Rohren bzw. Behältern an. Aufgrund des Nährstoffangebotes des Grundwassers vermehren sich die Mikroorganismen und bilden nach geraumer Zeit eine Kolonie. Das Wachstum findet so lange statt, solange ein Nährstoffangebot vorhanden ist, oder die Kolonien aufeinandertreffen und aus Platzmangel nicht weiterwachsen können. (ÖVGW, 2012)

„Koloniebildende Bakterien vermehren sich bei den üblichen im Trinkwasser vorhandenen niedrigen Nährstoffkonzentrationen nahezu ausschließlich auf den Oberflächen.“ (Korth et al., 2007)

Die Koloniebildung ist auch abhängig von dem Verhältnis der benetzten Oberfläche zu dem Volumen des Mediums. Je größer das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen ist, desto stärker ist das Wachstum der Bakterien im Biofilm. (Korth et al., 2007)

Der Biofilm baut sich über einen längeren Zeitraum auf, bis dieser sich stabilisiert und die Vermehrung von Mikroorganismen stagniert. In der Abbildung 2-7 sind die möglichen Entwicklungsschritte eines Biofilms dargestellt (ÖVGW, 2012).

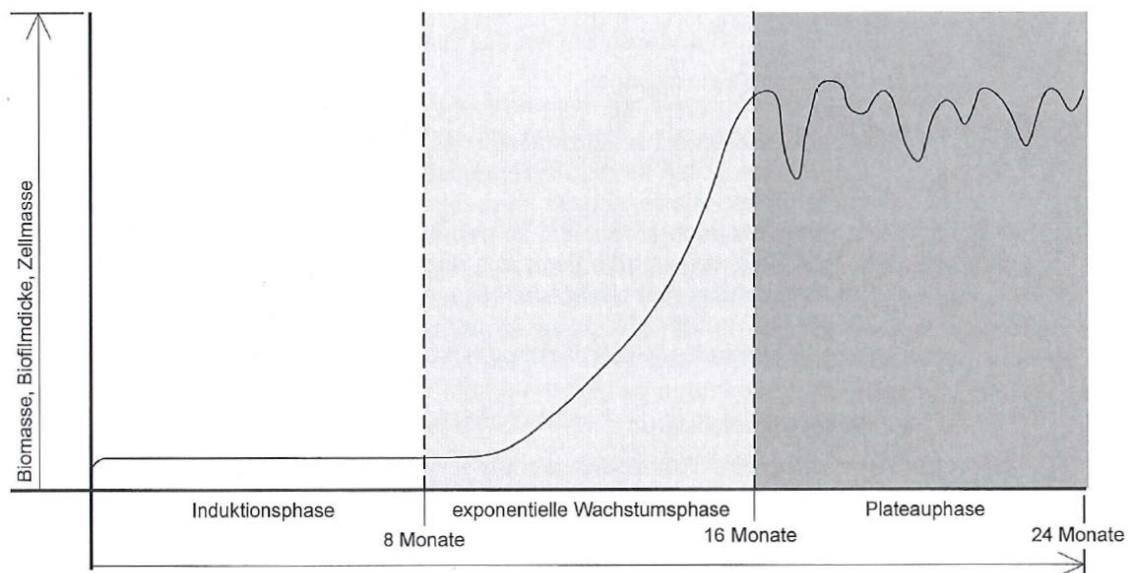


Abbildung 2-7: Mögliche Entwicklungsschritte an benetzten Oberflächen in Trinkwasserleitungen (ÖVGW, 2012).

Durch die Vermehrung und Bildung von Kolonien kommt es in der Induktionsphase und exponentiellen Wachstumsphase zu messbaren Einträgen von koloniebildenden Einheiten in den Wasserproben. In der Abbildung 2-8 sind die koloniebildenden Einheiten bei einer Bebrütungstemperatur von 22 °C dargestellt. Die Untersuchungsergebnisse entsprechen dabei dem normalen Verlauf bei einer Bildung eines Biofilmes an benetzten Oberflächen und stellen kein hygienisches Risiko dar. (ÖVGW, 2012)

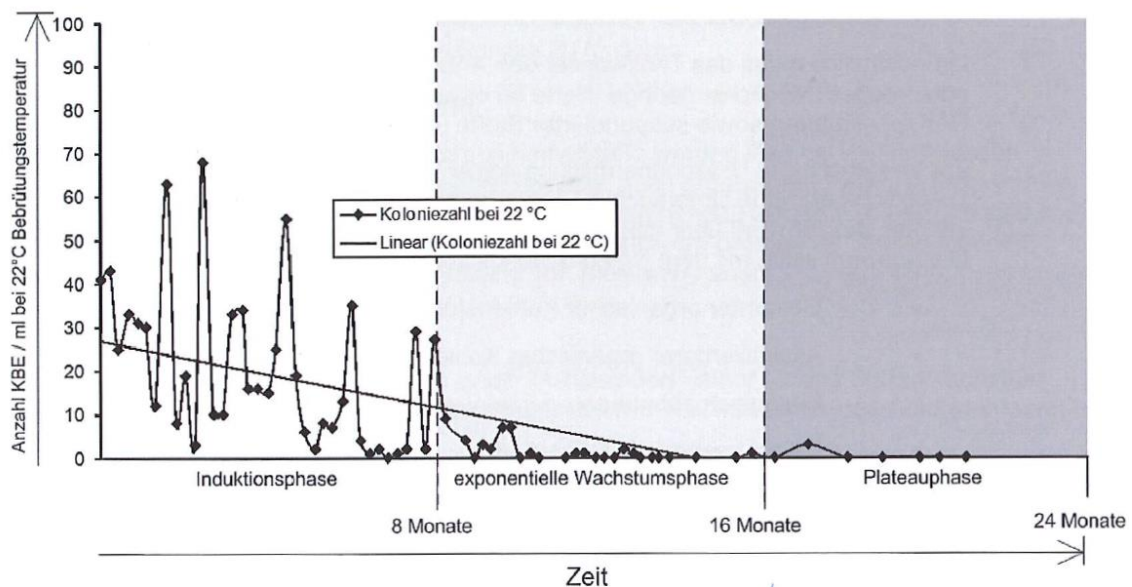


Abbildung 2-8: Beispiel für Koloniezahlen im Wasser während des Aufbaues eines Biofilmes (ÖVGW, 2012).

Der Biofilm bildet sich je nach Wasserbeschaffenheit unterschiedlich aus. Sofern die Gegebenheiten des Grundwassers sich nicht ändern, stabilisiert sich der Biofilm und ein Dauerzustand stellt sich ein. Der Biofilm ist sehr widerstandsfähig

und kann kurzfristige Störungen, ohne sich zu verändern, überleben. Bei langfristigen Änderungen der Wasserbeschaffenheit passt sich der Biofilm an die neuen Gegebenheiten an. Sobald dieser sich in einem stabilisierten Dauerzustand befindet, ist das Trinkwasser in der Regel bakteriologisch einwandfrei. (ÖVGW, 2012)

Nach den Erkenntnissen des DVGW-Technologiezentrums Wasser in Dresden sind zumeist folgende Gründe für erhöhte Koloniezahlen verantwortlich: (Korth et al., 2007)

- Ungeeignete Probenahmestellen
- Eintrag von außen
- Schwankende Desinfektionsrestkonzentrationen
- Veränderung des Nährstoffgehaltes des Wassers
- Fehlen oder Beschädigung des Biofilms in Leitungen

Jeder Eingriff und jede Veränderung der Rahmenbedingungen in einer Wasserversorgungsanlage wirken sich erheblich auf die Anzahl der Keime im Trinkwasser aus.

2.4.2 Störungen des Biofilmes

Das Vorkommen von Keimen in Trinkwasseranlagen kann durch mehrere Prozesse verursacht werden. Neben dem Eintrag von außen kann der Biofilm Keime an das Wasser abgeben. Abgestorbene Keime aus dem Biofilm stellen wiederum Nahrung für die vorhandenen Kolonien dar, was zu einem Anstieg des Wachstums der Keime in der Trinkwasserprobe führt. (Korth et al., 2007)

Folgende Faktoren können einen Biofilm beeinflussen und stören: (ÖVGW, 2012)

- Mechanische Einwirkungen:
Höhere Fließgeschwindigkeiten, Spülen unter Luftzusatz, Molchen (siehe Kapitel 2.5.5.2) und dergleichen können obere Schichten des Biofilmes abtragen. Durch die Abtragung stellen die Mikroorganismen an anderer Stelle ein Nährstoffangebot dar, welches zu höherer Aktivität des Biofilmes führen kann. (ÖVGW, 2012)
- Chemische Einwirkungen:
Die Angriffe durch Reinigungs- und Desinfektionsmittel stören den Biofilm durch Abtöten der Zellen der Mikroorganismen. Dadurch wird wiederum Nahrung für andere Kolonien an den Oberflächen freigesetzt. Die Spülmaßnahmen nach diesen Behandlungen verteilen die Nährstoffe im System. Rückstände an Behälterwänden können durchaus Nährstofflieferanten werden, wobei das gespeicherte Wasser längerfristig eine hohe Keimaktivität aufweist. (ÖVGW, 2012)

- **Sedimentmobilisierung:**
Wenn Sedimente im Rohrnetz in hydraulisch gering belastete Rohrab-schnitte gelangen, setzen sich diese ab und es können unter Umständen anaerobe Verhältnisse entstehen und zur Entwicklung von coliformen Bakterien in den Sedimentschichten beitragen. (ÖVGW, 2012)
- **Änderung des Nährstoffangebotes:**
Grundsätzlich soll Trinkwasser möglichst geringe Werte an organischen Substanzen enthalten. Biologisch leicht verfügbare organische Inhaltsstoffe stellen einen hervorragenden Nährstoff für Mikroorganismen dar. Dadurch kann es zu einem Wachstum des Biofilms im Rohrnetz kommen. (ÖVGW, 2012)

2.4.3 Stabilisierung eines Biofilmes und Stagnation in Rohrleitungen

Bei neuen Leitungen muss sich ein Biofilm erst bilden. Dies dauert je nach Werkstoff und Durchmesser unterschiedlich lange. Der Aufbau des Biofilmes wurde vom DVGW-Technologiezentrum Wasser in Dresden in einem Modellversuch untersucht. Die Modellleitung (DN 50, Edelstahl) wurde mit einem konstanten Durchsatz betrieben. Wiederkehrende Stagnationsversuche wurden durchgeführt. Dabei konnten unterschiedliche Keimzahlen, abhängig von der Betriebsdauer der Rohrleitung, im Wasser nachgewiesen werden, wie in der Abbildung 2-9 dargestellt ist. Folgend steht die Abkürzung KZ20 für die Koloniezahl bei 20 °C Bebrütungstemperatur. (Korth et al., 2007)

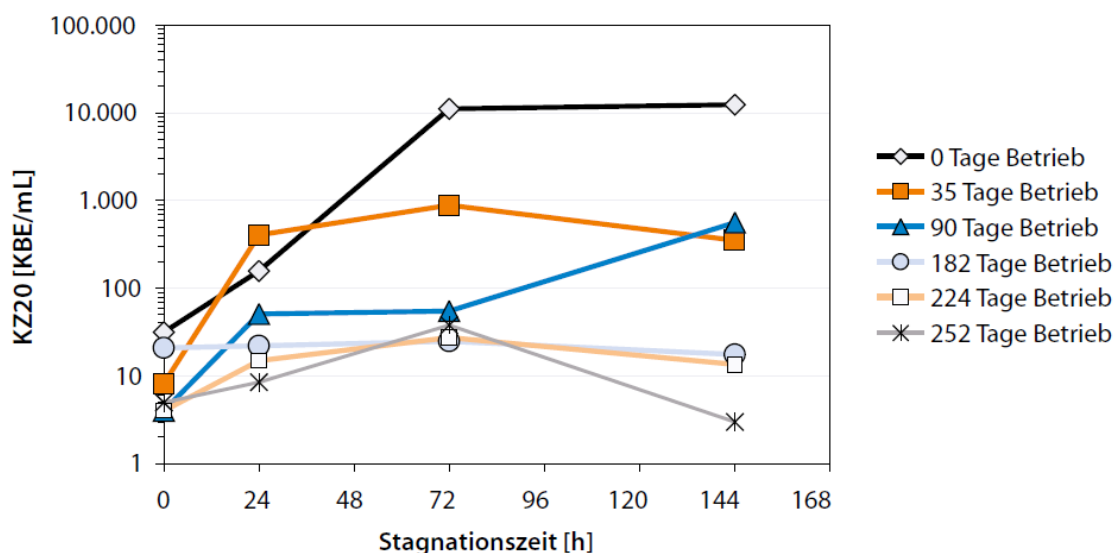


Abbildung 2-9: Veränderung der Koloniezahl während der Stagnation mit zunehmender Betriebsdauer einer Leitung (Korth et al., 2007).

Dieser Stagnationsversuch zeigte, dass ein vorhandener stabiler Biofilm erheblichen Einfluss auf den Anstieg der Keimanzahl bei Stagnation in Trinkwassersystemen hat. Vor allem bei den erst kürzer durchflossenen Leitungen ist die Keimanzahl teilweise um ein Vielfaches größer als bei den Rohren, die schon längere Zeit in Betrieb waren.

Die Abbildung 2-10 zeigt einen Stagnationsversuch, bei dem eine Asbestzementrohrleitung vor einem Spülvorgang und danach untersucht wurde. Durch den Spülvorgang wurde der Biofilm beschädigt, was einen Anstieg der Keimanzahl zufolge hatte. Nachdem das Nährstoffangebot aufgebraucht wurde, nahm die Anzahl an koloniebildenden Einheiten ab. (Korth et al., 2007)

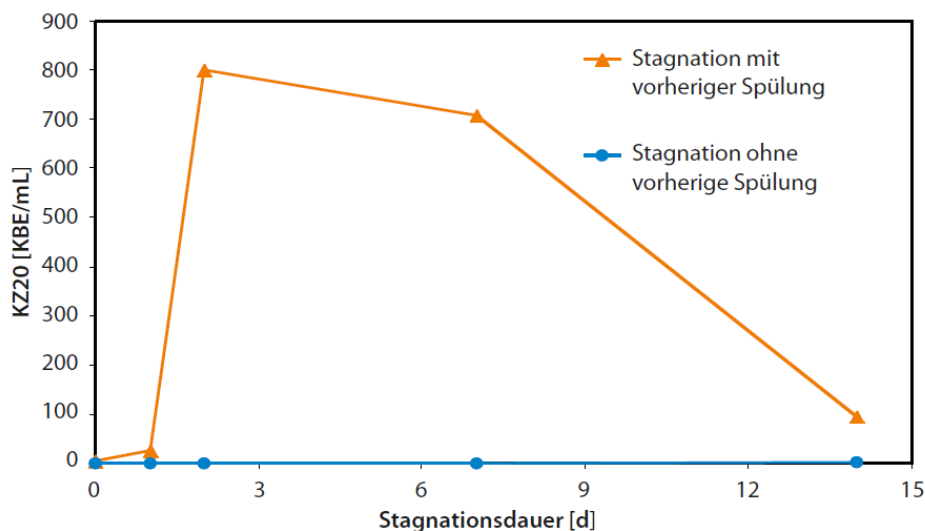


Abbildung 2-10: Veränderung der Koloniezahl im untersuchten Trinkwasser während der Stagnation einer Leitung in einem Versorgungsnetz mit und ohne vorherige Spülung (Korth et al., 2007).

2.5 Maßnahmen für Rohrleitungssysteme bei mikrobiologischer Beeinträchtigung

Bei Wasserversorgungssystemen, die mit einwandfreiem Trinkwasser versorgt werden, ist grundsätzlich keine permanente Zugabe von Desinfektionsmitteln vorgesehen. Jedoch kann es notwendig sein, wenn Leitungsabschnitte erneuert oder saniert werden, eine Desinfektion der davon betroffenen Rohrleitungsabschnitte durchzuführen. In der Regel ist dafür eine Spülung mit Trinkwasser vor der Inbetriebnahme ausreichend, aber durch die Einbringung von Verschmutzungen in die Rohre während der Lagerung oder beim Einbau der Rohre auf der Baustelle, können sich Keime in der Rohrleitung festsetzen. Die Behandlungsmethoden dafür werden je nach vorhergehender Zielsetzung bzw. vorliegender mikrobiologischer Belastung festgelegt. (ÖVGW, 2012)

Die Reinigung und Desinfektion von Behältern und Leitungsrohren soll nur im Anlassfall durchgeführt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Reinigungsmaßnahmen zunächst nur mit Trinkwasser durchgeführt werden und dass erst nach erfolglosen Reinigungsversuchen Desinfektionsmittel eingesetzt werden sollen. (ÖVGW, 2012)

2.5.1 Inbetriebnahme neuer bzw. sanierter Rohrleitungsabschnitte

Nach Fertigstellung der baulichen Maßnahmen ist der Rohrabschnitt gründlich mit Trinkwasser zu spülen. Hierbei werden in erster Linie die Versorgungsleitungen (> DN80) behandelt. Hausanschlüsse und dgl. sind für den Spülvorgang individuell zu bewerten und finden folgend keine weitere Erwähnung. Nach dem Spülvorgang wird eine Trinkwasseruntersuchung am Leitungsende des neuen Rohrleitungsabschnittes durchgeführt. Diese Untersuchung erfolgt als mikrobiologische Routineuntersuchung, wie von der TWV vorgegeben. (ÖVGW, 2012)

Nach einem hygienisch einwandfreien Ergebnis der Trinkwasseruntersuchung werden die Hausanschlüsse an die Versorgungsleitung angeschlossen. Der fertiggestellte Rohrleitungsabschnitt kann daraufhin in das bestehende Wasserversorgungsnetz aufgenommen werden.

In der Abbildung 2-11 ist der empfohlene Ablauf einer Rohrleitungsinbetriebnahme dargestellt.

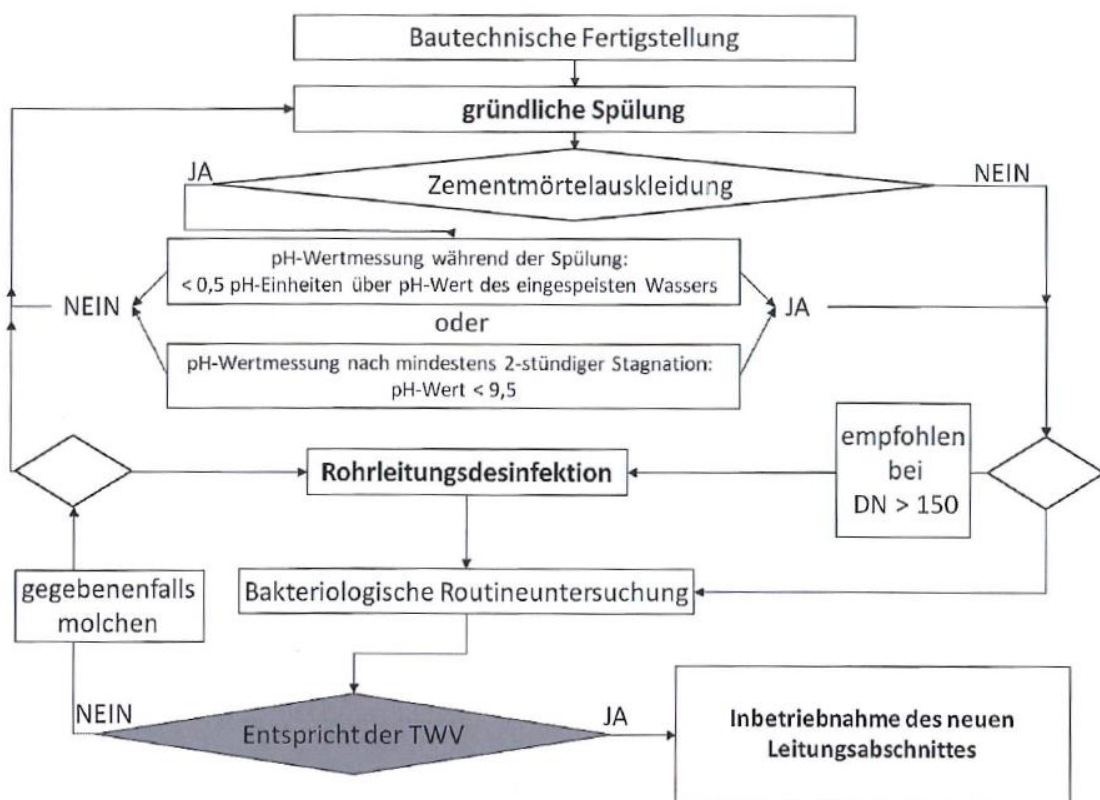


Abbildung 2-11: Empfohlener Ablauf für die Inbetriebnahme eines neuen Leitungsabschnittes (ÖVGW, 2012).

2.5.2 Schonender Wasseraustausch

Bei zu großzügig dimensionierten Leitungen bzw. bei Minderabnahmen der angeschlossenen Objekte an einem Strang kann es aufgrund von Stagnation zu einer erhöhten Keimanzahl im Trinkwasser kommen. Bei geringen Überschreitungen kann ein schonender Spülvorgang die Keimanzahl reduzieren. Dabei ist darauf zu achten, dass eine Störung des Biofilmes vermieden wird. Die Fließgeschwindigkeiten sollten unter 1 m/s betragen. (ÖVGW, 2012)

2.5.3 Spülvorgang

Der Spülvorgang wird zur Reinigung neu errichteter bzw. inkrustierter Rohrleitungen verwendet. Für den Spülvorgang soll der 3 – 5-fache Rohrinhalt durchgespült werden und Fließgeschwindigkeiten von ca. 2 bis 3 m/s erreicht werden. Die Spüldauer ist abhängig von der Fließgeschwindigkeit und des auszutauschenden Rohrvolumens. (ÖVGW, 2012)

Für stark inkrustierte Rohrleitungen kann eine Luft-Wasser-Spülung eingesetzt werden, jedoch ist längere Zeit nach der Durchführung mit eingeschränkter Wasserqualität zu rechnen. (ÖVGW, 2012)

2.5.4 Dauerausleitung

Die Dauerausleitung wird vor allem für die Temperaturregulierung in der Trinkwasserleitung eingesetzt. Im Winter wird ein Einfrieren von oberirdischen Provisorien bzw. von zu seicht verlegte Leitungssträngen verhindert. Im Sommer wird durch diese Maßnahme eine Erwärmung des Trinkwassers in den Rohrleitungen vermieden. Diese Methode ist einfach anwendbar, wird sie jedoch über einen längeren Zeitraum betrieben, werden die kostspieligen Trinkwasserressourcen verschwendet. (ÖVGW, 2012)

Eine Dauerausleitung ist eine kurzfristige Lösung für Erschließungsgebiete oder falsch verlegte Rohrleitungen (Leitungstiefe), jedoch sollte in absehbarer Zeit eine Alternative für die Versorgung der Gebiete gefunden werden, um langfristig einen ressourcenschonenden Umgang zu pflegen.

Bei größeren Bauvorhaben tritt meist das Problem auf, dass die Fertigstellung und der Betrieb erst Jahre nach der infrastrukturellen Erschließung beginnen. Für die ausführenden Firmen im Tiefbau ist die Fertigstellung der Rohrleitung mit einer Druckprüfung abgeschlossen. Danach verbleibt das Wasser, das zur Druckprüfung benötigt wurde, in der Rohrleitung. Wird kurz danach über den Leitungsstrang kein Trinkwasser abgenommen, entsteht eine Stagnationszone und Keime können sich an den Rohrwänden und im Wasser ansiedeln und vermehren. Dieser Vorgang kann durch eine Dauerausleitung verhindert werden.

2.5.5 Einsatz von Desinfektionsmaßnahmen in Rohrleitungen

Im Falle eines neuerrichteten oder sanierten Leitungsabschnittes kann die Reinigungsmaßnahme, wie in Abbildung 2-11 dargestellt, mit Spülvorgängen wiederholt werden, bis ein hygienisch einwandfreies Ergebnis vorliegt. Das mehrmalige Spülen verschwendet bei jedem Zyklus eine große Menge von frischem Trinkwasser, welches nach dem Vorgang kontaminiert ist. Sollte jedoch eine Verkeimung des Trinkwassers im Normalbetrieb ohne bekannte Ursache im Zuge einer Routineuntersuchung oder durch aufmerksame Verbraucher (Geruch oder Verfärbung) vorliegen, sind umgehend Maßnahmen zur Ursachenfeststellung und zur Verhinderung der Verteilung des verkeimten Trinkwassers vom Wasserversorger zu setzten. (ÖVGW, 2012)

In der Praxis wird nach dem zweiten Spülvorgang aufgrund der Erwartungschancen und der Wirtschaftlichkeit in Bezug auf den Wasserverbrauch ein Desinfektionsmittel eingesetzt, um eine hygienisch einwandfreie Trinkwassersuntersuchung zu erhalten.

2.5.5.1 Anforderungen und Durchführung der Desinfektionsverfahren

„Alle Chemikalien, die zur Desinfektion von Wasserversorgungssystemen eingesetzt werden, müssen den produktspezifischen Anforderungen an Chemikalien in der Wasseraufbereitung entsprechen.“ (ÖVGW, 2012)

Liefert der Spülvorgang unzureichende Ergebnisse, wird für den verkeimten Leitungsabschnitt eine Standdesinfektion durchgeführt. (ÖVGW, 2012)

Vor jeder Desinfektionsmaßnahme muss ein Spülvorgang im Leitungsabschnitt absolviert werden und dieser Abschnitt wird für die Desinfektionsdauer vom bestehenden Wasserversorgungsgebiet und den Hausanschlüssen abgetrennt. Die Durchführung der Desinfektion und die Dosierung des Desinfektionsmittels darf nur von geschultem Fachpersonal durchgeführt werden. (ÖVGW, 2012)

Sobald der gesamte Rohrabschnitt mit der Desinfektionslösung gefüllt wurde, ist eine Einwirkdauer von mindestens 12 Stunden notwendig, um ein erfolgreiches Ergebnis zu erzielen. Nach der Standzeit ist der Leitungsabschnitt zu spülen. Zu Beginn der Spülung sollte noch Desinfektionsmittel im Ablauf nachweisbar sein. Nach Beendigung des Spülvorganges wird im Ablauf das Trinkwasser mit Teststreifen auf Chlorrückstände geprüft. Sofern keine Restkonzentrationen nachweisbar sind und die Wasserqualität der Trinkwasserverordnung entspricht, ist der Desinfektionsvorgang abgeschlossen. (ÖVGW, 2012)

Die zu verwendenden Desinfektionsmittel sind in der Tabelle 2-7 beschrieben. (ÖVGW, 2012)

Tabelle 2-7: Chemikalien zur Anlagendesinfektion (ÖVGW, 2012, mod.)

Bezeichnung	Handelsform	Lagerung	Sicherheitshinweise	Standdesinfektion
Wasserstoffperoxid H_2O_2	wässrige Lösungen 5%, 15%, 35%, ...	lichtgeschützt, kühl, Verschmutzungen unbedingt vermeiden (Zersetzungsgefahr)	Bei Lösungen > 5% Schutzausrüstung erforderlich	150 mg/L H_2O_2
Kaliumpermanganat KMnO_4 ¹⁾	Dunkelviolette bis graue, nadel-förmige Kristalle	in gut verschlossenen Metallbehältern fast unbegrenzt haltbar	wirkt oxidierend, konzentrierte Lösungen erfordern Hautschutz	15 mg/L KMnO_4
Chlorbleichlaug Natriumhypochlorit NaOCl	wässrige Lösung mit maximal 150 g/L Chlor	lichtgeschützt und kühl, verschlossen in Auffangwannen	alkalisch, ätzend, giftig, Schutzausrüstung erforderlich	50 mg/L Chlor
Calciumhypochlorit $\text{Ca}(\text{OCl})_2$	Granulat oder Tabletten mit ca. 70% $\text{Ca}(\text{OCl})_2$	kühl, trocken, verschlossen	Lösung reagiert alkalisch, ätzend, giftig, Schutzausrüstung erforderlich	50 mg/L Chlor
Chlordioxid ClO_2	zwei Komponenten (Natrium-Chlorit, Natrium-peroxodisulfat)	lichtgeschützt und kühl, verschlossen, Natriumchlorit WGK ²⁾ 2, Natriumperoxodisulfat	wirkt oxidierend; Chlordioxidgas nicht einatmen; Schutzausrüstung erforderlich	6 mg/L ClO_2
Chlorgas Cl_2	Gelagert in Stahl-druckflaschen	Entsprechend den Vorschriften für gefüllte Stahl-druckflaschen	Schutzausrüstung erforderlich; Chlorgas nicht einatmen; wirkt oxidierend	10 mg/L Cl_2

¹⁾ aus ästhetischen Gründen nicht zu empfehlen

²⁾ WGK = Wassergefährdungsklasse

2.5.5.2 Molchen

Sind die Spül- und Desinfektionsmaßnahmen unzureichend, kann eine Molchung durchgeführt werden. Dabei wird mit einem Molch (elastischer Schaumstoffkörper) eine mechanische Rohrrinnenwandreinigung durchgeführt. Der Molch wird mit Wasserdruck durch das Rohr gepresst. (ÖVGW, 2012)

2.5.6 Umweltaspekte der Maßnahmen für Trinkwasserrohrleitungen mit mikrobiologischer Beeinträchtigung

Die zuvor beschriebenen Maßnahmen erfordern alle einen gewissen Wasserverbrauch. Je nach Art der Maßnahme und Größe des Leitungsabschnittes werden erhebliche Wasserressourcen verschwendet, wobei die Reinigungsmaßnahmen ohne Desinfektionsmittel zumindest keine chemische Belastung für die Umwelt darstellen.

Die Spülwässer aus den Desinfektionsverfahren sind nach dem Vorgang mit Desinfektionsmitteln kontaminiert und wirken schädigend für Gewässer, Fischbestände etc. Sofern es vor Ort möglich ist, sollen diese Wässer in die Kanalisation eingeleitet werden, da die Desinfektionsmittelzehrung der Abwässer diese neutralisiert und eine Vernichtung des Desinfektionsmittels gewährleistet. (ÖVGW, 2012)

Ist eine direkte Einleitung in die Kanalisation nicht möglich, muss das Spülwasser gesammelt und verdünnt oder durch Zugabe von z. B. Natriumthiosulfat neutralisiert werden. Danach kann es in ein Gewässer eingeleitet werden, sofern nachweislich nur mehr eine geringe Konzentration des verwendeten Desinfektionsmittels gemessen wird. (ÖVGW, 2012)

Nach derzeitigem Stand der Technik werden für die Behebung von mikrobiologischen Beeinträchtigungen in Trinkwasserrohrleitungen durchwegs Desinfektionsverfahren eingesetzt, die in Bezug auf die Ressourcenschonung unbefriedigend abschneiden. Die Desinfektion ist meist die wirksamste Methode, um gesundheitsgefährdende Keime in Rohrleitungssystemen zu bekämpfen. Die bei den dzt. zumeist praktizierten Verfahren entstehenden Abwässer sind entweder aufwendig zu neutralisieren oder müssen in die Kanalisation eingeleitet werden.

Dieser Verbrauch von wertvollen Wasserressourcen war der Hauptanlasse für die Erfindung und Entwicklung eines neuartigen, ressourcenschonenderen Desinfektionsverfahrens von Manfred MOCK.

3 Desinfektionsverfahren mit L.E.S.S.

Das L.E.S.S. (Light-Erasure-Spraying-System) wurde von Herrn Manfred MOCK entwickelt und unter diesem Markennamen mit der Registriernummer 18125554 am 11.02.2020 auch beim österreichischen Patentamt registriert sowie ein funktionsfähiger Prototyp mit einem Anlagenhersteller aus Deutschland erschaffen. Es soll zukünftig für die Desinfektion von Trinkwasserrohrleitungen eingesetzt werden.

Beim L.E.S.S. wird die Desinfektion von entleerten oder noch nicht mit Trinkwasser befüllten Rohren vorwiegend mit UV-C Strahlung durchgeführt. Zusätzlich kann aber auch noch eine Zerstäubung von Alkohol als zusätzliche Desinfektionsmaßnahme eingesetzt werden, um Bereiche von Einbauten (Schieber, Muffe etc.) zu desinfizieren und auch eine Vernebelung mit CO₂ für eine Betäubung von wirbellosen Kleinstlebewesen ist mit dem Desinfektionssystem möglich. (LessTec AG, 2020)

Als Ergebnis der jahrelangen Entwicklung des Verfahrens wurde ein Prototyp hergestellt. Damit das L.E.S.S. mobil eingesetzt werden kann, befinden sich alle notwendigen Komponenten in einem entsprechend ausgestatteten Transporter. Dadurch kann das L.E.S.S. flexibel und unabhängig von den örtlichen Gegebenheiten eingesetzt werden. (LessTec AG, 2020)

In den folgenden Unterkapiteln werden nähere Informationen zu den einzelnen Komponenten und der Anwendung vom L.E.S.S. ausgeführt.

3.1 Fahrzeugaufbau

Bei der Inspektion von Rohrleitungssystemen werden sehr häufig Kamerabefahrungen für die Analyse von fehlerhaften Rohren durchgeführt. Dabei wird ein Kameraroboter in das Rohrleitungssystem eingeführt. Durch lange Seil- und Kabelverbindungen besteht eine permanente Bildübertragung in ein Aufzeichnungsfahrzeug, ohne dass ein menschlicher Einsatz direkt im Rohrleitungssystem notwendig ist. In Anlehnung an diese Vorgangsweise wurde auch das L.E.S.S.-Fahrzeug entwickelt.

Der komplette maschinelle Aufbau ist in einem handelsüblichen Transporter situiert. Es wurde darauf geachtet, dass der Transporter ausreichend Platz für die Maschinen, die Lagerung des Zubehörs und sämtliche verfahrensnotwendige Verfahrensutensilien bietet. Der Wagen ist in zwei Teilbereiche aufgeteilt. Im hinteren Bereich befindet sich der Arbeitsraum mit den einsetzbaren Maschinen und Geräten und vorne im Bedienraum sind die Steuereinheit und die EDV des L.E.S.S. untergebracht. Die Fahrerkabine blieb weitestgehend unverändert gegenüber der Standardausführung des Herstellers. Die Abbildung 3-1 und die Abbildung 3-2 zeigen die Ausstattung im Transporter. Hier handelt es sich um den Prototyp für den Einsatz im Feld. (LessTec AG, 2020)

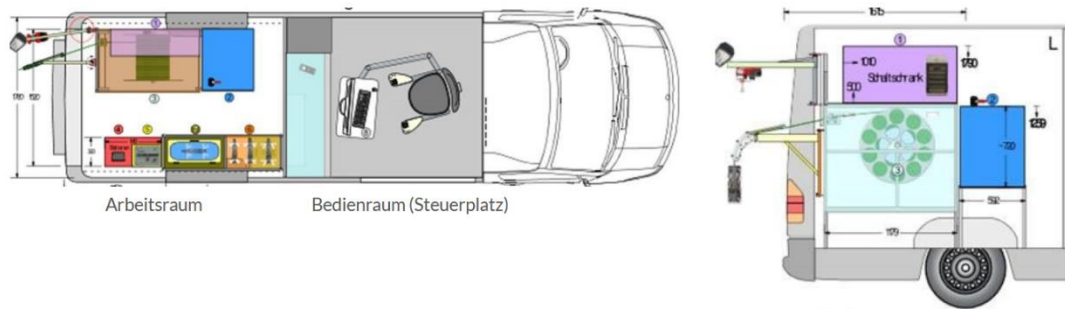


Abbildung 3-1: Schematischer Aufbau des L.E.S.S.-Fahrzeuges (LessTec AG, 2022).



Abbildung 3-2: Arbeitsraum und Bedienraum (LessTec AG, 2022).

In der Abbildung 3-2 erkennt man im linken Bild auf der linken Seite im Transporter das Kernstück des L.E.S.S.. In diesem Bereich sind der Schaltschrank mit der Energieversorgung für die UV-Lampe, der Vorrat für das Desinfektionsmittel (Alkohol) sowie die CO₂-Gasflasche situiert. Den Großteil des Arbeitsraumes nimmt die Schlauch- und Kabeltrommel ein. Auf der rechten Seite werden die UV-Lampenköpfe, diverse Abstandshalterungen und weiteres Arbeitsmaterial gelagert.

3.2 Grundkomponenten

Der L.E.S.S.-Prototyp besteht neben dem Fahrzeug im Wesentlichen aus der Bedieneinheit, der Schlauch- und Kabeltrommel, den Vorratsbehältern für Desinfektionsmittel und Gas, dem Lager für die UV-Lampen und dem Zubehör sowie dem Energiespeicher in Form einer Batterie.

Das Fahrzeug ist mit sämtlichen Ausrüstungsgegenständen für den Einsatz standardmäßig bestückt und kann ohne weitere Hilfsmittel die Rohrdesinfektion durchführen.

3.3 Energieversorgung

Die nötige Energieversorgung des Wagens und der elektronischen Bauteile wird über aufladbare Batteriezellen gewährleistet. Sollten mehrere Anwendungen des L.E.S.S. aufeinander folgen, kann bei unzureichender Batterieleistung der gesamte Betrieb des Wagens auch durch eine permanente Stromversorgung sichergestellt werden.

Zusätzlich kann am Dach des Transporters eine Photovoltaikanlage verbaut werden. Die Leistung der Photovoltaikzellen ist ausreichend, um bei einem geeigneten Standort und geeigneter Witterung alle Anlagenteile des L.E.S.S. mit Energie versorgen zu können. Die Energiebereitstellung für die Desinfektionsanlage erfolgt dann aus der gewonnenen Sonnenenergie. Ist das L.E.S.S. nicht in Betrieb, kann die Überschussenergie in den Batterien gespeichert werden.

Durch die gespeicherte Energie ist das komplette L.E.S.S.-Verfahren unabhängig von einer stationären Stromversorgung einsetzbar und ist somit auch in unwegsamen Gelände nutzbar.

Im Rahmen des während der Bearbeitung dieser Masterarbeit durchgeführten Feldversuches bei einer Wäscherei wurde die Anlage ca. 3 Stunden lang betrieben und benötigte dafür ca. 30 % der Batteriekapazität.

3.4 Wirkungsweisen

L.E.S.S. (Light-Erase-Spraying-System) verrät im Namen bereits die verschiedenen Wirkungsweisen, mit denen das Verfahren durchgeführt werden kann. Dabei können die Verfahrensprozesse unabhängig voneinander gesteuert werden. Nachfolgend werden die 3 möglichen Desinfektionsprozesse beschrieben.

3.4.1 UV-C Strahlung

Im Allgemeinen wird zwischen drei Arten von UV-Strahlung unterschieden. Die energieärmere UV-A Strahlung (315 – 400 nm) und UV-B Strahlung (280 – 315 nm) sind Teile der natürlichen Sonneneinstrahlung und werden beide von der Atmosphäre nicht zur Gänze herausgefiltert und erreichen damit beide auch die Erdoberfläche. Die energiereiche UV-C Strahlung (100 – 280 nm) wird im Gegensatz dazu von der Erdatmosphäre komplett absorbiert und erreicht damit auch nicht die Erdoberfläche. (APA, 2023)

Für die Desinfektion von Bakterien und Viren wird die UV-C Strahlung in bereits bekannten Einsatzgebieten, wie Oberflächenentkeimung, Trinkwasseraufbereitung etc., verwendet. Die UV-C Strahlung schädigt durch die Bestrahlung das Erbgut von Viren und Mikroorganismen. Durch diese Schädigung werden eine Vermehrung und ein weiteres Wachstum von Kolonien unterbunden. (BfS, 2023)

Diesen Vorgang nutzt das L.E.S.S. Verfahren für die Desinfektion der Rohrwandungen. Dabei werden eine bestimmte Wellenlänge und Bestrahlungsdauer für den Vorgang gewählt. Die UV-Lampen, wie in Abbildung 3-3 dargestellt, wurden vom Hersteller des L.E.S.S. nach dem Stand der Technik für Oberflächendesinfektion bemessen. (LessTec AG, 2020)



Abbildung 3-3: UV-C-Lampenkopf mit Drahringen (Gruber, 2022).

Für den erfolgreichen Einsatz als Desinfektionsverfahren ist die ausreichende Bestrahlungsdosis, ein Produkt aus der Intensität und der Zeit, maßgebend. Durch die Bauweise des Lampenkopfs wird gewährleistet, dass die UV-C-Strahlung (Abbildung 3-4) gleichmäßig im Bereich der Lampe verteilt wird. Dieses notwendige Know-how wird beim L.E.S.S. seitens des Lampenherstellers vorgegeben und kann vor Ort vom Anwender eingesetzt werden. (LessTec AG, 2020)

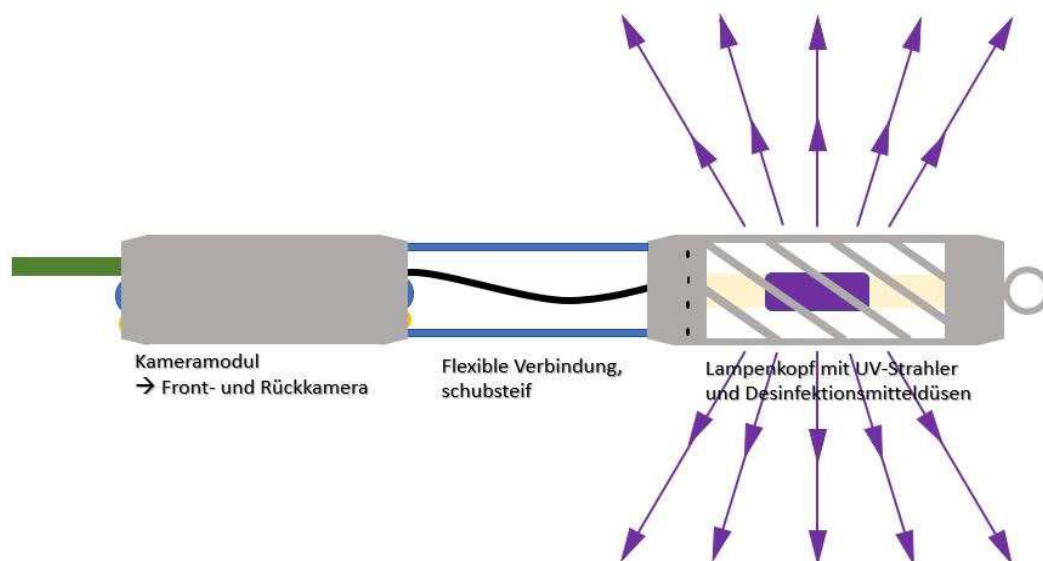


Abbildung 3-4: Schematische Darstellung des Lampenkopfes während der UV-C-Be-strahlung. (LessTec AG, 2020).

Im Falle einer beschädigten Lampe kann diese vor Ort getauscht werden. Die Stromversorgung ist im vorhandenen Zugseil integriert. Für die Zentrierung des Lampenkopfes in der Rohrachse werden Stahldrähte als Abstandshalter verwendet. (LessTec AG, 2020)

3.4.2 Zerstäubung mittels Desinfektionsmittel

Für Rohrabschnitte, in denen eine Bestrahlung nicht ausreichend möglich ist, kann zusätzlich zu der UV-C-Desinfektion eine Vernebelung mit geeignetem Desinfektionsmittel verwendet werden. So können Oberflächen, die möglicherweise für die UV-C-Bestrahlung nicht erreichbar sind, z. B. bei Einbauten und Verbindungsstücken in Rohren, in einem zweiten Desinfektionsschritt damit noch zusätzlich behandelt werden. Die Sprühköpfe befinden sich dafür am Lampenkopf radial angeordnet (Abbildung 3-5). Die Zuleitung des Desinfektionsmittels vom Vorratsbehälter im Transporter zum Lampenkopf ist im Zugseil integriert. (LessTec AG, 2020)

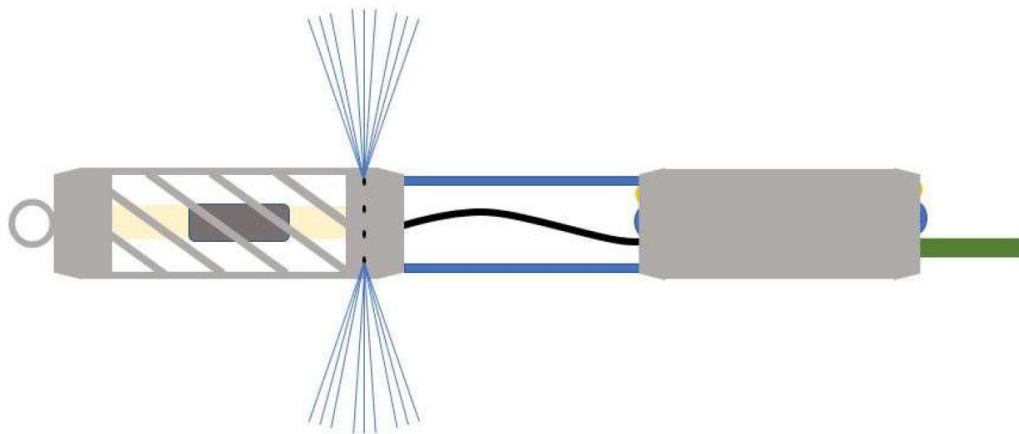


Abbildung 3-5: Schematische Darstellung der Desinfektionsmittel-Vernebelung (LessTec AG, 2020).

Eine Verwendung der Vernebelung direkt während der UV-C-Desinfektion ist aufgrund der Hitzeentwicklung am Lampenkopf wegen der Brandgefahr nicht möglich (LessTec AG, 2020).

3.4.3 Vernebelung mit CO₂-Gas

Die Vernebelung mit CO₂-Gas ist eine zusätzliche Möglichkeit Kleinstlebewesen in den Rohrleitungen zu betäuben und mit einem nachfolgenden Spülvorgang zu entfernen (LessTec AG, 2020).

Die Kleinstlebewesen in den Trinkwasseranlagen gehören zu den Invertebraten. Das sind wirbellose Tiere, wie Wasserasseln, Kleinkrebse, wurmartige Tiere etc. Verordnungen für die Überwachung der Trinkwasserqualität sehen derzeit noch keinen Grenzwert für diese Tiere vor. (G. Gunkel, K. Ripl, M. Scheideler, U. Michels, 2023)

3.5 Verfahrensdurchführung

Die Rohrdesinfektion mit dem L.E.S.S. findet an der Rohrrinnenwand im eingebauten Zustand statt. Der zu desinfizierende Leitungsabschnitt muss dafür aus dem Versorgungssystem abgekoppelt werden, damit die Leitungen drucklos werden und entleert werden können. Ein Zugang zum Rohr kann über bestehende Hydranten oder über eine offene Künette hergestellt werden. (LessTec AG, 2020)

Vorwiegend soll das Verfahren bei neuen Rohrleitungsverlegungen eingesetzt werden. Einerseits ist der zu desinfizierende Leitungsabschnitt noch vom Versorgungsnetz abgekoppelt und andererseits ist der Zugang zu den Leitungsendpunkten im Bauzustand meist noch einfacher als bei Bestandsleitungen.

Dieses Verfahren soll lt. dem Erfinder Manfred MOCK zukünftig im Sinne der ÖVGW Richtlinie W55 (2012) als alternative Desinfektionsmethode nach den Spülvorgängen eingesetzt werden.

Der Umgang mit dem L.E.S.S.-Verfahren wird vom Hersteller im Verfahrenshandbuch schrittweise vorgegeben. Diese Anweisungen wurden empirisch bei Feldversuchen ermittelt und stellen die Grundlage für die Durchführung der Rohrdesinfektion mit dem L.E.S.S. dar. Darin sind auch Sicherheitshinweise für den richtigen Umgang mit UV-C-Strahlung und Desinfektionsmitteln beschrieben. Im Kapitel 6.7 der gegenständlichen Arbeit, wurde ein Feldversuch (Versuch 7) im Bereich einer Wäscherei durchgeführt und von mir auch begleitet und beschrieben.

Die nachfolgenden Verfahrensschritte (Kapitel 3.5.1– 3.5.3) wurden bei den einzelnen Versuchen stets alle angewendet und entsprechen dem Inhalt der Version 1.0 des Verfahrenshandbuches der Fa. LessTec AG. (LessTec AG, 2020)

3.5.1 Vorbereitungen in der Rohrleitung

Für die Anwendung des L.E.S.S.-Verfahrens muss der zu desinfizierende Rohrleitungsabschnitt drucklos sein. In der Regel sind bei neuverlegten und sanierten Rohrleitungen die Knotenpunkte (Hausanschlüsse und Anbindungen an das bestehende Trinkwasserversorgungssystem) am Anfang und am Ende des Abschnitts freigelegt. Vor Beginn der Arbeiten ist die Rohrleitung zu entleeren. (LessTec AG, 2020)

3.5.1.1 Ablaufplanung

Der Ablauf der Desinfektion ist im Vorhinein über Besichtigungen vor Ort und Besprechungen mit den zuständigen Wasserversorgungsunternehmen zu planen. Eine Analyse von den eingebauten Formstücken (90°-Bogen, T-Stück, Schieber etc.), Längen, Materialien und Abweichungen besonderer Art der Rohrleitung ist unabdingbar und muss bei der Durchführungsplanung berücksichtigt werden. Grundsätzlich ist für den Betrieb und die Durchführung vom L.E.S.S. ein Personalaufwand von zwei geschulten Personen notwendig. (LessTec AG, 2020)

3.5.1.2 Physische Verschmutzung in der Rohrleitung

Durch den planmäßigen Spülvorgang vor der Erstinbetriebnahme wird die Rohrleitung von physischen Verschmutzungen, falls durch die mangelhafte Lagerung oder durch den unsachgemäßen Einbau Verschmutzungen eingebracht wurden, gereinigt. Dieser Spülvorgang sollte bereits erfolgt sein, da es sich dabei entweder um den routinemäßigen ersten Spülvorgang handelt oder bereits eine negative mikrobiologische Trinkwasseruntersuchung vorlag bzw. die Leitung im Bestandssystem durchgehend in Betrieb war. (LessTec AG, 2020)

3.5.1.3 Einbringen des Zugkabels in die Rohrleitung

Für die Einbringung des Desinfektionsgerätes (Lampenkopf) in die zu behandelnde Leitung wird zunächst ein Zugkabel eingezogen. Das L.E.S.S.-Fahrzeug ist dafür standardmäßig mit einer Variante für das Einblasen des Zugseiles mittels Druckluft ausgerüstet. Weitere Methoden wären das Einspülen mit Wasser und die Einbringung mittels Kamerafahrwagen bzw. Roboter. Bei der Auswahl der passenden Methode ist auf die Leitungsabschnittslänge zu achten. Bei der Einbringung mit Robotern ist die Kabellänge des Roboters maßgebend. (LessTec AG, 2020)

Als Standardvariante wird die Methode des Einblasens mithilfe von Druckluft verwendet. Für den Druckaufbau wird am gegenüberliegenden Ende der Rohrleitung mit einem Luftdruckgenerator ein Einblaskörper in die Rohrleitung eingeführt und der Anschluss an den Luftdruckgenerator hergestellt. Der Einblaskörper (Abbildung 3-6, linkes Foto) ist dem Durchmesser der Leitung anzupassen, sodass dieser den vollen Rohrquerschnitt ausfüllt. Die Abdichtung am Rohrende wird über einen Rohrverschlussstopfen (Abbildung 3-6, rechtes Foto) mit Kabeldurchführung fixiert. Über eine Stellschraube verpresst sich der gummiummantelte Konus an der Rohrwand und dichtet das Rohrende ab. (LessTec AG, 2020)

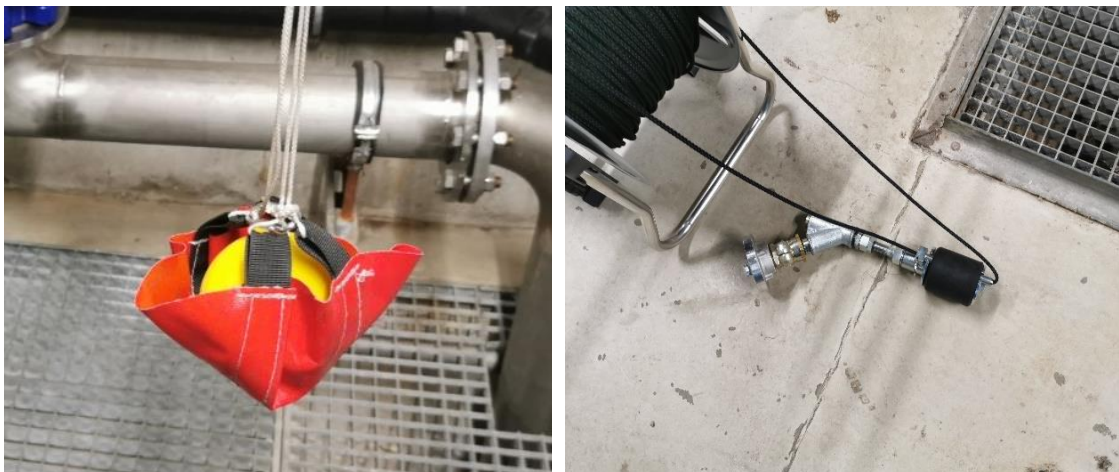


Abbildung 3-6: Einblaskörper (linkes Foto) und Rohrverschlussstopfen (rechtes Foto).

3.5.1.4 Einbringen des Lampenkopfes in die Rohrleitung

Nach erfolgreichem Einbringen des Zugkabels wird der Lampenkopf am Zugkabel befestigt und über eine Seilwinde durch die gesamte Rohrleitung gezogen. Wenn der Lampenkopf den Rohrendpunkt erreicht, wird das Zugkabel entfernt und Schutzschleusen (Abbildung 3-7) werden über die Rohrenden montiert. Diese Schleusen sind lichtdicht und schützen Personen vor der gefährlichen UV-C-Strahlung während des Desinfektionsvorgangs. (LessTec AG, 2020)



Abbildung 3-7: Montierte Schutzschleuse am Ende der Rohrleitung 1 während einer L.E.S.S.-UV-C-Desinfektion.

3.5.2 Desinfektion der Rohrleitung

Der Desinfektionsvorgang wird durch die Aktivierung der UV-Lampe gestartet und das Desinfektionsgerät wird durch die gesamte Rohrlänge mit einer voreinstellbaren, konstanten Geschwindigkeit gezogen. Vor dem Beginn des Vorgangs sind diverse Einstellungen betreffend der Zuggeschwindigkeit vorzunehmen. Je nach der Geometrie und des Rohrverlaufs sind die Geschwindigkeiten anzupassen. Die UV-C-Desinfektion kann nach dem Erreichen der Betriebstemperatur der UV-C-Lampe vollautomatisch erfolgen. (LessTec AG, 2020)

Eine Überwachung des Verfahrens mittels Kamera (Abbildung 3-8) ist während des Betriebs im Kontrollraum sowie an dem Einführungspunkt der Rohrleitung nahe dem L.E.S.S.-Fahrzeug stets möglich, um bei auftretenden Problemen rasch eingreifen zu können. Während des Prozesses kann der Vorgang nur durch eine Notabschaltung angehalten werden. Aufgrund der Eigenschaften von UV-Lampen ist eine rasche Fortsetzung des Desinfektionsvorganges dann nicht mehr möglich, weshalb mögliche Fehlerquellen bereits in der Planung zu berücksichtigen sind. (LessTec AG, 2020)



Abbildung 3-8: Installierte Kamera- und Lichteinheit am L.E.S.S. zur visuellen Kontrolle des Desinfektionsvorganges in den Rohrleitungen.

Die Desinfektion der Rohrleitung kann bei Bedarf um zwei weitere Desinfektionsschritte erweitert werden. Wie im Kapitel 3.4 (Wirkungsweisen) beschrieben, kann das Innere der Rohrleitungen zusätzlich noch mit einem Desinfektionsmittel besprüht bzw. eine CO₂-Begasung durchgeführt werden. (LessTec AG, 2020)

3.5.3 Abschluss der Verfahrensschritte

Bei Erreichung des Leitungsendes wird die UV-Lampe außer Betrieb genommen und die Schutzschleusen sowie alle verwendeten Hilfsmittel demontiert. Vor einer Inbetriebnahme der Wasserleitung sind ein Spülvorgang mit Trinkwasser und eine nachfolgende mikrobiologische Trinkwasseruntersuchung nach den einschlägigen Richtlinien durchzuführen. Für die Beprobung des Spülwassers sind geeignete Probenahmehähne an den Rohrenden anzubringen. (LessTec AG, 2020)

4 Erste Versuchsreihen – Eigenversuche des Erfinders Manfred MOCK

Die ersten Versuchsreihen wurden in Hartl, Steiermark, in der Fahrzeughalle der Firma MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH im Zeitraum von Mitte 2020 bis April 2022 durchgeführt. Diese Versuchsreihen wurden nur durch die Ergebnisse aus den durchgeführten Trinkwasseruntersuchungen dokumentiert. Die dabei erzielten Erfahrungen und Ergebnisse mit L.E.S.S. bestätigten die Erwartungen und führten schließlich auch zur Registrierung des L.E.S.S. als „Geräte zur Reinigung von Trinkwasser- und Abwasserleitungen“ beim österreichischen Patentamt führten (Registriernummer 18125554). Das Projekt wurde aufgrund der bisherigen Erfahrungen und Ergebnisse weiterhin verfolgt und mit den neuen Erkenntnissen aus den Eigenversuchen weiterentwickelt.

Der im Kapitel 5 beschriebene Versuchsaufbau wurde entsprechend den Aufzeichnungen und mündlichen Überlieferungen aus den Erstversuchen nachgebildet. Das Hauptziel meiner Masterarbeit war es, die bisher bereits durchgeführten Eigenversuche noch einmal nachvollziehbar und dokumentiert zu wiederholen und dabei sowohl die praktische Anwendbarkeit des Verfahrens als auch die Wirksamkeit des L.E.S.S. nachzuweisen.

Nachfolgend werden der Versuchsaufbau und die Vorgehensweise der ersten Eigenversuche beschrieben. Diese Beschreibungen sind durch mündliche Überlieferungen im Rahmen dieser Arbeit verschriftlicht worden. Sämtliche Angaben zum Versuchsaufbau wurden nach den Aussagen von Manfred MOCK in die Beschreibung aufgenommen.

4.1 Beschreibung des Versuchsaufbaues

Für die ersten Versuche wurden 3 Leitungsstränge in der Fahrzeughalle aufgebaut. Die PE-Rohrleitungen wurden in DN 100 (Länge = ca. 40 m) sowie zweimal in DN 150 (Länge = ca. 12 m) mit diversen Einbauten als Stichleitungen ausgeführt. Die Leitungen wurden am Boden situiert und am Leitungsanfang mit Absperrschiebern ausgerüstet. Die Rohre wurden ohne Gefälle am Hallenboden gelagert. Zur Befüllung und Entleerung wurde an mehreren Flanschstücken eine Storz-Kupplung der Größe C zur leichteren Bedienung angebracht. Diverse Leitungsbauteile (Flanschverbindungen, Muffenverbindungen, 90 °-Bogen, 45 °-Bogen etc.) werden in unterschiedlichen Abständen eingebaut. In der nachfolgenden Abbildung 4-1 und Abbildung 4-2 wurde der aufgebaute Versuchsstand für die durchgeführten Eigenversuche von Manfred MOCK festgehalten.



Abbildung 4-1: Versuchsaufbau mit Leitungsanfang im Hintergrund nach den ersten Eigenversuchen in der Firmenhalle der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH.



Abbildung 4-2: Versuchsaufbau mit Leitungsenden im Hintergrund nach den ersten Eigenversuchen in der Firmenhalle der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH.

4.2 Beschreibung der Methodik

Die Eigenversuche wurden von dem Erfinder Manfred MOCK selbst durchgeführt. Während der Durchführung wurden bis auf die Ergebnisse der Laboruntersuchungen keine detaillierten Aufzeichnungen über die Rahmenbedingungen und den Versuchsablauf geführt.

4.2.1 Beimpfung der Rohrleitungen mit verkeimten Wässern

Damit in den Rohrleitungen eine Verkeimung stattfindet, die später dann desinfiziert werden sollte, wurden die Leitungen mit Hydrantenwasser aus dem Ortswassernetz Hartl zunächst gespült, anschließend mit Trinkwasser aufgefüllt und mit verkeimten Wässern beimpft.

Der Spülvorgang dient dabei zum Ausspülen von Grobstoffen und Verschmutzungen in den Rohren vor Versuchsbeginn.

Die verkeimten Wässer wurden von Problemstellen einer WVA gesammelt und für die Anregung zum Keimwachstum in den Rohrleitungen in Hartl eingebracht.

Um eine gute Durchmischung der verkeimten Wässer mit dem befüllten Trinkwasser zu erhalten, wurden die Rohrleitungen etappenweise befüllt. Nach dem Spülvorgang wurden die Rohre zunächst bis zur Hälfte des Rohrquerschnitts mit vorgespültem Hydrantenwasser angefüllt. Danach wurde die Beimpfung mit den verkeimten Wässern durchgeführt. Abschließend füllte man das restliche Rohrvolumen bis zur Vollfüllung mit Trinkwasser aus dem Ortsnetz Hartl über einen vorgespülten Hydranten auf.

4.2.2 Keimwachstum

Für eine ausreichende Verkeimung der Leitungen war man davon ausgegangen, dass diese durch eine Stagnation des angeimpften Wassers über einen Zeitraum von 14 bis 20 Tagen in den Leitungen stattfinden sollte. Die Temperaturbedingungen waren dafür in der Halle mit 20 °C – 22 °C annähernd konstant.

4.2.3 Rohrdesinfektion mit L.E.S.S.

Zur Vorbereitung der Rohrleitungen für die Desinfektion mittels L.E.S.S. wurden die verkeimten Leitungen für ca. 10 min mit Trinkwasser aus dem Ortsnetz Hartl gespült. Kurz vor Beendigung des Spülvorganges wurde eine Probe aus dem Spülwasser gezogen. Diese war für Manfred MOCK die Ausgangsprobe, die durch die lange Stagnation in den Leitungen verkeimt hätte sein sollen. Zum Zeitpunkt der Probenahme war die Verkeimung in den Leitungen nicht bekannt.

Im Anschluss an den Spülvorgang setzte man das L.E.S.S.-Verfahren in den entleerten Rohrleitungen ein. Für die Versuche erfolgte die Desinfektion ausschließlich mittels UV-C-Strahlung. Die Vernebelung mit CO₂ und das Besprühen mit Alkohol kamen nicht zum Einsatz.

Die Zuggeschwindigkeit des Lampenkopfs wurde mit 5 m/min gewählt. Dieser Wert wurde seitens des L.E.S.S.-Herstellers empfohlen.

4.2.4 Wirksamkeitsnachweis

Für den Nachweis der Wirksamkeit vom L.E.S.S. wurde der Spülvorgang zunächst nach der L.E.S.S.-Behandlung für ca. 10 min mit Trinkwasser aus dem Ortsnetz Hartl wiederholt und am Ende des Spülvorganges eine Wasserprobe des Spülwassers gezogen.

Anschließend wurden die gesammelten Proben gekühlt und zur mikrobiologischen Untersuchung gem. TWV (i. d. g. F.) zu einem akkreditierten Wasserlabor gebracht.

4.3 Ergebnisse der Erstversuche

Nach Angaben des Erfinders waren die Ergebnisse ausschlaggebend für die Weiterführung des Projekts und die Weiterentwicklung der Desinfektionssystems. Die praktische Anwendbarkeit der UV-C-Desinfektion mit den entwickelten Gerätschaften konnte während der durchgeführten Eigenversuche in den dort aufgebauten Trinkwasserleitungen gut nachgewiesen werden. Ein eindeutiger Nachweis auch der Wirksamkeit der UV-C-Desinfektion durch Anwendung des L.E.S.S.-Verfahrens in den angeimpften Leitungen konnte allerdings mit den durchgeführten Eigenversuchen nicht erbracht werden. Daher werden auch die Labor-Ergebnisse aus den Eigenversuchen nicht näher erläutert.

Die im Kapitel 6 beschriebenen Versuche wurden den Eigenversuchen in Hartl nachempfunden. Der Versuchsablauf wurde aus Zeugenberichten und stichwortartigen Aufzeichnungen rekonstruiert.

5 Versuchsanordnung in Hartl

Die Eigenversuche und die Ergebnisse aus dem Kapitel 4 waren für die Firmenvertreter Anlass und Motivation zur weiteren Untersuchung des Verfahrens, welche mit einer entsprechenden wissenschaftlichen Begleitung im Rahmen einer Masterarbeit durchgeführt werden sollte. Dabei sollte sowohl die praktische Anwendbarkeit des entwickelten Verfahrens in Trinkwasserleitungen überprüft als auch der Nachweis der Wirksamkeit der UV-C Strahlung auf verkeimte Trinkwasserleitungen durch Anwendung des L.E.S.S.-Verfahrens erbracht werden und zwar ohne das detaillierte mikrobiologische Untersuchungen des Biofilms durchgeführt werden sollten.

Die ersten Besprechungen zur Durchführung einer vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU Graz betreuten Masterarbeit fanden im Mai 2022 statt. Inhalt der Besprechungen war es zunächst, einen Überblick über die Gegebenheiten vor Ort in Hartl zu bekommen sowie über die zur Verfügung stehenden Materialien, Rohre und Formstücke. Als Versuchsstandort für die im Rahmen der Masterarbeit geplanten Versuchsreihen wurde wieder die Werkshalle der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH in Hartl gewählt. Die Halle bietet Schutz vor der Witterung und annähernd konstante Temperaturen über den Versuchszeitraum.

5.1 Grundlagen

Um die Ergebnisse eines Versuches vergleichen zu können, wurden jeweils zwei möglichst idente Leitungspaare ausgewählt, die im Durchmesser, in der Länge und vom Material her gleich waren.

- PE-100 DA180, Wandstärke: 10,7 mm; Länge: ca. 12 m, Volumen je Rohr: ca. 0,237 m³ = 237 L
- PE-100 DA110, Wandstärke: 6,6 mm; Länge: ca. 20 m, Volumen je Rohr: ca. 0,147 m³ = 147 L

Die insgesamt wurden 4 Rohrleitungen mit PE-Rohrstangen und mit Gussmuffen erhöht aufgebaut (siehe Abbildung 5-2).

Schieber und Formstücke für die Regelung und Anschlüsse an Zu- und Ablauf wurden an den Enden montiert. Nachfolgend ist in der Abbildung 5-1 die schematische Darstellung eines Leitungsstranges abgebildet.

Die klimatischen Bedingungen waren über den Versuchszeitraum annähernd gleichbleibend. In der Halle konnten während dieser Zeit Temperaturen zwischen 22 °C und 25 °C am betriebseigenen Raumthermostat abgelesen werden.

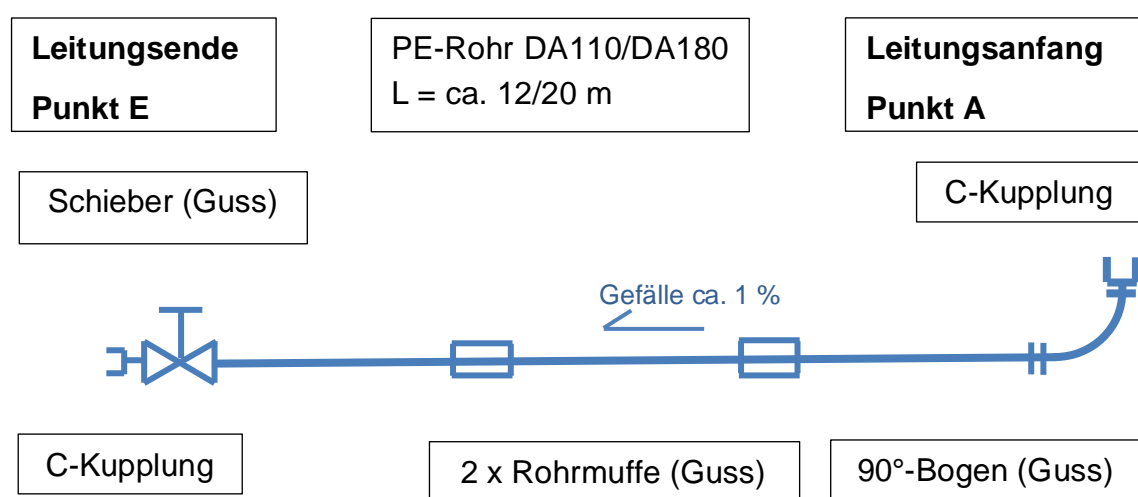


Abbildung 5-1: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaues in Hartl.

In der Abbildung 5-2 ist der zuvor beschriebene Versuchsaufbau abgebildet. Von links beginnend sind zwei DA110 Rohre und danach zwei DA180 Rohre erhöht gelagert und von links nach rechts mit Leitung 1 (L1) bis Leitung 4 (L4) bezeichnet. Der Leitungsanfang und zugleich der Einspeisepunkt für den Spülvorgang befinden sich jeweils im hinteren Bereich der Halle im Punkt A. Die Schiebereinheiten und der Anschluss für die Entleerungsleitung sitzen jeweils am Leitungsende im Punkt E. Leitung 1 und Leitung 2 wurden aufgrund der vorhandenen Bauteile jeweils mit zwei 45°-Bögen anstelle eines 90°-Bogens an den Anfangspunkten A errichtet.



Abbildung 5-2: Versuchsaufbau der 4 Leitungen in der Werkshalle der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH in Hartl.

Für die Probenahme wurde, wie in der Abbildung 5-3 dargestellt, an den Leitungspunkten A und E jeweils ein T-Stück und ein Probehahn montiert.

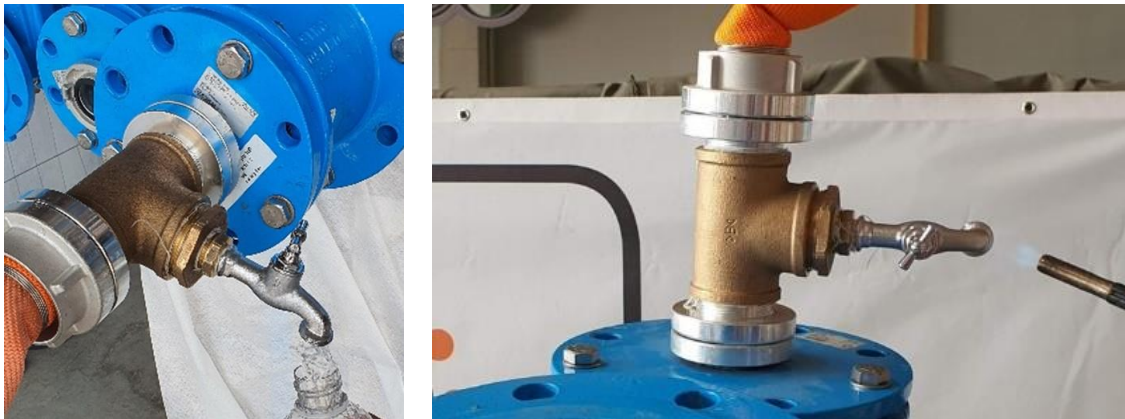


Abbildung 5-3: Verwendete Probenahmehähne (Fotos: Gruber).

Während der gesamten Versuchsreihen wurden alle Bauteile, Werkzeuge, Maschinen und mit Wasser in Berührung kommenden Gegenstände sowie auch Kontaktflächen von Menschen mittels handelsüblicher Desinfektionsmittel auf Ethanolbasis für Oberflächendesinfektion besprüht, gereinigt und desinfiziert. Stahlbauteile, Flansche und Probenahmehähne wurden mit einem Gasbrenner abgeflämmt. Somit konnte ein Eintrag bzw. eine Kontamination aus der umgebenden Umwelt weitestgehend ausgeschlossen werden.

5.2 Zu- und Ableitungssituation

Für die Frischwasserzufuhr zur Befüllung der Rohre und für die Spülvorgänge wurde der Hydrant vor der Werkshalle in Hartl genutzt, welcher am Ortsnetz der Gemeinde Hartl angeschlossen ist. Die Zu- und Ableitung der Rohre wurde über elastische Druckschläuche DN 50 mit Storz-Kupplung Typ C hergestellt. Der Hydrant wurde vor der Benützung für die Versuche jeweils ausreichend lang gespült. Die Zu- und Ableitungssituation ist nachfolgend in der Abbildung 5-4, Abbildung 5-5, Abbildung 5-6 und Abbildung 5-7 dargestellt.



Abbildung 5-4: Anschlusspunkt Hydrant, Trinkwasser aus dem Ortsnetz von Hartl (Foto: Gruber, mod.).



Abbildung 5-5: Zuleitung und Ableitung der Rohrleitungen (Foto: Gruber, mod.).



Abbildung 5-6: Leitung 1 wird mit Wasser beschickt (Foto: Gruber, mod.).



Abbildung 5-7: Freier Auslauf der Rohrableitung (Foto: Gruber, mod.).

5.3 Allgemeine Vorgangsweise bei den Versuchen

Die allgemeine Vorgehensweise bei den Versuchen lautete wie folgt:

- Rohrleitung mit befülltem Wasser unterschiedlich lange verkeimen lassen (Tage/Wochen)
- Rohrleitung nach unterschiedlich langen Stagnationsphasen mit Trinkwasser unter Druck aus dem Hydranten ca. 10 min lange spülen
- UV-C-Desinfektion der Rohrleitung mit dem L.E.S.S.
- Rohr mit Trinkwasser unter Druck aus dem Hydranten ca. 10 min lange spülen
- Vollenfüllung des Rohres mit Wasser (Wasserbeschaffenheit je nach Versuch)

Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Durchführungsprozesse erfolgt in den Kapiteln zu den einzelnen Versuchen.

5.4 Durchführung der mikrobiologischen Wasseruntersuchungen

Nachdem Manfred MOCK im Vorfeld bereits die Auswertung der Trinkwasserproben aus den Eigenversuchen von einem akkreditierten Wasserlabor hat durchführen lassen, wurden auch die Wasseranalysen in den folgenden Kapiteln vom selben akkreditierten Wasserlabor durchgeführt, sofern die Bestimmung der mikrobiologischen Parameter und Indikatorparameter entsprechend der TWV (i. d. g. F.) gefordert war.

Parallel dazu wurden die Wasserproben ab dem 16.08.2022 bis zum 16.09.2022 auch mit dem ColiMinder der Fa. VWMS GmbH untersucht. Das Messverfahren erfasst u. a. die Gesamtzymaktivität aller Mikroorganismen in einer Wasserprobe, woraus ebenfalls auf die Keimbelastung in einer Wasserprobe geschlossen werden kann (siehe dazu Kapitel 2.2.6).

6 Versuchsdurchführungen mit L.E.S.S.

Der Versuchsablauf wurde den Angaben von Manfred MOCK nachempfunden. Dabei sollten in erster Linie der Versuchsaufbau aus den vorangegangenen Eigenversuchen nachvollzogen werden.

Vor Beginn der Versuche wurden die Szenarien und Versuchsabläufe diskutiert und gemeinsam mit Manfred MOCK festgelegt. Die Versuchsobjekte (Rohre) sollten vor einer Anwendung des L.E.S.S.-Verfahrens jeweils eine hohe Keimbelastung aufweisen, weshalb stagnierende angeimpfte Leitungsstränge für die Versuche ausgewählt wurden.

Die Erwartungen in die Versuche wurden anfänglich nicht vollständig erfüllt, weshalb der ursprüngliche Versuchsablaufplan in den Folgeversuchen geändert werden musste. Diese Umstände führten schließlich zu einer Gesamtanzahl von insgesamt 8 Versuchsreihen in einem Zeitraum von Juni 2022 bis November 2022.

Übersicht der Versuche:

1. Erster L.E.S.S.-Versuch L1 bis L4	27.06. - 31.08.2022
2. Zweiter L.E.S.S.-Versuch L3 & L4	31.08.2022
3. Beprobung Behälter 1	19.08. - 26.08.2022
4. Langzeitversuch L1 & L2	23.08. - 05.09.2022
5. Dritter L.E.S.S.-Versuch L1	12.09.2022
6. Betriebssimulation L1 & L2	12.09. - 16.09.2022
7. Feldversuch	06.10.2022
8. Biofilm-Inaktivierung	23.11.2022

Übersicht der Versuchsorte:

- Die Versuche 1 bis 6 fanden in der Werkshalle der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH statt.
- Der Versuch 7 erfolgte im Bereich einer Wäscherei in Graz.
- Der Versuch 8 erfolgte wiederum in der Werkshalle der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH, jedoch wurde dabei eine gänzlich andere Versuchsdurchführung gewählt. (Siehe Kapitel 6.8)

Die Versuche 1 bis 6 wurden mit dem in Kapitel 5 beschriebenen Versuchsaufbau durchgeführt. Geringfügige Änderungen, wie Gefälleanpassung, spezifische Versuchsdurchführung etc. werden in den Kapiteln zu den einzelnen Versuchen detailliert beschrieben.

Die mikrobiologischen Trinkwasseruntersuchungen wurden bei allen Versuchen vom akkreditierten Wasserlabor durchgeführt. Die Beprobungen wurden mit sterilen 500 mL und 1000 mL Probeflaschen aus Kunststoff durchgeführt. Die parallele Verwendung des ColiMinders für die zusätzlichen Auswertungen der Ergebnisse war im Versuch 2 bis inkl. Versuch 6 möglich. Bei den Ergebnissen handelt es sich immer um eine Stichprobe zu einem bestimmten Zeitpunkt. Die Ergebnisse der mikrobiologischen Trinkwasserbefunde lagen während der Versuche zufolge der durchgeführten Animpfungen zum Teil um ein Vielfaches über den Grenzwerten der TWV (i. d. g. F.) und mussten für die Analysen im Labor auch entsprechend verdünnt werden. Daher mussten die erzielten Ergebnisse durch entsprechende Verdünnungsfaktoren rückgerechnet werden, was vom Wasserlabor selbstständig durchgeführt und bei den Laborbefunden bereits entsprechend berücksichtigt wurde.

Die Probenahmen wurden vom Verfasser dieser Arbeit sowie von geschultem Personal der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH durchgeführt.

Die Proben wurden mit einer laufenden Probenummer bezeichnet, um die Ergebnisse der einzelnen Befunde den Versuchen eindeutig zuordnen zu können.

Für die Messung der physikalischen Parameter, wie Wassertemperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit bei 20 °C, wurde ein Multisonden-Messgerät (Abbildung 6-1) vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU Graz verwendet. Die Kalibrierung wurde vor Beginn der Versuchsreihen vom Laborteam des Institutes durchgeführt.

Die Durchführung der L.E.S.S.-UV-C-Desinfektionen wurde bei allen Versuchen von Manfred MOCK mit Unterstützung der Mitarbeiter seiner Firma MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH durchgeführt.



Abbildung 6-1: Multisonden-Messgerät der Fa. WTW vom Type Multi 3430 zur Messung der Temperatur, des pH-Wertes und der Leitfähigkeit (Fotos: Gruber).

6.1 Versuch 1 – Erster L.E.S.S.-Versuch L1 bis L4

Der erste Versuch wurde im Zeitraum vom 26.07.2022 bis 31.08.2022 in Hartl durchgeführt. Dabei wurde die Leitungen 1 bis 4 betrachtet.

6.1.1 Motivation und Ziel des Versuches

Motivation und Ziel des Versuches war es, die Ergebnisse aus den Eigenversuchen (siehe Kapitel 4) zu reproduzieren und eine Wirksamkeit des L.E.S.S. in den behandelten Rohren gegenüber den unbehandelten nachzuweisen.

6.1.1.1 Erwartungen

Alle 4 verwendeten Rohrleitungen sollten dabei nach 7 Wochen Befüllung mit stagnierendem, beimpftem Wasser eine möglichst hohe Keimbelastung aufweisen. Dabei wurden zu Vergleichszwecken jeweils zwei gleiche Rohre im Durchmesser und in der Länge verwendet. Die Idee dabei war, dass sich während dieser Zeit an den Rohrwänden Keime ansiedeln und einen Biofilm bilden sollten. Nach der gewählten Stagnationsphase von 7 Wochen sollte das L.E.S.S.-Verfahren mit einer Zuggeschwindigkeit von 5 m/min jeweils in einem der beiden gleichartigen Rohrleitungen mit UV-C-Strahlung zur Anwendung kommen. Das dazugehörige zweite gleichartige Rohr sollte dabei zu Vergleichszwecken nur gespült werden, um eine Wirksamkeit des mit L.E.S.S. behandelten Rohres nachweisen zu können.

6.1.2 Versuchsaufbau, Beschreibung der Testumgebung

Der Versuchsaufbau wurde vorab, wie im Kapitel 5 beschrieben, aufgebaut und für die Versuche vorbereitet. Für den Versuch wurden die Leitungen 1 bis 4 verwendet. Das Gefälle der Leitungen betrug ca. 1 %. Für die Befüllung der Leitungen mit einer Mischung aus Trinkwasser und mit Keimen versetzten Wässern wurden zwei sterile Kunststoff-Behälter mit je 1000 L Volumen genutzt. Sämtliche Probehähne und Schlauchleitungen wurden dafür von Manfred MOCK zur Verfügung gestellt. Desinfektionsmittel auf Ethanolbasis und ein Gasbrenner für die Desinfektion der Probehähne wurden ebenfalls beigestellt. Die Probenahme der Wasserproben wurde nach den Vorgaben des Wasserlabors durchgeführt.

6.1.3 Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Der Versuchsablauf und die Probenahme wurden vorab mit einem akkreditierten Wasserlabor, den Firmenvertretern der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH und der TU Graz abgestimmt. Der Versuch 1 gliedert sich in 6 Teiluntersuchungen, wobei die Beimpfung der Wässer auch schon als Vorbereitung auf die nachfolgenden Versuche zu sehen ist. Die 6 Teiluntersuchungen gliedern sich in folgende Beprobungskampagnen:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| • Beimpfung des Wassers | am 27.06.2022 |
| • Beprobung nach 7 Wochen | am 12.08.2022 |
| • L.E.S.S. nur bei Leitung 1 (L1) | am 12.08.2022 |
| • Wirksamkeitsanalyse | am 16.08.2022 |
| • L.E.S.S. nur bei Leitung 3 (L3) | am 16.08.2022 |
| • Langzeitanalyse L3 und L4 | von 16.08.2022 – 31.08.2022 |

6.1.3.1 Beimpfung des Wassers

Zu Beginn des Versuches wurde ein Behälter mit einem Fassungsvermögen von 1000 L für die Beimpfung mit Trinkwasser befüllt. Das Trinkwasser stammte von dem Hydranten direkt vor der Werkshalle in Hartl, der am Ortsnetz Hartl angeschlossen ist. Vor Beginn der Befüllung des Behälters mit Trinkwasser wurde der Hydrant ca. 10 min gespült. Jeweils am Beginn des Spülvorganges sowie nach 10 min wurde eine Wasserprobe direkt am Hydranten entnommen. Die Probenahme am Beginn erfolgte direkt am Hydranten über einen Probehahn und nach 10 min am Ende des ca. 25 m langen Druckschlauches (DN 50) (Abbildung 6-2).



Abbildung 6-2: Probenahme direkt am Hydranten (linkes Foto) und am Ende des Druckschlauches (rechtes Foto) (Fotos: Gruber).

Nach dem Spülvorgang des Hydranten inkl. des Druckschlauches wurde der 1000 L Behälter mit dem Trinkwasser aus dem Hydranten befüllt. Nach ca. 750 L wurde mittels eines desinfizierten Rührgerätes der Inhalt des Behälters durchmischt, um eine weitere Stichprobe von dem befüllten Behälter zur Dokumentation des Ausgangszustandes des im Behälter befindlichen Wassers zu erhalten (Abbildung 6-3).

Nach dieser Probenahme wurde ein „Keimcocktail“ (Abbildung 6-3), der mikrobiologisch relevante Keime nach der TWV (i. d. g. F.) enthielt, dem Trinkwasser im Behälter 1 hinzugefügt. Das Mischungsverhältnis dabei betrug 5 L Keimcocktail zu 750 L Trinkwasser. Der Behälterinhalt mit dem Trinkwasser und der hinzugefügten Keimmischung wurde daraufhin mit dem Rührgerät für weitere ca. 2 min abermals gut durchmischt, um daraus dann eine weitere Wasserprobe aus diesem Mischwasser zu entnehmen (Abbildung 6-4).



Abbildung 6-3: Befüllung des Behälters 1 mit Trinkwasser (linkes Foto) und Beimengung des „Keimcocktails“ (rechtes Foto) (Fotos: Gruber).



Abbildung 6-4: Durchmischung des Behälters 1 (linkes Foto) und Probenahme des Mischwassers (rechtes Foto) (Fotos: Gruber).

Nach der Durchmischung und der Probenahme aus dem angeimpften Behälter wurden die Leitungen 1 bis 4 kontinuierlich mit der Wassermischung aus dem Behälter 1 vollständig befüllt. Luft einschüsse waren dabei durch das durchgängige Gefälle der Leitungen und die kontrollierte Befüllung nicht zu erwarten. Die Befüllungen (Abbildung 6-5) wurden jeweils am Leitungsanfang, Punkt A, durchgeführt, welcher jeweils der höchsten Stelle der Leitung entsprach. Die Schieber an den Endpunkten E der Leitungen waren dabei jeweils geschlossen. Die Leitungen wurden vorab nicht behandelt. Sie wurden zuvor offen und ohne Inhalt in der Halle gelagert. Eine Vorbehandlung der Leitungen wurde nicht als notwendig

erachtet, da eine Verkeimung der Rohrleitungen für die spätere Behandlung mit L.E.S.S. ja gewollt war.

Nach der Befüllung wurden alle 4 Leitungsenden mittels einer Klarsichtfolie verschlossen (Abbildung 6-5), um den Luftaustausch und den Eintrag durch Verschmutzungen von außen zu verhindern.



Abbildung 6-5: Befüllung der Leitungen (linkes Foto), die verschlossene Leitung 4 (rechtes Foto) (Fotos: Gruber).

Nach 2 Tagen nach der Befüllung der 4 Leitungen fand eine Beprobung des Restvolumens im Behälter 1 auf seine entstandene Verkeimung statt. Da in der Halle annähernd konstante Temperaturbedingungen herrschten, wurde von einer ähnlichen Keimentwicklung im Behälter 1 und in den Leitungen 1 bis 4 ausgegangen. Nach ca. 7 Wochen Stagnation konnte eine ausreichende Verkeimung des Wassers in den Leitungen festgestellt werden. Die Eigenversuche wurden ebenfalls nach 4 bis 6 Wochen nach der Beimpfung durchgeführt.

Die ersten Ergebnisse aus dem Beimpfungsvorgang am 27.06.2022 und der Kontrolle der Keimentwicklung am 29.06.2022 können der Tabelle 6-1 und der Tabelle 6-2 entnommen werden.

Die Interpretationen sind nachfolgend mit der laufenden Probennummer zu den Ergebnissen in den Tabellen zugeordnet.

Tabelle 6-1: Auswertung des Versuches 1 – Beimpfung

Lfd. Probennummer		1	2	Grenzwerte TWV (i. d. g. F.)
Probenahmestelle		Hydrant vor Spülung	Hydrant nach Spülung	
Probenahmedatum		27.06.2022	27.06.2022	
Entnahmestelle		Hydrant nach Wasserzähler	Hydrant nach Druckschlauch	
Entnahmeart		Hahnentnahme	Schlauchentnahme	
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	
E. coli	[KBE/100 mL]	0	0	0
coliforme Bakterien	[KBE/100 mL]	0	0	0
Enterokokken	[KBE/100 mL]	0	0	0
P. aeruginosa	[KBE/100 mL]	1400	6	0
C. perfringens	[KBE/100 mL]	1	0	0
KBE bei 22°C	[KBE/mL]	488	80	100
KBE bei 37°C	[KBE/mL]	188	8	20
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	2500
pH-Wert	[]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	6,5 - 9,5
Wassertemperatur	[°C]	18	14	25
ALP ²⁾	[µU]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht				
²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder				

Tabelle 6-2: Auswertung des Versuches 1 – Beimpfung

Lfd. Probennummer		3	4	5
Probenahmestelle		Behälter 1 mit Trinkwasser	Behälter 1 angeimpft	Behälter 1 nach 2 Tagen
Probenahmedatum		27.06.2022	27.06.2022	29.06.2022
Entnahmestelle		Behälter 1	Behälter 1	Behälter 1
Entnahmeart		Hahnentnahme	Hahnentnahme	Hahnentnahme
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	Messwerte
E. coli	[KBE/100 mL]	0	0	0
coliforme Bakterien	[KBE/100 mL]	2	3	0
Enterokokken	[KBE/100 mL]	0	0	0
P. aeruginosa	[KBE/100 mL]	25	15	122
C. perfringens	[KBE/100 mL]	0	0	0
KBE bei 22°C	[KBE/mL]	23	680	3360
KBE bei 37°C	[KBE/mL]	1	316	2112
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾
pH-Wert	[]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾
Wassertemperatur	[°C]	14	k. A. ¹⁾	25
ALP ²⁾	[µU]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht				
²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder				

Interpretation der Probennummer 1

Die Auswertungen aus den Trinkwasserproben zeigten, dass sich im Hydranten durch die Stagnation in der Zuleitung bis zum Entnahmestutzen verkeimtes Wasser befand und sich dort überwiegend *Pseudomonas aeruginosa* aufkonzentriert hatten. Die Parameter für koloniebildenden Einheiten (KBE) bei 22 °C und bei 37 °C liegen über den vorgegebenen Parameterwerten der Trinkwasserverordnung für nicht desinfiziertes Wasser.

Interpretation der Probennummer 2

Nach einer Spüldauer von ca. 10 min konnten die Keimzahlen deutlich reduziert werden. Der Spülvorgang wurde am Ende der Druckschlauchleitung (DN 50) beprobt, siehe Abbildung 6-2.

Interpretation der Probennummer 3

Die Befüllung des Behälters 1 wurde nach dem Spülvorgang durchgeführt. Überraschend waren coliforme Bakterien und *Pseudomonas aeruginosa* in geringem Ausmaß vorhanden. Die coliformen Bakterien waren dem Anschein nach im Behälter bzw. im Auslassventil des Behälters, da in den Untersuchungen zuvor keine Hinweise darauf zu finden waren. Die KBE 22 und KBE 37 liegen unter den zuordenbaren Grenzwerten der TWV (i. d. g. F.).

Interpretation der Probennummer 4

Nach der Zumischung des „Keimcocktails“ zum Trinkwasser im Behälter 1 wurde der Inhalt des Behälters 1 durchmischt und eine Probe gezogen. Hierbei ist ein deutlicher Anstieg der KBE 22 und KBE 37 zu erkennen. Ein zu erwartender Anstieg der weiteren Untersuchungsparameter konnte nicht festgestellt werden. Bei den *Pseudomonas aeruginosa* war die Keimanzahl niedriger als bei der Probennummer 3.

Interpretation der Probennummer 5

Zwei Tage nach der Befüllung der 4 Rohrleitungen mit dem verkeimten Wasser aus dem Behälter 1 wurde eine Probe aus dem Restinhalt (ca. 30 L) gezogen. Das Ergebnis spiegelte die Erwartungen eines Keimwachstums wider. Diese Nachuntersuchung wurde zusätzlich als weiterführende Information über den möglichen Wasserzustand in den 4 befüllten Rohrleitungen durchgeführt.

6.1.3.2 Beprobung nach 7 Wochen

Nach 7 Wochen wurden zunächst am 12.08.2022 nur die Leitungen 1 und 2 untersucht. Für die Untersuchung der beiden Leitungen wurde der jeweilige Leitungsinhalt in zwei separate 1000 L Behälter entleert (Abbildung 6-6), um jeweils eine eigene Mischprobe des gesamten Rohrinhalts zu erhalten. Eine Probenahme des jeweiligen Rohrinhalts (Abbildung 6-6) fand vor der weiteren Rohrbehandlung statt, um das Ausmaß der Verkeimung nach 7 Wochen in jeder der beiden Leitungen getrennt festzustellen.

Die Leitungen 3 und 4 wurden aus zeitlichen Gründen nicht am selben Tag untersucht, sondern erst im Zuge der nächsten Untersuchungen.

Es wurden Proben für die mikrobiologische Trinkwasseruntersuchung und auch schon für den ColiMinder entnommen, welcher dann aber erst ab dem 16.08.2022 für die Paralleluntersuchungen zur Verfügung stand. Bis zu den ColiMinder-Untersuchungen am 16.08.2022 wurden diese Proben bei ca. 4 °C gekühlt gelagert.



Abbildung 6-6: Entleerung der Leitung 1 (linkes Foto) und eine Mischprobe aus Behälter 2 (rechtes Foto) (Fotos: Gruber).

Als Erläuterung zu den Probenahmestellen werden die Leitungen 1 – 4 zusätzlich mit dem zugehörigen Leitungspunkt E (Ende) und A (Anfang) bezeichnet (siehe auch Kapitel 5).

Die zweiten Untersuchungen zur Überprüfung der stagnierenden Wässer in den Leitungen 1 und 2 wurde nach 7 Wochen am 12.08.2022 durchgeführt, deren Ergebnisse in der nachfolgenden Tabelle 6-3 zusammengefasst werden:

Tabelle 6-3: Auswertung des Versuches 1 nach 7 Wochen Stagnation mit angeimpften Wasser in den Leitungen 1 und 2

Lfd. Probennummer		6	7	Grenzwerte TWV (i. d. g. F.)
Probenahmestelle		Wasser nach 7 Wochen Stagnation	Wasser nach 7 Wochen Stagnation	
Probenahmedatum		12.08.2022	12.08.2022	
Entnahmestelle		Leitung 1 E	Leitung 2 E	
Entnahmeart		Hahnentnahme	Hahnentnahme	
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	
E. coli	[KBE/100 mL]	0	0	0
coliforme Bakterien	[KBE/100 mL]	0	0	0
Enterokokken	[KBE/100 mL]	0	0	0
P. aeruginosa	[KBE/100 mL]	65	5500	0
C. perfringens	[KBE/100 mL]	0	0	0
KBE bei 22°C	[KBE/mL]	2720	3040	100
KBE bei 37°C	[KBE/mL]	2880	3600	20
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	2500
pH-Wert	[]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	6,5 - 9,5
Wassertemperatur	[°C]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	25
ALP ²⁾	[µU]	6095	4671	
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht				
²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder				

Interpretation der Probennummer 6

Der Rohrinhalt der Leitung 1 wurde entleert und der gesamte Inhalt der Rohrleitung in einem Behälter gesammelt, durchmischt und beprobt. Die mikrobiologische Trinkwasseruntersuchung zeigte einen vergleichsweise niedrigen Wert von Pseudomonas aeruginosa und beträchtlich hohe Werte bei den KBE 22 und KBE 37. Die nachträgliche Analyse mit dem ColiMinder zeigte eine hohe Gesamtzymaktivität (ALP) von 6095 µU in der Wasserprobe.

Interpretation der Probennummer 7

Der Rohrinhalt der Leitung 2 wurde entleert und der gesamte Inhalt der Rohrleitung in einem Behälter gesammelt, durchmischt und beprobt. Die mikrobiologische Trinkwasseruntersuchung zeigte gegenüber der Leitung 1 (Probennummer 6) vergleichsweise höhere Werte von Pseudomonas aeruginosa, KBE 22 und KBE 37.

Die nachträgliche Untersuchung des Wassers der Leitung 2 mit dem ColiMinder ergab jedoch hinsichtlich der Gesamtzymaktivität mit 4671 µU gegenüber der Leitung 1 einen niedrigeren Wert, obwohl die mikrobiologische Trinkwasseruntersuchung in der Leitung 2 höhere Keimzahlen ergab.

Aus den Ergebnissen der Probennummern 6 und 7 muss allerdings geschlossen werden, dass in den beiden gleichartigen Rohrleitungen 1 und 2 jeweils unterschiedliche Keimbildungen während der 7 Wochen stattfanden, was auf unterschiedliche Verhältnisse in den Rohren zu Beginn der Befüllungen schließen lässt.

6.1.3.3 L.E.S.S.-Behandlung der Leitung 1 (L1)

Am 12.08.2022 wurde der erste Versuch mit dem L.E.S.S. durchgeführt. Für die Durchführung wurde die Leitung 1 gewählt. Nachdem der Rohrinhalt der Leitungen 1 und 2 in die Behälter 1 und 2 entleert wurde, konnte mit dem 1. Spülvorgang der Leitung 1 begonnen werden. Der erste Spülvorgang wurde zur Entfernung von Ablagerungen und zur Ausspülung leicht entfernbare Keime genutzt.

Für den Spülvorgang der Rohrleitungen wurden der Hydrant vor der Werkshalle und ca. 75 m Druckschlauch (DN 50) als Zuleitung verwendet. Vor der Nutzung des Spülwassers wurde der Hydrant ca. 7 Minuten gespült. Nach der Hydrantenspülung wurde der gespülte Druckschlauch am Punkt A an die Leitung 1 angeschlossen und dabei die Probehähne geöffnet, um für eine Entlüftung der Leitung zu sorgen. Der Schieber am Leitungsende am Punkt E wurde komplett geöffnet, um keinen Rückstau und keine Totzonen im Rohr zu generieren.

Nach ca. 5 Minuten des 1. Spülvorganges der Leitung 1 wurde derselbe Spülvorgang auch in der Leitung 2 wiederholt und identisch durchgeführt.

Danach wurde die Leitung 1 mit der UV-C-Strahlung des L.E.S.S. behandelt. Die Vorbereitungen und die Behandlung mit L.E.S.S. wurden von den Mitarbeitern der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH durchgeführt. Die Zuggeschwindigkeit des UV-Lampenkopfes betrug bei diesem Versuch 5 m/min. Nach der Durchführung der UV-C-Desinfektion wurde die behandelte Leitung 1 nochmals einem Spülvorgang unterzogen, da sich noch Reste von Biofilm-Abschabungen durch das Durchziehen des Lampenkopfes in der Rohrleitung befinden konnten. Zudem war zur Kontrolle und Beweisführung auch die Entnahme einer Trinkwasserprobe nach dem Spülvorgang erforderlich. Dauer des zweiten Spülvorganges betrug ca. 5 min.

Zur Vergleichbarkeit und für den Nachweis einer Wirksamkeit wurde die Leitung 2 nicht mit L.E.S.S. behandelt und daher auch kein zweites Mal gespült.

Zum Nachweis einer Verkeimung und einer Wirksamkeit des L.E.S.S.-Verfahrens in der Leitung 1 wurde die Leitung 1 am 12.08.2022 beprobt. Tabelle 6-4 zeigt den Zustand der Leitung 1 vor der L.E.S.S.-Behandlung und Tabelle 6-5 den Zustand der Leitung 1 nach der L.E.S.S.-Behandlung. Im Vergleich dazu sind die Auswertungen der Wasserproben der Leitung 2 in der Tabelle 6-6 dargestellt.

Tabelle 6-4: Auswertung des Versuches 1 vor der L.E.S.S.-Behandlung der Leitung 1

Lfd. Probennummer		8	9	Grenzwerte TWV (i. d. g. F.)
Probenahmestelle		Spülvorgang vor L.E.S.S.	Spülvorgang vor L.E.S.S.	
Probenahmedatum		12.08.2022	12.08.2022	
Entnahmestelle		Leitung 1 A	Leitung 1 E	
Entnahmeart		Hahnentnahme	Hahnentnahme	
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	
E. coli	[KBE/100 mL]	0	0	0
coliforme Bakterien	[KBE/100 mL]	0	0	0
Enterokokken	[KBE/100 mL]	0	0	0
P. aeruginosa	[KBE/100 mL]	0	46	0
C. perfringens	[KBE/100 mL]	0	0	0
KBE bei 22°C	[KBE/mL]	18	31	100
KBE bei 37°C	[KBE/mL]	0	1	20
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	2500
pH-Wert	[]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	6,5 - 9,5
Wassertemperatur	[°C]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	25
ALP ²⁾	[µU]	8,8	28,7	
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht				
²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder				

Interpretation der Probennummer 8

Am Ende des Spülvorganges wurde jeweils am Rohranfang A (Zuleitung) und am Rohrende E (Entleerung) nahezu zeitgleich eine Probe gezogen. Nach ausreichender Vorspülung der Zuleitung (Hydrant) wurde in der Probe am Rohranfang A (Zuleitung) von allen untersuchten Parametern nur eine geringe Anzahl an KBE 22 festgestellt, weshalb von einer einwandfreien Trinkwasserqualität in der Zuleitung ausgegangen werden konnte. Dieses Erkenntnis wurde auch von der mit 8,8 µU sehr geringen ALP des ColiMinders bestätigt. Beide Ergebnisse entsprechen einer sehr guten Trinkwasserqualität.

Interpretation der Probennummer 9

Am Ende des Spülvorganges wurde jeweils am Rohranfang A (Zuleitung) und am Rohrende E (Entleerung) nahezu zeitgleich eine Probe gezogen. Der Untersuchungsbefund am Rohrende E (Entleerung) wies dabei dann einen erhöhten Wert an Pseudomonas aeruginosa auf, welcher sich durch den Spülvorgang nur geringfügig veränderte. Die KBE 22 und KBE 37 verringerten sich allerdings um ein Vielfaches im Vergleich mit der Probe des Rohrinhalts der Leitung 1 (Probennummer 6) nach 7 Wochen (Tabelle 6-3). Die parallel durchgeführte Untersuchung mit dem ColiMinder ergab in dieser Probe mit einer ALP von 28,7 µU bereits eine für eine Trinkwasserqualität bedenklich hohe Gesamtzymaktivität.

Tabelle 6-5: Auswertung des Versuches 1 nach der L.E.S.S.-Behandlung der L1

Lfd. Probennummer		10	11	Grenzwerte TWV (i. d. g. F.)
Probenahmestelle		Spülvorgang nach L.E.S.S.	Spülvorgang nach L.E.S.S.	
Probenahmedatum		12.08.2022	12.08.2022	
Entnahmestelle		Leitung 1 A	Leitung 1 E	
Entnahmeart		Hahnentnahme	Hahnentnahme	
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	
E. coli	[KBE/100 mL]	0	0	0
coliforme Bakterien	[KBE/100 mL]	0	0	0
Enterokokken	[KBE/100 mL]	0	0	0
P. aeruginosa	[KBE/100 mL]	0	28	0
C. perfringens	[KBE/100 mL]	0	0	0
KBE bei 22°C	[KBE/mL]	0	12	100
KBE bei 37°C	[KBE/mL]	0	2	20
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	2500
pH-Wert	[]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	6,5 - 9,5
Wassertemperatur	[°C]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	25
ALP ²⁾	[µU]	7,64	15,2	
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht ²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder				

Interpretation der Probennummer 10

Die Zuleitung, beginnend am Hydranten und inklusive der 75 m Druckschlauchleitung bis zum Rohranfang beim Probehahn wies einen hygienisch einwandfreien Befund auf. Auch die Gesamtzymaktivität des ColiMinders entsprach einer sehr guten Trinkwasserqualität.

Interpretation der Probennummer 11

Die Beprobung nach der Durchführung der UV-C-Desinfektionsmaßnahme zeigte eine Reduzierung von *Pseudomonas aeruginosa* und von KBE 22. Eine vollkommene Eliminierung der Keime in der Wasserprobe mit der Probennummer 9 (Tabelle 6-4) konnte durch die UV-C-Desinfektion in der Wasserprobe 10 nicht festgestellt werden. Die KBE 37 stiegen sogar um 1 KBE/mL an. Alle untersuchten Parameterwerte entsprachen der TWV (i. d. g. F.), einzig die *Pseudomonas aeruginosa* lagen über dem geforderten Indikatorparameterwert der TWV. Die mit dem ColiMinder parallel untersuchte Gesamtzymaktivität ergab jedoch mit 15,2 µU einen Wert, der nach der Beurteilung der VWMS GmbH immer noch als Trinkwasserqualität einzustufen war.

Tabelle 6-6: Auswertung des Versuches 1 nach dem Spülvorgang in der Leitung 2

Lfd. Probennummer		12	13	Grenzwerte TWV (i. d. g. F.)
Probenahmestelle		Spülvorgang Vergleich	Spülvorgang Vergleich	
Probenahmedatum		12.08.2022	12.08.2022	
Entnahmestelle		Leitung 2 A	Leitung 2 E	
Entnahmeart		Hahnentnahme	Hahnentnahme	
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	
E. coli	[KBE/100 mL]	0	0	0
coliforme Bakterien	[KBE/100 mL]	0	1	0
Enterokokken	[KBE/100 mL]	0	0	0
P. aeruginosa	[KBE/100 mL]	1	9	0
C. perfringens	[KBE/100 mL]	0	0	0
KBE bei 22°C	[KBE/mL]	3	9	100
KBE bei 37°C	[KBE/mL]	0	6	20
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	2500
pH-Wert	[]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	6,5 - 9,5
Wassertemperatur	[°C]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	25
ALP ²⁾	[µU]	8,96	20,1	
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht				
²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder				

Interpretation der Probennummer 12

Die Leitung 2 wurde nur einem Spülvorgang unterzogen, um die Wirksamkeit der hier nicht durchgeführten L.E.S.S.-Behandlung im Vergleich zu der Leitung 1 nachweisen zu können. Am Leitungsanfang A der Leitung 2 konnte dabei nur eine sehr geringe Anzahl von Keimen festgestellt werden, was auf eine sehr gute Trinkwasserqualität in der Zuleitung schließen lässt.

Interpretation der Probennummer 13

Die Probe am Rohrende E der Leitung 2 wies einige Keime in geringen Mengen auf. Unerwarteterweise konnte in dieser Probe 1 KBE von coliformen Bakterien in 100 mL festgestellt werden, welche womöglich durch andere Umweltfaktoren eingebracht wurde. Damit konnte aber auch gezeigt werden, dass die Verkeimungen in der Leitung 2 alleine durch einen relativ kurzen Spülvorgang weitestgehend reduziert werden konnten, ohne dass diese Leitung zuvor mit L.E.S.S. behandelt worden war.

6.1.3.4 Wirksamkeitsanalyse

Nach der Versuchsdurchführung am 12.08.2022 wurden die Leitungen 1 und 2 nach dem jeweiligen letzten Spülvorgang mit Trinkwasser befüllt belassen. Für den Nachweis einer Wirksamkeit wurde sowohl die mit L.E.S.S. behandelte Leitung 1 als auch die nicht mit L.E.S.S. behandelte Leitung 2 mit Trinkwasser befüllt.

Nach 4 weiteren Tagen Stagnation in den beiden Rohrleitungen wurden die Inhalte der beiden Leitungen am 16.08.2022 jeweils wieder getrennt in einen eigenen 1000 L Behälter entleert. Von beiden entleerten und durchgemischten Volumina wurde wieder eine Stichprobe des gesamten Rohrinhaltes gezogen. Parallel dazu wurden diese Proben auch wieder mit dem ColiMinder untersucht.

Die Ergebnisse der mikrobiologischen Wasseranalysen dieser beiden Proben sind in der nachfolgenden Tabelle 6-7 dargestellt:

Tabelle 6-7: Auswertung des Versuches 1 – Wirksamkeitsanalyse

Lfd. Probennummer		14	15	Grenzwerte TWV (i. d. g. F.)
Probenahmestelle		Wirksamkeit nach 4 Tagen	Wirksamkeit nach 4 Tagen	
Probenahmedatum		16.08.2022	16.08.2022	
Entnahmestelle		Leitung 1 E	Leitung 2 E	
Entnahmeart		Hahnenentnahme	Hahnenentnahme	
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	
E. coli	[KBE/100 mL]	<1	<1	0
coliforme Bakterien	[KBE/100 mL]	<1	<1	0
Enterokokken	[KBE/100 mL]	0	0	0
P. aeruginosa	[KBE/100 mL]	3400	3440	0
C. perfringens	[KBE/100 mL]	0	0	0
KBE bei 22°C	[KBE/mL]	15840	10400	100
KBE bei 37°C	[KBE/mL]	5040	10400	20
Leitfähigkeit bei 20°C		773	771	2500
pH-Wert	[]	7,64	7,69	6,5 - 9,5
Wassertemperatur	[°C]	24	24,1	25
ALP ²⁾	[μU]	2529	1537	
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht ²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder				

Interpretation der Probennummern 14 und 15

Die Überprüfung der Leitungen 1 und 2 nach 4 Tagen mit stagnierendem Wasser zeigte nur in der Anzahl der koloniebildenden Einheiten einen Unterschied. In beiden Wasserproben waren Pseudomonas aeruginosa, KBE 22 und KBE 37 in großer Anzahl vorhanden. Der wesentliche Unterschied bestand in den KBE 22 und KBE 37 Einheiten sowie in der vom ColiMinder gemessenen Gesamtzymaktivität.

Diese ergab in der mit L.E.S.S. behandelten Leitung 1 mit 2529 μU gegenüber den nur 1537 μU in der nicht mit L.E.S.S. behandelten Leitung 2 einen deutlich höheren Wert. Ein dafür möglicher Grund könnte nach Korth et al. (2007) an veränderten Biofilmen liegen, da sich der Biofilm nach Reinigungsmaßnahmen und Änderungen der Wasserbeschaffenheit sich neu bilden bzw. verändern kann. Im konkreten Fall wurden beide Rohre mit Trinkwasser gespült, davon aber nur die Leitung 1 davor noch zusätzlich mit UV-C Strahlung desinfiziert, wodurch ev. durch die dadurch inaktivierten abgestorbenen Keime ein höheres Nahrungsangebot für die Vermehrung der restlichen Keime vorhanden war, was wiederum deren Wachstum gefördert haben könnte.

Die mikrobiologischen Labor-Untersuchungswerte können lt. Wasserlabor aufgrund des Verdünnungsfaktors und der Auswertungsmethode idente Zahlenwerte aufweisen, wie es konkret bei der Probennummer 15 bei den KBE 22 und KBE 37 der Fall war.

6.1.3.5 L.E.S.S.-Behandlung der Leitung 3 (L3)

Am 16.08.2022 wurde auch der zweite Teil des ersten Versuches mit dem L.E.S.S. durchgeführt, im Rahmen dessen die Leitung 3 mit L.E.S.S. UV-C-desinfiziert wurde. Nachdem der Rohrinhalt der Leitungen 3 und 4 in den Behälter 2 entleert wurden, konnte zunächst mit dem 1. Spülvorgang der Leitung 3 begonnen werden. Der erste Spülvorgang wurde zur Entfernung von Ablagerungen und Ausspülungen während der 7-wöchigen Stagnationsperiode durchgeführt.

Für den Spülvorgang der Rohrleitungen wurden wieder der Hydrant vor der Werkshalle und ein ca. 75 m Druckschlauch (DN 50) als Zuleitung genutzt. Vor der Nutzung des Spülwassers wurde der Hydrant ca. 7 Minuten gespült. Nach der Hydrantenspülung wurde der gespülte Druckschlauch an die Leitung 3 angeschlossen und die Probehähne wurden nach Beginn des Spülvorganges geöffnet, um für eine Entlüftung der Leitung zu sorgen. Der Schieber am Leitungsende E wurde komplett geöffnet, um keinen Rückstau oder keine Totzonen im Rohr zu generieren.

Nach ca. 5 Minuten des 1. Spülvorganges der Leitung 3 wurde auch die Leitung 4 auf dieselbe Art und Weise gespült.

Danach wurde nur die Leitung 3 mit der UV-C Strahlung des L.E.S.S. behandelt. Die Zuggeschwindigkeit des UV-C-Lampenkopfes betrug dabei auch wieder 5 m/min. Nach der Durchführung der UV-C-Desinfektion wurde die behandelte Leitung 3 nochmals einem Spülvorgang unterzogen, da sich noch Reste von Abschabungen durch den Lampenkopf in der Rohrleitung befinden konnten.

Zudem war auch zur Kontrolle und zur Beweissicherung auch eine Wasserprobe nach dem Spülvorgang erforderlich. Die Dauer des zweiten Spülvorganges betrug dabei wieder ca. 5 min.

Zur Vergleichbarkeit der Wirksamkeit wurde die Leitung 4 nicht mit L.E.S.S. behandelt und erhielt auch keinen zweiten Spülvorgang.

Für die weiteren Untersuchungen der Leitungen 3 und 4 wurden für den ColiMinder bereits verwendete Probenahme flaschen für die Probenentnahmen verwendet, da durch eine vorangegangene Behandlung der Flaschen mit Desinfektionsmittel und einer Reinigung vor Ort keine Auswirkungen auf die Referenzproben aus der Hausinstallationsleitung erkennbar waren. Die Referenzproben zeigten stets eine gute Trinkwasserqualität an. Die Probenahme wurde ident zu den bisherigen Probenahmen für die Leitung 3 und Leitung 4 durchgeführt. In der Abbildung 6-7 ist die Probenahme an der Leitung 4 nach dem hier einmaligen Spülvorgang dargestellt.



Abbildung 6-7: Probenahme Leitung 4 am Punkt E (linkes Foto) und am Punkt A (rechtes Foto) (Fotos: Gruber).

Die bei diesem Versuch entnommenen Wasserproben wurden nur mit dem ColiMinder untersucht. Aus den Versuchen an der Leitung 1 und Leitung 2 sind Referenzwerte für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse vorhanden.

Zur Untersuchung der Auswirkung vom L.E.S.S. wurden zunächst die Leitungen 3 und 4 am 16.08.2022 nach einer 7-wöchigen Stagnationsphase mit angeimpftem Trinkwasser beprobt und deren Ergebnisse in der Tabelle 6-8 dargestellt.

Zur Untersuchung der Wirksamkeit wurde dann nur die Leitung 3 am 16.08.2022 mit L.E.S.S. behandelt. In der Tabelle 6-9 sind die Ergebnisse der ColiMinder-Untersuchungen vor und in der Tabelle 6-10 nach der L.E.S.S.-Behandlung dargestellt.

Zum Vergleich dazu wurde auch die mit L.E.S.S. nicht behandelte Leitung 4 am 16.08.2022 nach einer einmaligen Spülung beprobt und die ColiMinder-Ergebnisse aus dieser Untersuchung in der Tabelle 6-11 zusammengefasst.

Zur Untersuchung des Ausgangszustandes des verwendeten Spülwassers wurde auch wieder direkt am Hydranten nach dem Wasserzähler eine Wasserprobe entnommen und mit dem ColiMinder untersucht (siehe Tabelle 6-12).

Tabelle 6-8: Auswertung des Versuches 1 nach 7 Wochen Stagnation in der Leitung 3 und Leitung 4

Lfd. Probennummer		16	17	Grenzwerte TWV (i. d. g. F.)
Probenahmestelle		Wasser nach 7 Wochen Stagna- tion	Wasser nach 7 Wochen Stagna- tion	
Probenahmedatum		16.08.2022	16.08.2022	
Entnahmestelle		Leitung 3 E	Leitung 4 E	
Entnahmeart		Hahnenentnahme	Hahnenentnahme	
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	770	768	2500
pH-Wert	[]	7,77	7,84	6,5 - 9,5
Wassertemperatur	[°C]	24,4	24,6	25
ALP ²⁾	[µU]	1398	3200	
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht ²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder				

Interpretation der Probennummern 16 und 17

Die Wasseruntersuchungen der Leitungen 3 und 4 nach 7 Wochen Stagnation mit angeimpftem Wasser wurden nur mit dem ColiMinder vor Ort durchgeführt. Da die Ergebnisse aus den vorigen Versuchen in den Leitungen 1 und 2 zeigten, dass der ColiMinder sehr sensibel auf die Aktivitäten der Keime in den Wasserproben reagierte, wurden für die Langzeituntersuchungen in der Leitung 3 und 4 keine mikrobiologischen Labor-Parallel-Analysen durchgeführt. Die Untersuchungsergebnisse in den beiden Wasserproben zeigten eine unterschiedlich hohe Verkeimung der Wässer, was auf einen ungleichen Rohrzustand hinwies. Bei den physikalischen Parametern waren im Gegensatz dazu praktisch keine wesentlichen Unterschiede zu erkennen.

Tabelle 6-9: Auswertung des Versuches 1 vor einer L.E.S.S.-Behandlung in der L3

Lfd. Probennummer		18	19	Grenzwerte TWV (i. d. g. F.)
Probenahmestelle		Spülvorgang vor L.E.S.S.	Spülvorgang vor L.E.S.S.	
Probenahmedatum		16.08.2022	16.08.2022	
Entnahmestelle		Leitung 3 A	Leitung 3 E	
Entnahmeart		Hahnentnahme	Hahnentnahme	
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	701	702	2500
pH-Wert	[]	7,59	7,64	6,5 - 9,5
Wassertemperatur	[°C]	17,4	17,6	25
ALP ²⁾	[µU]	10,47	9,91	
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht ²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder				

Interpretation der Probennummern 18 und 19

Am Ende des Spülvorganges wurde jeweils am Rohranfang A (Zuleitung) und am Rohrende E (Entleerung) nahezu zeitgleich eine Probe gezogen. Nach ausreichender Vorspülung der Zuleitung (Hydranten) wurde an beiden Punkten nur eine geringe Anzahl an ALP festgestellt. Wie bei den vorangegangenen Messungen der Leitungen 1 und 2 auch kann daraus abgeleitet werden, dass die Keimbelastung des Spülwassers sehr gering war. Eine mikrobiologische Trinkwasser-Laboruntersuchung wurde bei diesem Versuch nicht durchgeführt.

Die ALP-Messwerte nach dem 1. Spülvorgang in der Leitung 3 lagen nach dem Bewertungssystem von VWMS GmbH (2019) in einem guten Trinkwasserqualitätsbereich.

Tabelle 6-10: Auswertung des Versuches 1 nach einer L.E.S.S.-Behandlung in der L3

Lfd. Probennummer		20	21	Grenzwerte TWV (i. d. g. F.)
Probenahmestelle		Spülvorgang nach L.E.S.S.	Spülvorgang nach L.E.S.S.	
Probenahmedatum		16.08.2022	16.08.2022	
Entnahmestelle		Leitung 3 A	Leitung 3 E	
Entnahmeart		Hahnentnahme	Hahnentnahme	
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	704	702	2500
pH-Wert	[]	7,63	7,64	6,5 - 9,5
Wassertemperatur	[°C]	18,1	17,6	25
ALP ²⁾	[µU]	7,07	9,33	
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht				
²⁾ ALP = Gesamtenzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder				

Interpretation der Probennummern 20 und 21

Am Ende des erneuten Spülvorganges nach der L.E.S.S.-Behandlung der Leitung 3 wurde jeweils am Rohranfang A (Zuleitung) und am Rohrende E (Entleerung) nahezu zeitgleich eine Probe gezogen. Nach ausreichender Vorspülung der Zuleitung (Hydrant) wurde dabei eine geringe Anzahl an ALP festgestellt. Aus den vorangegangenen Messungen der Leitungen 1 und 2 konnte abgeleitet werden, dass die Keimbelastung des Spülwassers auch bei diesem Versuch wieder sehr gering war. Eine mikrobiologische Trinkwasser-Laboruntersuchung wurde bei diesem Versuch nicht durchgeführt.

Die Messwerte nach dem zweiten Spülvorgang in der Leitung 3 lagen nach dem Bewertungssystem der Fa. VWMS GmbH (2019) nach der Durchführung einer L.E.S.S.-Behandlung im Bereich einer sehr guten Trinkwasserqualität aber nur sehr geringfügig besser als vor der L.E.S.S.-Behandlung nach der 1. Spülung.

Tabelle 6-11: Auswertung des Versuches 1 nach der einmaligen Spülung der L4

Lfd. Probennummer		22	23	Grenzwerte TWV (i. d. g. F.)
Probenahmestelle		Spülvorgang- Vergleich	Spülvorgang- Vergleich	
Probenahmedatum		16.08.2022	16.08.2022	
Entnahmestelle		Leitung 4 A	Leitung 4 E	
Entnahmeart		Hahnentnahme	Hahnentnahme	
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	689	689	2500
pH-Wert	[]	7,58	7,71	6,5 - 9,5
Wassertemperatur	[°C]	17,7	17,7	25
ALP ²⁾	[µU]	6,24	14,67	
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht				
²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder				

Interpretation der Probennummern 22 und 23

Am Ende des einmaligen Spülvorganges der Leitung 4 wurde jeweils am Rohranfang A (Zuleitung) und am Rohrende E (Entleerung) nahezu zeitgleich eine Probe gezogen. Nach ausreichender Vorspülung der Zuleitung (Hydranten) wurde dabei eine geringe Anzahl an ALP festgestellt. Aus den vorangegangenen Messungen der Leitungen 1 und 2 konnte abgeleitet werden, dass die Keimbelastung des Spülwassers auch wieder sehr gering war. Eine mikrobiologische Trinkwasser-Laboruntersuchung wurde bei diesem Versuch nicht durchgeführt.

Die ALP-Messwerte nach dem 1. und alleinigen Spülvorgang in der Leitung 4 lagen nach dem Bewertungssystem der Fa. VWMS GmbH (2019) ohne der Durchführung einer L.E.S.S.-Behandlung im Bereich einer guten Trinkwasserqualität, aber etwas schlechter als in der Leitung 3 vor und nach einer L.E.S.S.-Behandlung.

Tabelle 6-12: Auswertung des Versuches 1 – Hydrantenwasser nach Wasserzähler

Lfd. Probenummer	24
Probenahmestelle	Hydrant nach Wasserzähler
Probenahmedatum	16.08.2022
Entnahmestelle	-
Entnahmeart	Hahnentnahme
Parameter	Einheit
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]
pH-Wert	[]
Wassertemperatur	[°C]
ALP ³⁾	[µU]
	Messwerte
	k. A. ¹⁾
	k. A. ¹⁾
	k. A. ¹⁾
	6,76
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht	
²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder	

Interpretation der Probenummer 24

Zum Zweck einer Verbrauchsabrechnung mit dem Wasserversorger wurde wegen dem erhöhten Wasserverbrauch bei den durchgeführten Versuchen ein Wasserzähler direkt am Hydranten angeschlossen. Um für die Untersuchung der Leitungen 3 und 4 einen Referenzwert für die Qualität des Trinkwassers direkt aus dem Ortsnetz nach einer ausreichenden Spülung (ca. 30 min) zu erhalten, wurde diese Probe noch am Ende der Versuchsreihe unmittelbar nach dem Wasserzähler gezogen und mit dem ColiMinder untersucht.

Der daraus resultierende sehr niedrige ALP-Messwert von 6,76 µU bestätigte nach dem Bewertungssystem der Fa. VWMS GmbH (2019) die wieder sehr gute, vorherrschende Trinkwasserqualität aus dem Ortsnetz während dieses Versuches.

6.1.3.6 Langzeitanalyse L3 und L4

Im letzten Teil des ersten Versuches wurde aufgrund der sehr schnellen Auswertungsmöglichkeiten der ALP des ColiMindere die Trinkwasserqualität über den Zeitraum von 14 weiteren Tagen beobachtet, wobei die Veränderung der Gesamtzymaktivität in den beiden Leitungen 3 und 4 durch tägliche Probenahmen untersucht wurde. Der Versuchsaufbau blieb dafür nach wie vor unverändert.

Die Rohre wurden im Zuge dieses Teilversuches nach den Probenahmen allerdings nicht wieder aufgefüllt. Die Probenahmen selbst wurden dabei jeweils nur am Leitungspunkt E (Abbildung 6-8) durchgeführt. Durch den dabei entstandenen Unterdruck wurde über das abgedeckte Rohrende Luft angesaugt. Die Rohrenden waren dabei nicht zur Gänze luftdicht verschlossen, sondern nur insoweit abgedeckt, dass ein Luftaustausch möglich war. Die täglichen Proben-Entnahmen beliefen sich auf ca. 10 L Probenvolumen. Die Proben wurden dabei wieder nur mit dem ColiMinder untersucht. Eine mikrobiologische Trinkwasser-Laboruntersuchung hatte im Untersuchungszeitraum des 1. Versuches nur zu Beginn Versuches stattgefunden.

Zur Untersuchung des Keimbildungsverlaufes in den Leitungen 3 und 4 wurden während dieses Zeitraumes nahezu tägliche Beprobungen durchgeführt, deren Ergebnisse in der Tabelle 6-13 bis Tabelle 6-16 zusammengefasst wurden:.



Abbildung 6-8: Probenahme am Ende der L4 während der 14-tägigen Langzeitanalyse

Tabelle 6-13: Auswertung des Versuches 1, Langzeitanalyse der L3, Tag 0 – 7

Lfd. Probenummer	21	25	26	27	28	30
Probenahmestelle	Beginn	1. Tag	2. Tag	3. Tag	6. Tag	7. Tag
Probenahmedatum	16.08.	17.08.	18.08.	19.08.	22.08.	23.08.
Entnahmestelle	Leitung 3 E					
Entnahmeart	Hahnentnahme					
Parameter	Einheit	Messwerte				
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	704	-	701	702	702
pH-Wert	[]	7,71	-	7,47	7,49	7,63
Wassertemperatur	[°C]	18,1	-	26,1	25,1	22,6
ALP ²⁾	[µU]	9,33	308	2035	11258	MWÜ ¹⁾

¹⁾ MWÜ = Messwertüberschreitung
²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder

Tabelle 6-14: Auswertung des Versuches 1, Langzeitanalyse der L3, Tag 8 – 14

Lfd. Probenummer	31	32	33	34	35	36
Probenahmestelle	8. Tag	10. Tag	11. Tag	12. Tag	13. Tag	14. Tag
Probenahmedatum	24.08.	25.08.	26.08.	27.08.	28.08.	29.08.
Entnahmestelle	Leitung 3 E					
Entnahmeart	Hahnentnahme					
Parameter	Einheit	Messwerte				
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	695	697	698	700	700
pH-Wert	[]	6,99	6,8	6,07	6,91	6,56
Wassertemperatur	[°C]	23,8	25,2	25,3	24,8	24,9
ALP ²⁾	[µU]	8921	6947	5894	5200	4629

¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht
²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder

Tabelle 6-15: Auswertung des Versuches 1, Langzeitanalyse Leitung 4, Tag 0 - 7

Lfd. Probennummer	23	37	38	39	40	41	
Probenahmestelle	Beginn	1. Tag	2. Tag	3. Tag	6. Tag	7. Tag	
Probenahmedatum	16.08.	17.08.	18.08.	19.08.	22.08.	23.08.	
Entnahmestelle	Leitung 4 E						
Entnahmeart	Hahnenentnahme						
Parameter	Einheit	Messwerte					
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	704	-	688	688	702	698
pH-Wert	[]	7,71	-	7,52	7,6	7,63	7,32
Wassertemperatur	[°C]	18,1	-	26,6	25	22,6	23,1
ALP ²⁾	[µU]	14,67	590	1577	11416	MWÜ ¹⁾	5 867

¹⁾ MWÜ = Messwertüberschreitung

²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder

Tabelle 6-16: Auswertung des Versuches 1, Langzeitanalyse Leitung 4, Tag 8 - 14

Lfd. Probennummer	42	43	44	45	46	47	
Probenahmestelle	8. Tag	10. Tag	11. Tag	12. Tag	13. Tag	14. Tag	
Probenahmedatum	24.08.	25.08.	26.08.	27.08.	28.08.	29.08.	
Entnahmestelle	Leitung 4 E						
Entnahmeart	Hahnenentnahme						
Parameter	Einheit	Messwerte					
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	680	689	684	684	685	685
pH-Wert	[]	6,61	7,9	6,71	7,24	6,95	6,61
Wassertemperatur	[°C]	23,8	25,4	25,4	24,9	25	25,1
ALP ²⁾	[µU]	3311	2281	2346	3082	2440	2989

¹⁾ MWÜ = Messwertüberschreitung

²⁾ ALP = Gesamtenzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder

Interpretation der Probennummern 25 bis 47

Die Probennummern 21 (aus der L3) und 23 (aus der L4) aus der Versuchsreihe werden im Zuge des Kapitels 6.1.3.5 beschrieben. Diese beiden Proben stellen jeweils den Ausgangszustand in den Leitungen 3 und 4 am 16.08.2023 dar.

Zum besseren Verständnis über den Verlauf des Keimwachstums in den beiden Rohrleitung L3 und L4 wurde über einen Zeitraum vom 16.08.2022 bis zum 29.08.2022 täglich jeweils eine Probe am Ende der beiden Leitungen 3 und 4 gezogen und mit dem ColiMinder die ALP analysiert. Die daraus resultierenden ALP-Messwerte in den beiden Leitungen 3 und 4 sind in der Abbildung 6-9 vergleichend gegenübergestellt.

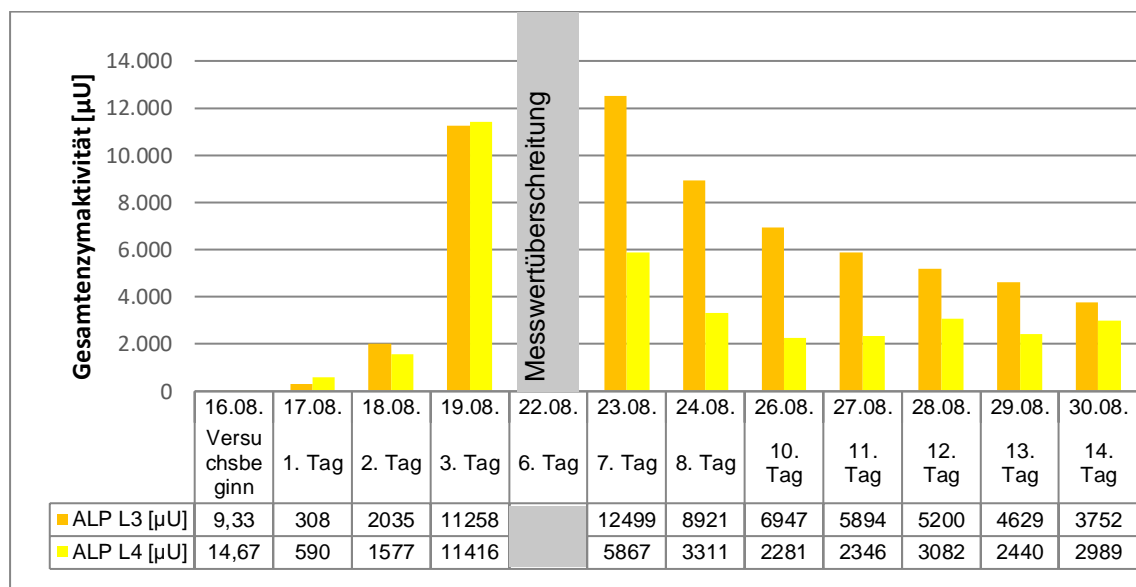


Abbildung 6-9: Vergleich der Keimentwicklung in den Leitungen 3 und 4 auf Basis der täglichen ALP-Messwerte des ColiMinders während einer 14-tägigen Stagnationsphase in den beiden Leitungen.

Daraus lässt sich in beiden Leitungen zunächst ein sehr starker Anstieg der Gesamtenzymaktivität in den ersten 6 Tagen erkennen. Am 22.08.2022 wurde sogar der maximale Messbereich des ColiMinders überschritten, weshalb von diesem Messtag leider keine Messwerte vorlagen.

Im weiteren Verlauf war die Gesamtenzymaktivität dann allerdings rückläufig. Bei einer noch längeren Fortführung des Versuches sollte man nach dem ÖVGW (2012) eine Plateaubildung beobachten können.

Bei diesem Versuch war in der mit L.E.S.S. behandelten Leitung 3 jeweils eine höhere Gesamtenzymaktivität zu erkennen. Ähnliche Beobachtungen konnten auch bereits bei den Untersuchungen der Leitung 1 und Leitung 2 festgestellt werden. Wie bereits bei den Untersuchungen der Leitungen 1 und 2 ausgeführt, könnte dieses Verhalten zum einen auf die mechanische Beanspruchung durch die L.E.S.S.-Behandlung und zum anderen durch das Absterben von Keimen durch die UV-C-Behandlung interpretiert werden, wodurch für die verbleibenden Keime ein erhöhtes Nährstoffangebot für deren Vermehrung zur Verfügung gestanden ist.

6.1.4 Zusammenfassung der Ergebnisse der Versuchsreihe 1

Der erste Versuch wurde den Eigenversuchen von Manfred MOCK nachempfunden. Die 4 Rohrleitungen wurden dafür mit einer Wassermischung aus Trinkwasser und verkeimten Wasserproben eines Wasserversorgers befüllt. Nach 7 Wochen Stagnation in den 4 Leitungen wurden dadurch vollkommen verkeimte Rohrleitungen erwartet, in denen sich nach Möglichkeit auch ein Biofilm an den Rohrwandungen aufgebaut hatte. Anschließend wurden nur die beiden Leitungen 1 und 3 jeweils nach einmalig durchgeführten Vorspülungen mit dem

L.E.S.S. behandelt. Während der Untersuchungen am 12.08.2022 wurden aufgrund der unerwartet langen Durchführungsdauer nur zwei der vier Rohre (L1 und L2) untersucht, was leider zu einer Splittung dieses Versuches geführt hat. Der zweite Teil des Versuches mit den Leitungen 3 und 4 wurde am 16.08.2022 durchgeführt.

Die Ergebnisse aus dem Versuch 1 zeigten, dass sich die Wässer in den 4 Rohrleitungen nach den 7 Wochen Stagnation in einem unterschiedlichen mikrobiologischen Zustand bezüglich der messbaren Keime befunden hatten, wodurch der Ausgangszustand in den 4 Rohrleitungen leider ungleich war.

Aus den Untersuchungen der Spülvorgänge zeigte sich, dass die Keimbelastungen aufgrund von alleinigen Spülmaßnahmen ohne eine L.E.S.S.-Behandlung der Leitungen bereits auf ein geringes Risiko reduziert werden konnten.

Ein eindeutiger Nachweis der Wirksamkeit des L.E.S.S. konnte damit nicht erbracht werden.

In der Wirksamkeitsanalyse stellte sich heraus, dass jeweils eine höhere Gesamtzymaktivität in jenen Rohrleitungen feststellbar war, welche mit L.E.S.S. behandelt wurden. Durch die UV-C-Desinfektionsmaßnahmen wurden offensichtlich ein Teil der Keime in den Rohrleitungen inaktiviert, starben ab und stellten dadurch aber ein zusätzliches Nahrungsangebot für die verbleibenden, noch lebenden Mikroorganismen im Trinkwasser dar, wodurch die messbare Gesamtzymaktivität in diesen Leitungen sogar anstieg.

Eine weitere Möglichkeit der Veränderung des Biofilmes in den Rohrleitungen besteht auch durch die auftretende mechanische Beanspruchung durch das Durchziehen des Desinfektionskopfes durch die Leitungen, wodurch es sicherlich lokal auch zu einem Abschaben von Biofilm in den Leitungen kommen kann.

Aber auch die Spülvorgänge bewirken eine mechanische Beanspruchung des Biofilmes und können damit auch einen Anstieg der Keimbelastung zur Folge haben.

Nachdem eine eindeutige Wirksamkeit der durchgeführten L.E.S.S.-Behandlungen in der Versuchsserie 1 nicht nachgewiesen werden konnte, wurden daran anschließend weitere Versuchsserien durchgeführt.

6.2 Versuch 2 – Zweiter LESS Versuch L3 & L4

Der zweite Versuch wurde am 31.08.2022 durchgeführt. Dabei wurden nur die Leitung 3 und Leitung 4 untersucht. Ein erfahrener Mitarbeiter eines Wasserversorgungsunternehmens (> 100.000 Einwohner) wurde für die Ermittlung von möglichen Fehlerquellen bei der Probenahme und dem Spülvorgang beratend hinzugezogen.

6.2.1 Motivation und Ziel des Versuches

Aufgrund des unerreichten Ziels des 1. Versuches wurde eine Analyse von möglichen Fehlerquellen durchgeführt. Dabei wurde eine unzureichend lange Spüldauer des Hydranten festgestellt. Des Weiteren wurde beobachtet, dass eine zusätzliche Zugabe von verkeimten Wässern nicht notwendig war, wie der Versuch 1 im Kapitel 6.1.3.6 mit stagnierendem Trinkwasser zeigte.

Mit diesen Erkenntnissen aus dem 1. Versuch und der Unterstützung des Mitarbeiters des Wasserversorgungsunternehmens sollte der Versuch wiederholt werden, um die Wirksamkeit von L.E.S.S. nachzuweisen.

6.2.1.1 Erwartungen

Die Rohrleitungen L3 und L4 sollten im Anschluss an die durchgeführte Langzeitanalyse (Kapitel 6.1.3.6) nach weiteren 15 Tagen mit stagnierendem Trinkwasserinhalt aus dem letzten Versuch, wo bereits eine Verkeimung nachgewiesen werden konnte, erneut untersucht werden. Die L.E.S.S.-Behandlung mit UV-C Strahlung sollte dabei aber sowohl in der Leitung 3 als auch in der Leitung 4, dieses Mal aber mit einer Zuggeschwindigkeit von 1,5 m/min, erfolgen, um eine Vergleichbarkeit der Verhältnisse in beiden Rohrleitungen zu schaffen.

Das Ziel des zweiten Versuches war es, die Ergebnisse aus den Eigenversuchen zu reproduzieren und die Wirksamkeit des LESS in den beiden behandelten Rohrleitungen nachzuweisen.

6.2.2 Versuchsaufbau und Beschreibung der Testumgebung

Der Versuchsaufbau wurde gegenüber dem 1. Versuch (Kapitel 6.1) nicht verändert. Die Leitungen 3 und 4 wurden jedoch für den Spülvorgang mit einem Gabelstapler angehoben, damit eine bessere Entlüftung der Leitungen stattfinden konnte. Desinfektionsmittel auf Ethanolbasis und ein Gasbrenner für die Hitzebehandlung der Probehähne vor den Probenahmen wurden für die Desinfektionsmaßnahmen von der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH wieder beigelegt.

6.2.3 Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Am 31.08.2022 wurde der zweite Versuch mit dem L.E.S.S. durchgeführt. Für die Durchführung wurden nur die Leitung 3 und die Leitung 4 gewählt. Die vorangegangene Versuchsdurchführung zeigte bei der Analyse der Wasserproben mit dem ColiMinder einen deutlichen Anstieg der Gesamtzymaktivität insbesondere in den mit L.E.S.S. behandelten Leitungen.

Der Rohrinhalt beider Rohre wurde nach der Entleerung des 15 Tage lang in den beiden Leitungen stagnierenden Wassers nur mit dem ColiMinder mikrobiologisch untersucht. Die Untersuchungen der Spülvorgänge vor und nach der L.E.S.S.-Behandlung wurden dann wieder sowohl mit dem ColiMinder als auch

mit mikrobiologischen Labor-Untersuchungen durch das akkreditierte Wasserlabor durchgeführt.

Für den Spülvorgang der Rohrleitungen wurden wieder der Hydrant vor der Werkshalle und ca. 75 m Druckschlauch (DN 50) als Zuleitung genutzt. Vor der Nutzung des Spülwassers wurde der Hydrant ausreichend lange (ca. 10 min) gespült. Nach der Hydranten- und Druckschlauchspülung wurde der gespülte Druckschlauch an die Leitung 4 angeschlossen und die Probehähne wurden nach Beginn des Spülvorganges geöffnet, um die Entlüftung der Leitungen sicherzustellen. Die Schieber an den Leitungsenden wurden auch wieder komplett geöffnet, um keinen Rückstau oder keine Totzonen in den Rohrleitungen zu generieren.

Zur besseren Entlüftung der Rohrleitung wurde die Leitung 4 am Leitungsende, am Punkt L4 E, mit einem Gabelstapler aber jetzt ca. 3 m hoch angehoben, um die eingeschlossene Luft vollständig aus der Rohrleitung entweichen zu lassen.

Dieser beschriebene Spülvorgang wurde auch nach dem Einsatz von L.E.S.S. in der Leitung 4 sowie auch bei der Leitung 3 vor und nach der L.E.S.S.-Behandlung identisch durchgeführt.

Danach wurde sowohl die Leitung 4 als auch die Leitung 3 mit der UV-C Strahlung des L.E.S.S. behandelt. Die Zuggeschwindigkeit des UV-Lampenkopfes betrug dabei jetzt allerdings 1,5 m/min. Nach der Durchführung des Verfahrens wurden beide Leitungen nochmals einer Spülung unterzogen, da sich noch Reste von Abschabungen durch den Lampenkopf in den Rohrleitungen befinden konnten. Zudem waren zur Kontrolle und zur Beweissicherung auch noch Wasserprobenahmen nach den Spülvorgängen erforderlich. Die Spüldauer nach den L.E.S.S.-Behandlungen wurden jetzt aber auf ca. 17 min erhöht, um eine ausreichende Spülwirkung zu erzielen.

Alle Probenahmen und Spülvorgänge fanden im Beisein des Mitarbeiters des Wasserversorgungsunternehmens statt.

In der nachfolgenden Tabelle 6-17 sind die Ergebnisse der ColiMinder-Untersuchungen der 15 Tage lang in den beiden Rohrleitungen 3 und 4 stagnierten Wasserproben vor den Spülungen dargestellt.

Die Ergebnisse vor und nach der L.E.S.S.-Behandlung der Leitung 3 am 31.08.2022 sind in der Tabelle 6-18 bzw. in der Tabelle 6-19 zusammengefasst, jene der Leitung 4 in der Tabelle 6-20 bzw. in der Tabelle 6-21.

Tabelle 6-17: Auswertung des Versuches 2 – ColiMinder-Ergebnisse des 15 Tage lang stagnierten Wassers in der Leitung 3 und in der Leitung 4

Lfd. Probenummer		48	49	Grenzwerte TWV (i. d. g. F.)
Probenahmestelle		Wasser nach 15 Tagen Stagnation	Wasser nach 15 Tagen Stagnation	
Probenahmedatum		31.08.2022	31.08.2022	
Entnahmestelle		Leitung 3 E	Leitung 4 E	
Entnahmeart		Hahnenentnahme	Hahnenentnahme	
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	701	687	2500
pH-Wert	[]	7,6	7,58	6,5 - 9,5
Wassertemperatur	[°C]	23,8	23,9	25
ALP ²⁾	[µU]	3287	2012	
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht				
²⁾ ALP = Gesamtenzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder				

Interpretation der Probennummern 48 und 49

Die Wasseruntersuchungen des 15 Tage lang in den Leitungen 3 und 4 stagnierenden Wassers wurden nur mit dem ColiMinder, auf die Gesamtenzymaktivität hin, durchgeführt. Die Untersuchungsergebnisse dieser beiden Wasserproben ergaben eine unterschiedlich hohe Verkeimung in den beiden Proben, was auf unterschiedliche Verhältnisse in den beiden Rohrleitungen hindeutet. Im Gegensatz dazu waren bei den physikalischen Parametern praktisch keine wesentlichen Unterschiede zu erkennen.

Die ALP-Werte der beiden Wasserproben lagen nach der Einteilung der Fa. VWMS GmbH (2019) weit über den empfohlenen Bereichen für eine Trinkwasserqualität. Wie beim Versuch 1 war der ALP der mittlerweile bereits zweimal mit L.E.S.S. behandelten Leitung 3 mit 3287 µU gegenüber den 2012 µU der Leitung 4 wieder deutlich höher.

Tabelle 6-18: Auswertung des Versuches 2 nach der 1. Spülung und noch vor der zweiten L.E.S.S.-Behandlung der Leitung 3

Lfd. Probennummer		50	51	Grenzwerte TWV (i. d. g. F.)
Probenahmestelle		Spülvorgang vor L.E.S.S.	Spülvorgang vor L.E.S.S.	
Probenahmedatum		31.08.2022	31.08.2022	
Entnahmestelle		Leitung 3 A	Leitung 3 E	
Entnahmeart		Hahnentnahme	Hahnentnahme	
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	
E. coli	[KBE/100 mL]	0	0	0
coliforme Bakterien	[KBE/100 mL]	0	0	0
Enterokokken	[KBE/100 mL]	0	0	0
P. aeruginosa	[KBE/100 mL]	1	190	0
C. perfringens	[KBE/100 mL]	0	0	0
KBE bei 22°C	[KBE/ml]	0	22	100
KBE bei 37°C	[KBE/ml]	0	47	20
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	k. A. ¹⁾	738	2500
pH-Wert	[]	k. A. ¹⁾	7,52	6,5 - 9,5
Wassertemperatur	[°C]	k. A. ¹⁾	17,5	25
ALP ²⁾	[µU]	6,46	8,95	

¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht
²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder

Interpretation der Probennummern 50 und 51

Am Ende des ersten Spülvorganges wurde jeweils am Rohranfang A (Zuleitung) und am Rohrende E (Entleerung) nahezu zeitgleich eine Wasserprobe entnommen und diese anschließend sowohl mit dem ColiMinder auf die Gesamtzymaktivität als auch laboranalytisch auf die Keime der TWV (i. d. g. F.) hin untersucht.

Dabei lagen die Messwerte des ColiMinders nach dem 1. Spülvorgang in der Leitung 3 vor der Durchführung des L.E.S.S. nach der Einteilung der VWMS GmbH (2019) im Bereich einer sehr guten Trinkwasserqualität. Die Probennummer 51 entsprach allerdings auf Basis der parallel durchgeführten Labor-Untersuchungen nicht den Vorgaben für einwandfrei hygienisches Trinkwasser nach den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung, weil vor allem der Grenzwert für *P. aeruginosa* mit 190 KBE/100 mL deutlich überschritten war. Im Gegensatz dazu war die gemessene Gesamtzymaktivität am Leitungspunkt E der Leitung 3 mit nur 8,95 µU unerwartet niedrig.

Tabelle 6-19: Auswertung des Versuches 2 nach der L.E.S.S.-Behandlung und nachfolgender Spülung in der Leitung 3

Lfd. Probennummer		52	53	Grenzwerte TWV (i. d. g. F.)
Probenahmestelle		Spülvorgang nach L.E.S.S.	Spülvorgang nach L.E.S.S.	
Probenahmedatum		31.08.2022	31.08.2022	
Entnahmestelle		Leitung 3 A	Leitung 3 E	
Entnahmeart		Hahnentnahme	Hahnentnahme	
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	
E. coli	[KBE/100 mL]	(0)	0	0
coliforme Bakterien	[KBE/100 mL]	(0)	0	0
Enterokokken	[KBE/100 mL]	(0)	0	0
P. aeruginosa	[KBE/100 mL]	(510)	0	0
C. perfringens	[KBE/100 mL]	(0)	0	0
KBE bei 22°C	[KBE/mL]	(23)	0	100
KBE bei 37°C	[KBE/mL]	(22)	0	20
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	2500
pH-Wert	[]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	6,5 - 9,5
Wassertemperatur	[°C]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	25
ALP ²⁾	[µU]	26,89	29,42	
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht				
²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder				

Interpretation der Probennummern 52 und 53

Am Ende des Spülvorganges wurde jeweils am Rohranfang A (Zuleitung) und am Rohrende E (Entleerung) nahezu zeitgleich eine Probe gezogen und diese anschließend sowohl mit dem ColiMinder auf die Gesamtzymaktivität als auch laboranalytisch auf die Keime der TWV (i. d. g. F.) hin untersucht. Nach ausreichender Vorspülung der Zuleitung (Hydrant) wurde eine mäßige Anzahl an ALP festgestellt. Die Messwerte nach dem zweiten Spülvorgang in der Leitung 3 lagen nach der Durchführung des L.E.S.S. nach der Einteilung von der VWMS GmbH (2019) im Bereich einer fraglichen Trinkwasserqualität. Die Analysen der ColiMinder-Proben erfolgte mit dem Autosampler der Reihe nach. Dabei konnte allerdings eine Veränderung in den Proben während der relativ langen Analyseperiode für die 8 Proben von ca. 4 Stunden nicht ausgeschlossen werden. Aus den vorangehenden Analysen des Spülwassers konnte bestätigt werden, dass die Wasserproben aus der Zuleitung nach entsprechender Spülung alle eine einwandfreie Trinkwasserqualität aufwiesen mit ALP-Werten von < 10 µU.

Die parallel durchgeführten mikrobiologischen Labor-Trinkwasseruntersuchungen ergaben, dass die Wasserprobe am Leitungspunkt A bei der Probenahme offensichtlich verunreinigt wurde, da bei der Probenahme der Probeflaschenschraubverschluss mit der Umgebung in Kontakt kam und die Probe dadurch kontaminiert wurde. Die Laboranalysen dieser Probe mit der Nummer 52 wurden

dennoch durchgeführt, um den Einfluss dieser fehlerhaften Probenahme nachzuweisen. Die Probennummer 53 ergab laboranalytisch überhaupt keine Verkeimung, obwohl der ALP-Wert mit 29,42 μU relativ hoch war. Damit konnte laboranalytisch ein erster Nachweis der Wirksamkeit bei einer mit L.E.S.S. behandelten Rohrleitung erbracht werden.

Tabelle 6-20: Auswertung des Versuches 2 nach der 1. Spülung und noch vor der ersten L.E.S.S.-Behandlung der Leitung 4

Lfd. Probennummer		54	55	Grenzwerte TWV (i. d. g. F.)
Probenahmestelle		Spülvorgang vor L.E.S.S.	Spülvorgang vor L.E.S.S.	
Probenahmedatum		31.08.2022	31.08.2022	
Entnahmestelle		Leitung 4 A	Leitung 4 E	
Entnahmeart		Hahnentnahme	Hahnentnahme	
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	
E. coli	[KBE/100 mL]	0	0	0
coliforme Bakterien	[KBE/100 mL]	0	0	0
Enterokokken	[KBE/100 mL]	0	0	0
P. aeruginosa	[KBE/100 mL]	2	6	0
C. perfringens	[KBE/100 mL]	0	0	0
KBE bei 22°C	[KBE/mL]	4	7	100
KBE bei 37°C	[KBE/mL]	2	2	20
Leitfähigkeit bei 20°C	[$\mu\text{S}/\text{cm}$]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	2500
pH-Wert	[]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	6,5 - 9,5
Wassertemperatur	[°C]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	25
ALP ²⁾	[μU]	23,32	19,87	
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht				
²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder				

Interpretation der Probennummern 54 und 55

Am Ende des Spülvorganges wurde jeweils am Rohranfang A (Zuleitung) und am Rohrende E (Entleerung) nahezu zeitgleich eine Probe gezogen und diese anschließend sowohl mit dem ColiMinder auf die Gesamtzymaktivität als auch laboranalytisch auf die Keime der TWV (i. d. g. F.) hin untersucht. Nach ausreichender Vorspülung der Zuleitung (Hydrant) wurde im Spülwasser nur eine sehr geringe Anzahl an ALP festgestellt.

Die Messwerte des ColiMinders nach dem 1. Spülvorgang in der Leitung 4 lagen vor der Durchführung des L.E.S.S. nach der Einteilung von der VWMS GmbH (2019) im Bereich einer nur mäßigen Trinkwasserqualität. Diese relativ hohen ALP-Werte im Spülwasser der Leitung 4 vor der L.E.S.S.-Behandlung könnten durch unsaubere Probenahmeflaschen verursacht worden sein. Ein weiterer Grund dafür könnte an den relativ langen Analysezeiten mit dem Autosampler des ColiMinders gelegen haben, während der die Proben aus der umgebenden Luft kontaminiert werden konnten.

Die parallel durchgeführten mikrobiologischen Trinkwasserlaboruntersuchungen lagen in der Leitung 4 vor der L.E.S.S.-Behandlung im Wesentlichen im Rahmen der geforderten Parameter der Trinkwasserverordnung. *Pseudomonas aeruginosa* waren jedoch bei der Leitung 4 sowohl in der Zuleitung als auch am Ende der Leitung vorhanden, was ev. auf eine zu kurze Spüldauer hinweist.

Für den Nachweis einer Wirksamkeit des L.E.S.S. gab es damit aufgrund der sehr geringen Keimzahlen vor der L.E.S.S.-Behandlung keine optimale Ausgangslage.

Tabelle 6-21: Auswertung des Versuches 2 nach der L.E.S.S.-Behandlung und nachfolgender Spülung in der Leitung 4

Lfd. Probennummer		56	57	Grenzwerte TWV (i. d. g. F.)
Probenahmestelle		Spülvorgang nach L.E.S.S.	Spülvorgang nach L.E.S.S.	
Probenahmedatum		31.08.2022	31.08.2022	
Entnahmestelle		Leitung 4 A	Leitung 4 E	
Entnahmeart		Hahnentnahme	Hahnentnahme	
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	
<i>E. coli</i>	[KBE/100 mL]	0	0	0
coliforme Bakterien	[KBE/100 mL]	0	0	0
Enterokokken	[KBE/100 mL]	0	0	0
<i>P. aeruginosa</i>	[KBE/100 mL]	1	1	0
<i>C. perfringens</i>	[KBE/100 mL]	0	0	0
KBE bei 22°C	[KBE/mL]	0	0	100
KBE bei 37°C	[KBE/mL]	1	0	20
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	2500
pH-Wert	[]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	6,5 - 9,5
Wassertemperatur	[°C]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	25
ALP ²⁾	[µU]	1277	7,15	

¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht

²⁾ ALP = Gesamtenzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder

Interpretation der Probennummern 56 und 57

Am Ende des Spülvorganges wurde jeweils am Rohranfang A (Zuleitung) und am Rohrende E (Entleerung) nahezu zeitgleich eine Probe gezogen und diese anschließend sowohl mit dem ColiMinder auf die Gesamtenzymaktivität als auch laboranalytisch auf die Keime der TWV (i. d. g. F.) hin untersucht.

Die Messwerte der Probennummer 57 nach dem zweiten Spülvorgang in der Leitung 4 lagen dabei nach der Einteilung der VWMS GmbH (2019) nach der Durchführung der L.E.S.S.-Behandlung alle im Bereich einer sehr guten Trinkwasserqualität. Bei der Probennummer 56, welche die mikrobiologische Qualität des Spülwassers aus der Zuleitung quantifiziert, muss aufgrund des sehr hohen ALP-Wertes von 1277 µU eine Verunreinigung der Probe vor der ColiMinder-Analyse stattgefunden haben, da die mikrobiologischen Laboranalyse-Ergebnisse bei dieser Probe ansonsten alle sehr gering bis nicht nachweisbar waren und aus den

vorhergehenden Messungen bereits die sehr gute Trinkwasserqualität aus der Zuleitung aus dem Hydranten nachgewiesen werden konnte.

Die mikrobiologischen Labor-Untersuchungsergebnisse der beiden Proben nach der L.E.S.S.-Behandlung wiesen beide eine sehr geringe bis nicht nachweisbare Anzahl von den Keimen der TWV (i. d. g. F.) auf.

Ein eindeutiger Nachweis der Wirksamkeit der L.E.S.S.-Behandlungen auf die Wasserqualität in den Rohrleitungen konnte mit diesem Versuch 2 nicht geführt werden, weil die Keimbelastungen im Spülwasser vor den L.E.S.S.-Behandlungen bereits sehr gering bis nicht nachweisbar waren, was alleine auf die längeren Spülzeiten nach den Entleerungen der Rohrleitungen zurückzuführen war.

6.2.4 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse aus dem Versuch 2

Aus den Ergebnissen des zweiten Versuches konnte bei den mikrobiologischen Laborauswertungen an beiden Leitungen eine Veränderung nach dem zweiten Spülvorgang festgestellt werden.

Die Wirksamkeit des L.E.S.S. konnte im Zuge dieses Versuches nicht festgestellt werden, da die Keimbelastungen im Spülwasser vor den L.E.S.S.-Behandlungen bereits sehr gering bis nicht nachweisbar waren, was auf die längeren Spülzeiten nach den Entleerungen der Rohrleitungen zurückzuführen war.

Durch den geänderten Spülvorgang konnte eine höhere Reinigungsleistung in den Rohrleitungen erzielt werden, welche zu einer besseren Ausspülung der Keime geführt hatte.

Der zweite Versuch zeigte auch, dass die Dauer und die Art und Weise des Spülvorganges eine erhebliche Rolle für die Rohrleitungshygiene darstellen. Diese Feststellung wurde auch seitens des beratenden Wasserversorgers bei diesem Versuch 2 bestätigt.

6.3 Versuch 3 – Beprobung Behälter 1

Der dritte Versuch wurde im Zeitraum vom 19.08.2022 bis zum 26.08.2022 durchgeführt. Gegenstand des Versuches war die gesammelten Wässer der Leitungen 1 bis 4 aus der 7-wöchigen Stagnationszeit zu beproben.

6.3.1 Motivation und Ziel des Versuches

Der gesamte Rohrinhalt aus den Leitungen 1 bis 4 des 1. Versuches wurde bei den Entleerungsvorgängen im Behälter 1 gesammelt. Dieses verkeimte Wassergemisch sollte bei Bedarf wieder in die Rohre gefüllt werden, da schon eine hohe Keimanzahl in diesem Wasser vorhanden war. Das verkeimte Wasser aus der Rohrleitung 1 und 2 wurde bereits am 12.08.2022 und aus der Rohrleitung 3 und 4 am 16.08.2022 gesammelt.

Damit eine weitere Befüllung mit dem verkeimten Wasser durchgeführt werden konnte, wurde dieses Wasser im Behälter 1 in der Halle neben den Rohren gelagert und zusätzlich wurden auch noch 100 L Trinkwasser hinzugefügt.

Um den Zustand des Wassergemischs zu analysieren, wurde an den folgenden Tagen jeweils eine Schöpfprobe entnommen.

6.3.1.1 Erwartungen

Die Verkeimung des Wassergemisches müsste sich im Rahmen der im Versuch 1 gemessenen Keimanzahlen bewegen. Die Zumischung von ca. 100 Liter frischem Trinkwasser müsste eine leichte Steigerung der Gesamtzymaktivität bewirken, da dadurch mit dem Trinkwasser neue Nährstoffe hinzugefügt wurden.

6.3.2 Versuchsaufbau, Beschreibung der Testumgebung

Für die Speicherung des verkeimten Wassers aus den Rohrleitungen wurde ein 1000 L Behälter aus Kunststoff verwendet (Abbildung 6-10). Dieser kam bei der Befüllung im Versuch 1 bereits zum Einsatz. Vor der Verwendung wurde dieser Behälter 1 mit Trinkwasser ausgespült und die Behälterwände mit Desinfektionsmittel besprüht.

Der Deckel wurde nach der Befüllung und nach jeder Probenahme immer wieder verschlossen, damit keine Verunreinigungen von außen stattfinden konnten.



Abbildung 6-10: Behälter 1 im Vordergrund zum Auffangen der Rohrleitungsinhalte (linkes Foto) und der Füllstand im Behälter 1 nach der Zugabe von ca. 100 L Trinkwasser (rechtes Foto).

6.3.3 Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Nach der Sammlung der 4 Wässer aus den Leitungen 1 bis 4 wurde der Behälter 1 noch zusätzlich mit ca. 100 L Trinkwasser aus dem Hydranten aufgefüllt, um ein größeres verfügbares Volumen für weitere Beprobungen zur Verfügung zu haben. Das ergab im Behälter 1 ein Mischungsverhältnis von ca. 1:7,5.

Für die Probenahme wurde der schwarze Behälterdeckel geöffnet und mit gereinigten Probeflaschen und sterilen Einweghandschuhen eine Schöpfprobe direkt aus dem Behälter entnommen. Zuvor wurde die Wassermischung im Behälter 1 noch mit einem elektrischen Rührgerät gut durchmischt.

Bis zum Versuchsende am 26.08.2022 wurden insgesamt an 5 Tagen Schöpfproben aus dem zuvor jeweils durchmischten Behälter 1 entnommen und diese dann nachfolgend nur mit dem ColiMinder untersucht. Die Ergebnisse daraus sind sowohl in der in der Tabelle 6-22 als auch in der Abbildung 6-11 dargestellt. Eine parallel mikrobiologische Trinkwasserlaboruntersuchung wurde bei diesem Versuch 3 nicht durchgeführt.

Tabelle 6-22: Auswertung des Versuches 3 – Veränderung des verkeimten Inhaltes des Behälters 1 während einer Zeitperiode von 8 Tagen.

Lfd. Probenummer	58	59	60	61	62	
Probenahmestelle	Beginn	4. Tag	5. Tag	6. Tag	8. Tag	
Probenahmedatum	19.08.	22.08.	23.08.	24.08.	26.08.	
Entnahmestelle	Behälter 1					
Entnahmeart	Schöpfprobe					
Parameter	Einheit	Messwerte				
Leitfähigkeit bei 20 °C	[µS/cm]	754	705	204	704	736
pH-Wert	[]	7,63	7,55	3,15	7,11	7,16
Wassertemperatur	[°C]	25,2	22,7	17,7	23,8	25,0
ALP ²⁾	[µU]	3473	7021	9702	12036	MWÜ ¹⁾

¹⁾ MWÜ = Messwertüberschreitung
²⁾ ALP = Gesamtenzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder

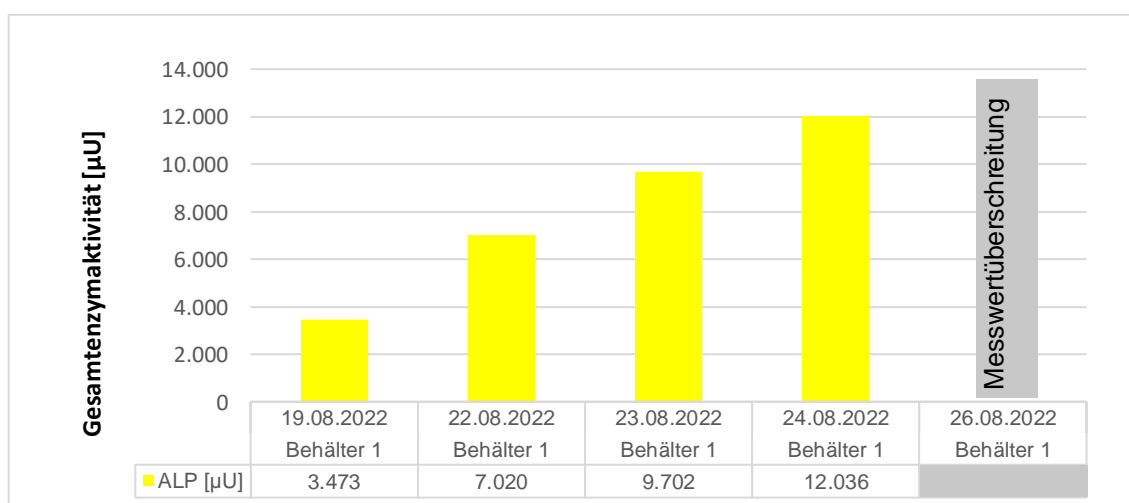


Abbildung 6-11: Keimentwicklung im Behälter 1.

6.3.4 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Die täglich durchgeführten Wasserbeprobungen im Beobachtungszeitraum des Versuches 3 zeigten eine kontinuierlich steigende Gesamtenzymaktivität an. Aus den Beprobungen der Wässer nach 7 Wochen Stagnation des 1. Versuches wurden ALP-Messwerte von 1400 μU bis 6000 μU gemessen. Am 16.08.2022 wurden die Wässer aus den Leitungen 3 und 4 sowie 100 L frisches Trinkwasser dem Behälter 1 zugemischt.

Nach der Zugabe von ca. 100 L frischem Trinkwasser, und damit dann auch von neuen Nährstoffen für die im Mischwasser im Behälter 1 vorhandenen Mikroorganismen, setzte ein starker Anstieg der Gesamtenzymaktivität ein, der am 8. Untersuchungstag bereits zu einer Messwertüberschreitung am ColiMinder führte.

Ein ähnliches Verhalten konnte bereits beim Versuch 1 bei der Langzeitanalyse in der L3 und L4 festgestellt werden. Bei diesen verlangsamte sich der ALP-Anstieg aber bereits am 4 Tage, da bei diesem Versuch nur eine geringere Menge an Frischwasser hinzugegeben wurde.

6.4 Versuch 4 – Langzeitversuch L1 & L2

Der vierte Versuch wurde im Zeitraum vom 23.08.2022 bis zum 05.09.2022 durchgeführt. Dabei wurden wieder nur die Leitung 1 und Leitung 2 betrachtet und untersucht.

6.4.1 Motivation und Ziel des Versuches

Durch die gewonnenen Kenntnisse aus dem 1. Versuch bei der Langzeitanalyse der L3 und L4 sollten Fehlerquellen möglichst ausgeschlossen bzw. weitestgehend minimiert werden. Da eine Kontamination der Zuleitung und des verwendeten Trinkwassers aus dem Hydranten zum Zeitpunkt der Probenahmen nicht ausgeschlossen werden konnte, wurden die Rohrleitungen bei diesem Versuch nicht mit verkeimtem Trinkwasser, sondern mit sogenanntem RO-Wasser durchgeführt, das mit Umkehrosmose (Reverse Osmose) über Membranfilter aufbereitet wurde. Durch eine Membranfiltration werden sämtliche organische und anorganische Inhaltsstoffe Stoffe aus einem Wasser entfernt.

Aus diesem Grund wurden die Rohrleitungen 1 und 2 bei diesem Versuch 4 nur mit RO-Wasser befüllt, um damit einerseits den Eintrag von Nährstoffen zu minimieren und um andererseits ev. vorhandene Keime aus dem Biofilm der Rohrleitungen auszuwaschen und in den nachfolgenden Wasserproben nachzuweisen.

6.4.1.1 Erwartungen

Der 4. Versuch sollte zeigen, welchen Einfluss ev. im Biofilm der Rohrleitungen vorhandene Keime auf das befüllte RO-Wasser haben.

Mit dem RO-Wasser werden den Keimen nahezu keine verwertbaren Nährstoffe im Biofilm zur Verfügung gestellt, wodurch sich die Kolonien nur von den abgestorbenen Keimen und in geringen Mengen vom Kohlenstoff der PE-Rohre ernähren können.

6.4.2 Versuchsaufbau, Beschreibung der Testumgebung

Der Versuchsaufbau wurde gegenüber dem 1. Versuch (siehe Kapitel 6.1) nicht verändert. Die Leitungen 1 und 2 waren jedoch vor der Befüllung der Rohrleitungen mit RO-Wasser mit keiner Flüssigkeit befüllt gewesen. Seit dem Ende des Versuchs 1 am 16.08.2022 waren beide Leitungen beidseitig offen und trockneten beide an der Umgebungsluft bei ca. 24 °C aus. Die Leitung 1 wurde am 12.08.2023 mit L.E.S.S. behandelt.

Desinfektionsmittel auf Ethanolbasis und ein Gasbrenner für die Hitzebehandlung der Probehähne wurden für die erforderlichen Desinfektionsmaßnahmen wieder von der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH beigestellt.

6.4.3 Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Das RO-Wasser wurde von einer nahegelegenen Produktionsfirma für Molkereiprodukte bezogen. Dafür wurde ein gereinigter und desinfizierter 1000 L Behälter verwendet. Der dafür eingesetzte Behälter 2 wurde im Betriebsgelände der Produktionsfirma abgefüllt und nach Hartl in die Werkshalle der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH transportiert.

Für die Sicherstellung des einwandfreien RO-Wassers wurden direkt an der Abfüllanlage, nach der Befüllung der Leitungen 1 und 2 und aus dem Behälter 2 Wasserproben entnommen und mit dem ColiMinder untersucht (Abbildung 6-12).



Abbildung 6-12: Mikrobiologische Wasseranalysen mit dem ColiMinder.

In weiterer Folge wurden die Leitung 1 und 2 nahezu täglich über einen Zeitraum von 13 Tagen beprobt und mit dem ColiMinder auf ALP untersucht.

Die Rohre wurden im Zuge dieses Versuches nach der Probenahme nicht aufgefüllt. Durch den dadurch entstandenen Unterdruck wurde aber über das abgedeckte Rohrende Luft angesaugt. Die Rohrenden waren nicht zur Gänze luftdicht verschlossen, sondern nur so weit abgedeckt, dass ein Luftaustausch möglich war. Die tägliche Entnahme belief sich auf ca. 10 L Wasserprobe. Die Wasserproben wurden während dieses Versuches 4 ausschließlich mit dem ColiMinder untersucht, parallele mikrobiologische Trinkwasserlaboruntersuchungen fanden in diesem Untersuchungszeitraum nicht statt.

Der Ausgangszustand des RO-Wassers wurde vor Beginn der Langzeitanalyse und zu Vergleichszwecken beprobt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in der Tabelle 6-23 zusammengefasst:

Tabelle 6-23: Auswertung des Versuches 4 – Qualität des verwendeten RO-Wassers am Beginn des Versuches.

Lfd. Probennummer		63	64	65	66
Probenahmestelle		RO-Hersteller	Befüllung L1	Befüllung L2	1. Tag
Probenahmedatum		23.08.2022	23.08.2022	23.08.2022	24.08.2022
Entnahmestelle		Abfüllanlage	Leitung 1 A	Leitung 2 A	Behälter 2
Entnahmeart		Hahnenrtn.	Hahnenrtn.	Hahnenrtn.	Hahnenrtn.
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	Messwerte	Messwerte
Leitfähigkeit bei 20 °C	[µS/cm]	203	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	204
pH-Wert	[]	3,22	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	3,15
Wassertemperatur	[°C]	20,2	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	17,7
ALP ²⁾	[µU]	5,27	3,98	3,88	2,52
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht					
²⁾ ALP = Gesamtenzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder					

Interpretation der Probennummern 63 bis 66

Die ALP-Analyseergebnisse zur Überprüfung des Ausgangszustandes des RO-Wassers zeigten deutlich, dass eine sehr niedrige Gesamtenzymaktivität vorhanden war und damit auch den Erwartungen im Vorfeld entsprach. Die Restvolumen-Probe aus dem Behälter 2 nach dem ersten Tag ergab mit 2,52 µU den niedrigsten gemessenen Wert in dieser Versuchsreihe. Der Hersteller des ColiMindere klassifiziert die Wasserqualität von Deionat mit einer Gesamtenzymaktivität von ca. 2 µU. Die bisherigen Trinkwasseruntersuchungen ergaben nach langen Spüldauern am Hydranten in Hartl zumeist Werte von 6,5 – 7 µU.

Auffällig am RO-Wasser waren allerdings der mit 3,22 sehr niedrige pH-Wert und die mit 203 µS/cm relativ hohe Leitfähigkeit für ein RO-Wasser. Der Zustand der Membranfilteranlage und der Wasseraufbereitungsprozess des RO-Wassers wurden im Zuge des Versuches nicht näher erhoben.

Die Ergebnisse aus der Langzeitanalyse der Leitung 1 und 2 mit RO-Wasser sind zum einen in der Tabelle 6-24 bis Tabelle 6-27 im Detail zusammengefasst sowie vom Verlauf her auch noch in der Abbildung 6-13 grafisch dargestellt.

Tabelle 6-24: Auswertung des Versuches 4, Langzeitanalyse der L1, Tag 0 – 5

Lfd. Probennummer	67	68	69	70	71
Probenahmestelle	Beginn	1. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
Probenahmedatum	23.08.	24.08.	25.08.	26.08.	28.08.
Entnahmestelle	Leitung 1 E				
Entnahmeart	Hahnenentnahme				
Parameter	Einheit	Messwerte			
Leitfähigkeit bei 20 °C	[µS/cm]	157	158,7	160	168
pH-Wert	[]	3,54	3,52	3,56	3,52
Wassertemperatur	[°C]	20,7	24,3	26,2	25,7
ALP ²⁾	[µU]	25,00	12,33	6,56	7,68
1) MWÜ = Messwertüberschreitung					
2) ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder					

Tabelle 6-25: Auswertung des Versuches 4, Langzeitanalyse der L1, Tag 6 – 13

Lfd. Probennummer	72	73	74	75	76
Probenahmestelle	6. Tag	7. Tag	8. Tag	11. Tag	13. Tag
Probenahmedatum	29.08.	30.08.	31.08.	03.09.	05.09.
Entnahmestelle	Leitung 1 E				
Entnahmeart	Hahnenentnahme				
Parameter	Einheit	Messwerte			
Leitfähigkeit bei 20 °C	[µS/cm]	168	168	166	165
pH-Wert	[]	3,31	3,33	3,28	3,36
Wassertemperatur	[°C]	25,3	25,3	23,9	23,5
ALP ²⁾	[µU]	25,00	12,33	6,56	7,68
1) MWÜ = Messwertüberschreitung					
2) ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder					

Tabelle 6-26: Auswertung des Versuches 4, Langzeitanalyse der L2, Tag 0 – 5

Lfd. Probennummer	77	78	79	80	81
Probenahmestelle	Beginn	1. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
Probenahmedatum	23.08.	24.08.	25.08.	26.08.	28.08.
Entnahmestelle	Leitung 2 E				
Entnahmeart	Hahnenentnahme				
Parameter	Einheit	Messwerte			
Leitfähigkeit bei 20 °C	[µS/cm]	157	158,7	160	168
pH-Wert	[]	3,54	3,52	3,56	3,52
Wassertemperatur	[°C]	20,7	24,3	26,2	25,7
ALP ²⁾	[µU]	25,00	12,33	6,56	7,68
1) MWÜ = Messwertüberschreitung					
2) ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder					

Tabelle 6-27: Auswertung des Versuches 4, Langzeitanalyse der L2, Tag 6 – 13

Lfd. Probenummer	82	83	84	85	86
Probenahmestelle	6. Tag	7. Tag	8. Tag	11. Tag	13. Tag
Probenahmedatum	29.08.	30.08.	31.08.	03.09.	05.09.
Entnahmestelle	Leitung 2 E				
Entnahmeart	Hahnentnahme				
Parameter	Einheit	Messwerte			
Leitfähigkeit bei 20 °C	[µS/cm]	168	168	166	165
pH-Wert	[]	3,31	3,33	3,28	3,36
Wassertemperatur	[°C]	25,3	25,3	23,9	23,5
ALP ²⁾	[µU]	19,81	28,55	50,75	55,10
1) MWÜ = Messwertüberschreitung					
2) ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder					

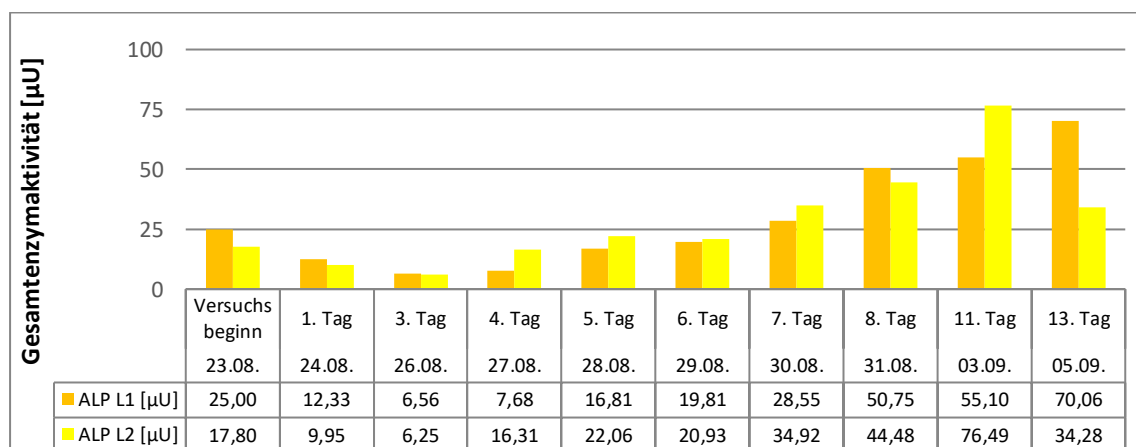


Abbildung 6-13: Vergleich der Keimentwicklung in den mit RO-Wasser befüllten Leitungen 1 und 2 auf Basis der ALP-Werte des ColiMinders.

6.4.4 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Die Langzeitanalyse über 13 Tage der mit RO-Wasser befüllten Leitungen 1 und 2 ergab einen wesentlichen Unterschied zur Langzeitanalyse der mit Trinkwasser befüllten Leitungen 3 und 4 des Versuchs 1. Beim 4. Versuch war innerhalb des Untersuchungszeitraums von 13 Tagen noch kein eindeutiges ALP-Maximum erkennbar. Bei der Befüllung mit Trinkwasser konnte man bei den vorhergehenden Versuchen bereits nach 3 – 6 Tagen ein deutliches Maximum erkennen, mit ALP-Messwerten > 10000 µU. Beim Versuch 4 mit RO-Wasser wurden keine ALP-Messergebnisse > 100 µU erreicht.

Die Probennummern 67 und 77 wurden jeweils zu Versuchsbeginn, 3 Stunden nach der Befüllung der beiden Leitungen entnommen. Die etwas erhöhten Keimanzahl an den ersten beiden Tagen könnte auch durch den Befüllungsvorgang der Rohrleitungen ausgelöst worden sein.

Fortlaufend stiegen dann die Gesamtzymaktivitäten mit zunehmender Versuchsdauer wieder an. Ab dem 8. Tag verhielten sich die Proben aus den beiden

Rohrleitungen dann unterschiedlich. Für eine gesicherte Aussage, ob eventuelle Maxima oder eine Plateaubildung bereits erreicht wurden, standen dann leider zu wenige Daten zur Verfügung. Dafür hätte der Beobachtungszeitraum noch verlängert werden müssen.

Ein Unterschied der während des Versuchs 1 mit L.E.S.S. behandelten Leitung 1 zur unbehandelten Leitung 2 war nicht zu erkennen.

Zusammenfassend kann nach dem Versuch 4 im Vergleich auch zu den Ergebnissen der Versuchsreihe 1 festgehalten werden, dass die Gesamtzymaktivität und auch der Verlauf von Keimbildungen in stagnierenden Leitungen ganz erheblich von der Wasserbeschaffenheit abhängig sind.

6.5 Versuch 5 – Dritter LESS Versuch L1

Der fünfte Versuch wurde am 12.09.2022 durchgeführt und dabei wurden wieder nur die Leitung 1 und Leitung 2 betrachtet bzw. untersucht. Eine L.E.S.S.-Behandlung wurde dabei nur an der Leitung 1 durchgeführt.

6.5.1 Motivation und Ziel des Versuches

Mit den Erfahrungen der bisherigen Versuche sollte der zweite Versuch nochmals mit geänderten Randbedingungen und dem Ziel wiederholt werden, die Wirksamkeit einer L.E.S.S.-Behandlung nachzuweisen.

Im Zuge der Versuchsreihen standen im Wesentlichen zwei Punkte wiederkehrend im Fokus, einerseits die Durchführung der Spülvorgänge und andererseits der Zeitpunkt der Probenahme. Beide Faktoren lassen sich durch den Menschen beeinflussen.

Für die Nachweisführung sollte eine Neuauflage des zweiten Versuchs jedoch dieses Mal nicht mit der Leitung 3 und 4, sondern mit der Leitung 1 und 2 mit geänderten Randbedingungen durchgeführt werden.

Die Verkeimung und der Versuch mit L.E.S.S. wurde mit zuvor mit Trinkwasser befüllten Leitungen durchgeführt.

6.5.1.1 Erwartungen

Nach den bisher gesammelten Erfahrungen sollte L.E.S.S. wieder nur an der Leitung 1 eingesetzt werden, wo nach seiner Anwendung eine möglichst „saubere“ Spülprobe erwartet wurde.

6.5.2 Versuchsaufbau, Beschreibung der Testumgebung

Der Versuchsaufbau wurde gegenüber dem zweiten Versuch (siehe Kapitel 6.2) geringfügig verändert. Das Rohrgefälle konnte dabei am Versuchsstandort durch Absenken der gesamten Rohrleitung von ca. 1 % auf ca. 5 % verändert werden

(Abbildung 6-14). Dadurch wurde für den Spülvorgang eine bessere Voraussetzung für die Rohrentlüftung geschaffen. Die Leitungen 1 und 2 waren im vierten Versuch mit RO-Wasser befüllt. Aufgrund der geringen Verkeimung im RO-Wasser wurden die beiden Leitungen 1 und 2 zunächst bereits am 07.09.2022 mit Trinkwasser befüllt und danach 5 Tage lang bis zum Untersuchungstag dem 12.09.2022 stagnieren belassen.



Abbildung 6-14: Vergleich des Gefälles der Leitungen bei ca. 1 % (linkes Foto) und bei ca. 5 % (rechtes Foto).

Desinfektionsmittel auf Ethanolbasis und ein Gasbrenner für die Hitzebehandlung der Probehähne wurden für die Desinfektionsmaßnahmen wieder von der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH beigestellt.

Des Weiteren wurden ein $\frac{3}{4}$ " Probehahn am Ende der Ableitung und ein 25 m langer Druckschlauch (DN 50) zur Ableitung und Erreichung einer Volfüllung und eines Druckaufbaus in den beiden Rohrleitungen 1 und 2 montiert.

6.5.3 Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Am 12.09.2022 wurde die dritte Desinfektionsmaßnahme mit dem L.E.S.S. im Rahmen meiner Masterarbeit durchgeführt und dabei dann wieder nur die Leitung 1 mit L.E.S.S. UV-C behandelt. Die Leitung 2 wurde zu Vergleichszwecken nicht mit L.E.S.S. behandelt und wieder nur einmalig gespült.

Die mikrobiologischen Untersuchungen der Spülvorgänge vor und nach der L.E.S.S.-Behandlung wurden bei diesem Versuch sowohl mit dem ColiMinder als auch konventionell durch mikrobiologische Labor-Untersuchungen des akkreditierten Wasserlabors durchgeführt.

Zur Vorbereitung auf den 5. Versuch wurden die Rohrinhalte der beiden Leitungen 1 und 2 bereits während der 5-tägigen Stagnationsperiode mehrfach beprobt und die Verkeimung in den dafür gezogenen Wasserproben allerdings nur mit

dem ColiMinder bestimmt. Dabei war entsprechend der vorangegangenen Versuche wieder ein Anstieg der Gesamtenzymaktivität während der Stagnationsphase zu erwarten.

Für die Spülvorgänge der Rohrleitungen wurden wieder der Hydrant vor der Werkshalle und ein ca. 75 m Druckschlauch (DN 50) als Zuleitung genutzt. Vor dem Beginn der Spülvorgängen wurde der Hydrant wieder ausreichend lang (ca. 10 min) gespült. Nach der Hydranten- und der Druckschlauchspülung wurde der Druckschlauch an die Leitung 1 angeschlossen, wo die Probehähne bereits geöffnet waren, um für eine entsprechende Entlüftung der Leitung zu sorgen. Der Schieber am Leitungsende wurde komplett geöffnet, um keinen Rückstau oder keine Totzonen im Rohr zu generieren. Zur gesicherten Erreichung einer Vollfüllung wurde bei diesem Versuch ein $\frac{3}{4}$ " Probehahn am Ende der Ausleitung montiert. Durch diese Maßnahme entstand in der Leitung ein Rückstau bzw. ein Druckaufbau in der Rohrleitung. Die Dauer der Spülvorgänge betrug bei diesem Versuch immer ca. 10 min.

Nach dem 1. Spülvorgang wurde die Leitung 1 mit der UV-C-Strahlung des L.E.S.S. behandelt. Die Zuggeschwindigkeit des UV-C-Lampenkopfes betrug bei diesem Versuch 1,5 m/min.

Nach der Durchführung der L.E.S.S.-Behandlung wurde die Leitung 1 erneut einem Spülvorgang unterzogen, da sich noch Reste von Abschabungen durch den Lampenkopf in der Leitung 1 befinden konnten. Zudem war zur Kontrolle und Nachweisführung auch noch die Entnahme und Untersuchung einer Trinkwasserprobe nach dem Spülvorgang erforderlich.

Die Leitung 2 wurde zu Vergleichszwecken nicht mit dem L.E.S.S.-Verfahren behandelt. Deshalb wurde nur ein Spülvorgang an der Leitung 2 durchgeführt.

Zur Untersuchung der Keimbildung in den Leitungen 1 und 2 wurden bereits während der 5-tägigen Stagnationsphase an mehreren Tagen Beprobungen und ColiMinder-Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse in der Tabelle 6-28 zusammengefasst sind.

Zur Untersuchung der Wirksamkeit der L.E.S.S.-Behandlung wurde die Leitung 1 am 12.09.2022 vor und nach der Desinfektionsmaßnahme beprobt. Die Labor- und die ColiMinder-Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in der Tabelle 6-29 und Tabelle 6-30 dargestellt.

Im Vergleich zur Leitung 1 wurde die Leitung 2 nur einmal gespült und danach auch am 12.09.2022 beprobt und untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in der Tabelle 6-31 zusammengefasst.

Tabelle 6-28: Auswertung des Versuches 5, Keimentwicklung während der 5-tägigen Stagnationsphase in den Leitungen 1 und 2 und Ausgangszustand

Lfd. Probennummer		87	88	89	90
Probenahmestelle		3. Tag	3. Tag	5. Tag	5. Tag
Probenahmedatum		10.09.	10.09.	12.09.	12.09.
Entnahmestelle		Leitung 1 E	Leitung 2 E	Leitung 1 E	Leitung 2 E
Entnahmeart		Hahnenntn.	Hahnenntn.	Hahnenntn.	Hahnenntn.
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	Messwerte	Messwerte
Leitfähigkeit bei 20 °C	[µS/cm]	727	726	727	724
pH-Wert	[]	7,47	7,51	7,31	7,3
Wassertemperatur	[°C]	23,8	23,7	19,7	19,8
ALP ²⁾	[µU]	8965	5858	MWÜ ¹⁾	7125

¹⁾ MWÜ = Messwertüberschreitung
²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder

Interpretation der Probennummern 87 bis 90

Die Proben zur Dokumentation des Ausgangszustandes nach 5 Tagen Stagnation des Trinkwassers in den beiden Leitungen zeigen beide deutlich, dass eine sehr hohe Gesamtzymaktivität vorhanden war und damit auch die Erwartungen im Vorfeld erfüllt wurden. Der Messwert in der Leitung 1 lag am 5. Tag sogar über dem maximal messbaren Bereich des ColiMinders und hatte daher auch eine Messwertüberschreitung in dieser Probe zur Folge.

Tabelle 6-29: Auswertung des Versuches 5 nach der Entleerung und 10-minütigen Spülung der Leitung 1 und noch vor der L.E.S.S.-Behandlung der L1

Lfd. Probennummer		91	92	Grenzwerte TWV (i. d. g. F.)
Probenahmestelle		Spülvorgang vor L.E.S.S.	Spülvorgang vor L.E.S.S.	
Probenahmedatum		12.09.2022	12.09.2022	
Entnahmestelle		Leitung 1 A	Leitung 1 E	
Entnahmeart		Hahnenentnahme	Hahnenentnahme	
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	
E. coli	[KBE/100 mL]	<1	<1	0
coliforme Bakterien	[KBE/100 mL]	<1	<1	0
Enterokokken	[KBE/100 mL]	0	0	0
P. aeruginosa	[KBE/100 mL]	1640	1280	0
C. perfringens	[KBE/100 mL]	0	0	0
KBE bei 22°C	[KBE/mL]	45	84	100
KBE bei 37°C	[KBE/mL]	17	67	20
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	789	789	2500
pH-Wert	[]	7,3	7,29	6,5 - 9,5
Wassertemperatur	[°C]	17,8	18,1	25
ALP ²⁾	[µU]	34,74	200,23	

¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht
²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder

Tabelle 6-30: Auswertung des Versuches 5 nach der L.E.S.S.-Behandlung der Leitung 1 und nachfolgender 10-minütigen Spülung der Leitung 1

Lfd. Probenummer		93	94	Grenzwerte TWV (i. d. g. F.)
Probenahmestelle		Spülvorgang nach L.E.S.S.	Spülvorgang nach L.E.S.S.	
Probenahmedatum		12.09.2022	12.09.2022	
Entnahmestelle		Leitung 1 A	Leitung 1 E	
Entnahmeart		Hahnentnahme	Hahnentnahme	
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	
E. coli	[KBE/100 mL]	<1	<1	0
coliforme Bakterien	[KBE/100 mL]	<1	<1	0
Enterokokken	[KBE/100 mL]	0	0	0
P. aeruginosa	[KBE/100 mL]	71	100	0
C. perfringens	[KBE/100 mL]	0	0	0
KBE bei 22°C	[KBE/mL]	6	12	100
KBE bei 37°C	[KBE/mL]	2	11	20
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	743	793	2500
pH-Wert	[]	7,32	7,37	6,5 - 9,5
Wassertemperatur	[°C]	18,0	18,0	25
ALP ²⁾	[µU]	794,03	450,43	

¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht
²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder

Interpretation der Probennummern 91 bis 94

Am Ende des ca. 10-minütigen Spülvorganges wurde jeweils am Rohranfang A (Zuleitung) und am Rohrende E (Entleerung) nahezu zeitgleich eine Probe gezogen und beide Proben untersucht.

Die Messwerte der mikrobiologischen Trinkwasserlaboruntersuchungen zeigten bei diesem Versuch eine relativ hohe Verkeimung der Wasserproben mit *Pseudomonas aeruginosa*. Trotz der wieder ca. 10-minütigen Spülung des Hydranten und des Zuleitungsschlauches traten bei diesem Versuch im Unterschied zu den vorangegangenen Versuchen sehr hohe Keimzahlen im Spülwasser auf.

Eine Ursache dafür könnte an den luftgetrockneten Druckschläuchen (Zuleitungen) liegen. Durch den Verbleib von Restwasser aus den Versuchen vom 05.09.2022 könnte dieser Zuleitungsdruckschlauch in der Zwischenzeit verkeimt worden sein, was durch eine 10-minütige Spülung auch nicht mehr vollkommen reduziert werden konnte.

Die Messwerte des ColiMinders zeigten im Wesentlichen ein ähnliches Verhalten der Gesamtzymaktivität in der Leitung 1. Da die Wasserlaborproben und die ColiMinder-Proben nicht aus einer Stichprobe stammten, sondern hintereinander entnommen wurden, ist es allerdings auch möglich, dass sich die Messwerte auch dadurch unterscheiden können, weil sie aus zwei unterschiedlichen Proben resultierten.

Tabelle 6-31: Auswertung des Versuches 5 nach der einmaligen Spülung der Leitung 2 nach einer 5-tägigen Stagnationsperiode in der Leitung 2

Lfd. Probennummer		95	96	Grenzwerte TWV (i. d. g. F.)
Probenahmestelle		Spülvorgang Vergleich	Spülvorgang Vergleich	
Probenahmedatum		12.09.2022	12.09.2022	
Entnahmestelle		Leitung 2 A	Leitung 2 E	
Entnahmeart		Hahnentnahme	Hahnentnahme	
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	
E. coli	[KBE/100 mL]	<1	<1	0
coliforme Bakterien	[KBE/100 mL]	<1	2	0
Enterokokken	[KBE/100 mL]	0	0	0
P. aeruginosa	[KBE/100 mL]	25	30	0
C. perfringens	[KBE/100 mL]	0	0	0
KBE bei 22°C	[KBE/ml]	2	44	100
KBE bei 37°C	[KBE/ml]	1	38	20
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	794	792	2500
pH-Wert	[]	7,38	7,49	6,5 - 9,5
Wassertemperatur	[°C]	18,3	18,3	25
ALP ²⁾	[µU]	19,66	43,07	

¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht
²⁾ ALP = Gesamtenzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder

Interpretation der Probennummern 95 und 96

Am Ende des ca. 10-minütigen Spülvorganges wurde jeweils am Rohranfang A (Zuleitung) und am Rohrende E (Entleerung) nahezu zeitgleich eine Probe gezogen und beide Proben sowohl mit dem ColiMinder als auch labortechnisch im akkreditierten Wasserlabor untersucht.

Die Messwerte der mikrobiologischen Trinkwasserlaboruntersuchungen zeigten eine erhöhte Belastung an *Pseudomonas aeruginosa* in den gezogenen Wasserproben. Trotz der wieder vorangegangenen Spülung des Hydranten und des Zuleitungsdruckschlauches und den Spülvorgängen der Leitung 1 wurden auch in der Leitung 2 erhöhte Keimanzahlen bei den Beprobungen festgestellt.

Auch dabei könnte die Ursache wieder an einem zwischenzeitlich seit den letzten Versuchen am 05.09.2022 verkeimten Zuleitungsdruckschlauch gelegen haben.

Die Messwerte des ColiMinders zeigten bei der Leitung 2 einen plausiblen Zusammenhang zwischen den ALP-Messwerten des ColiMinders und den mikrobiologischen Laboranalysen des akkreditierten Wasserlabors.

6.5.4 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Leider war auch der fünfte Versuch bezüglich eines Nachweises einer L.E.S.S.-Wirksamkeit nicht erfolgreich.

Durch den offensichtlich bei diesem Versuch verstärkten Keimeintrag über das Trinkwasserzuleitungssystem zu den beiden untersuchten Rohrleitungen 1 und 2 konnten bei diesem Versuch keine entsprechenden Ergebnisse erzielt werden. Zudem waren die Messergebnisse bei diesem Versuch auch stark schwankend deckten sich auch nicht mit den bisherigen Erfahrungen.

Da der Hydrant der Zuleitung am Ortsnetz angeschlossen war und bei diesem Versuch sogar eine Spüldauer von mindestens 30 min gewählt wurde, bevor der Spülvorgang der Leitung 2 durchgeführt wurde, muss angenommen werden, dass der erhöhte Keimeintrag bei diesem Versuch durch die 75 m lange Druckschlauchleitung (DN 50) verursacht wurde.

6.6 Versuch 6 – Betriebssimulation L1 & L2

Der sechste Versuch wurde im Zeitraum vom 12.09.2022 bis zum 16.09.2022 durchgeführt. Im Rahmen dieses Versuches wurden die Leitung 1 und 2 jeweils mit einem konstanten Durchfluss beaufschlagt.

6.6.1 Motivation und Ziel des Versuches

Alle vorangegangenen Versuche konnten bisher keinen eindeutigen Nachweis für die Wirksamkeit des L.E.S.S. aufzeigen. Daher vereinbarte man, keine weiteren Stagnationsversuche mehr durchzuführen, sondern in den Leitungen 1 und 2 einen möglichst betriebsähnlichen Zustand nachzubilden, indem beide Leitungen mit einem konstanten Durchfluss beaufschlagt wurden. Dabei sollte auch ein definierter Volumenaustausch in den beiden Rohrleitungen stattfinden, um dadurch zum einen einer starken Keimbildung entgegen zu wirken und zum anderen einen möglichen Unterschied zwischen der zuvor mit L.E.S.S. behandelten Leitung 1 zur unbehandelten Leitung 2 aufzuzeigen.

Für den Versuch wurde eine möglichst praxisnahe Situation mit einem kontinuierlichen Durchfluss nachgebildet. Eine solche Situation könnte sich z. B. in Aufschließungsgebieten ergeben, wo meistens die Infrastruktureinrichtungen vor den Hochbaumaßnahmen fertiggestellt werden. In einem solchen Fall wird z. B. das Rohrende einer Trinkwasserleitung für die Dauer der Bauzeit mit einer temporären Ausleitung in einen Regenwasserkanal ausgeführt, um eine Stagnation des Trinkwassers in der Trinkwasserleitung zu vermeiden.

6.6.1.1 Erwartungen

Der permanente Wasseraustausch in den Rohrleitungen sollte den Anstieg der Keime im Wasser verhindern bzw. verringern. Die Leitung 1 wurde dafür vorab mit L.E.S.S. behandelt, die Leitung 2 wurde im Gegensatz dazu L.E.S.S.: unbehandelt betrieben.

6.6.2 Versuchsaufbau und Beschreibung der Testumgebung

Bis auf die Zu- und Ableitung wurde der Versuchsaufbau gegenüber dem beschriebenen Aufbau beim Versuch 5 (siehe Kapitel 6.5.2) nicht verändert und der sechste Versuch wurde auch direkt im Anschluss an den fünften Versuch durchgeführt.

Die Zuleitung zu den beiden Rohrleitungen 1 und 2 wurde dabei nicht mehr wie bisher über den Hydranten gespeist, sondern mit einem $\frac{3}{4}$ " PE-Schlauch mit einer Länge von ca. 30 m, der direkt an der TW-Leitung in der Werkshalle angeschlossen war. Der PE-Schlauch und die Anschlussarmaturen wurden vor der Benützung zur Desinfektion in ein Chlorbad eingelegt. Der Anschlusspunkt in der Werkshalle war ein Kugelhahn auf der Kaltwasserleitung. Die $\frac{3}{4}$ " Schlauchleitung wurde ca. 1 m vor den Anfangspunkten A der Leitungen 1 und 2 mit einem Y-Schlauchverbindungsstück auf zwei $\frac{3}{4}$ " Schlauchleitungen aufgeteilt und mit C-Kupplungsarmaturen an die Leitungen 1 und 2 angeschlossen.

An den Leitungsendpunkten E wurde jeweils ein Abgang mit Kugelhähnen vorgesehen, um die Durchflussmengen in den Leitungen zu regulieren. Für die kontrollierte Ableitung wurden an den Kugelhähnen Schläuche aus Kunststoff mit handelsüblichen Kabelbindern befestigt. Die Schieber an den Rohrleitungen waren dabei vollständig geöffnet.

Für die geplanten automatischen Intervallmessungen des ColiMinders musste je Rohrleitung ein Sammelbehälter installiert werden, wofür Probeflaschen mit einem Volumen von 500 mL verwendet wurden. Für den konstanten Wasseraustausch in den Probeflaschen bohrte man eine Öffnung mit ca. 3-4 mm Durchmesser in die vertikale Flaschenwand in der Nähe des Flaschenbodens. Durch diese Maßnahme wurde ein konstanter Wasseraustausch durch den Grundablass der Probenflasche sichergestellt. Für eine lückenlose, automatische Beprobung durch den ColiMinder mussten die Probeflaschen über die gesamte Versuchsdauer hinweg immer gefüllt sein.

Der Ablauf der beiden Probeflaschen wurde in einem Sammelbecken aufgefangen und schließlich über einen $\frac{3}{4}$ " PE-Schlauch abgeleitet. Für das möglichst rückstaulose Ableiten der Flascheninhalte wurde eine Holzkonstruktion mit Flaschenaufclaspungen an den Rändern des Sammelbeckens installiert, die in der Abbildung 6-15 und Abbildung 6-16 dargestellt ist.



Abbildung 6-15: Versuchsaufbau für die kontinuierliche Durchflussbeschickung der beiden Leitungen 1 und 2 zur Nachbildung einer realen Betriebssituation.



Abbildung 6-16: Probeflaschen mit Grundablass und Überlauf für die kontinuierliche Probenahme durch den ColiMinder.

6.6.3 Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Der kontinuierliche Durchfluss durch die beiden Leitungen wurde über einen Zeitraum von 4 Tagen betrieben. Die Durchflussmengen wurden so eingestellt, dass das gesamte Rohrleitungsvolumen in den beiden Leitungen viermal pro Tag ausgetauscht wurde. Das ergab ein gesamtes Austauschvolumen von ca. 588 Liter pro Leitung und Tag, was einer Durchflussrate von 0,4 L/min in jeder der beiden Leitungen entsprach. Diese Durchflussmengen wurden vorab mittels der Kugelhähne an den Leitungsendpunkten E auf diese vorgegebene Durchflussrate eingestellt.

Für die Einregulierung auf die 0,4 L/min wurde zu Beginn der Füllstand der Probeflasche nach 30 Sekunden abgelesen und auf eine Minute hochgerechnet. Dafür wurde der Kugelhahn der jeweiligen Leitung entweder weiter geöffnet oder geschlossen. Nach der Grobjustierung wurde für die Feinjustierung der Füllstand nach 60 Sekunden abgelesen. Diese Justierung der Kugelhähne wurde so lange vorgenommen, bis die Durchflussrate in beiden Leitungen exakt 0,4 L/min betrug. Für die gesamte Betriebsdauer des Versuchs wurde Trinkwasser aus den Hausinstallationsleitungen der Werkshalle verwendet.

Die mikrobiologischen Analysen der Wasserproben wurden vollautomatisch mit dem ColiMinder und mit einem Beprobungsintervall von 120 min in jeder der beiden Leitungen durchgeführt. Dafür war ein Umbau des ColiMinders auf diese Betriebsweise erforderlich. Die dafür erforderlichen Umbauten am ColiMinder und eine nachfolgende Qualitätskontrolle konnten durch eine telefonische Anleitung und Fernwartung durch die Fa. VWMS GmbH durchgeführt bzw. sichergestellt werden.

Durch die abwechselnden Intervallmessungen aus den beiden Probenahmegefäßen konnten nur die beiden Leitungsendpunkte der beiden Leitungen analysiert werden. Die Zuleitung zu den beiden Rohrleitungen erfolgte permanent aus der Kaltwasserleitung der Werkshalle und wurde nicht untersucht. Vor dem Beginn des Versuches wurden beide Leitungen am Leitungspunkt A mit Trinkwasser vollständig befüllt und danach über den ¾“ Schlauch an die Trinkwasserleitung der Werkshalle angeschlossen. Die Justierung der Kugelhähne wurde mit der angeschlossenen Zuleitung der Werkshalle durchgeführt. Nach Abschluss der Intervallmessungen wurde eine Wasserprobe parallel auch vom akkreditierten Wasserlabor analysiert. Der ColiMinder wurde während des Versuches vom 12.09.2022 bis zum 16.09.2022 mit einem Stundenintervall betrieben. In diesem Zeitraum konnte er insgesamt 89 Proben analysieren.

Nachfolgend werden die daraus resultierenden Ergebnisse sowohl tabellarisch (Tabelle 6-32) als auch graphisch (Abbildung 6-17) dargestellt:

Tabelle 6-32: Auswertung des Versuches 6, kontinuierliche ColiMinder-Analysen im 2-Stundenintervall an den Endpunkten der beiden kontinuierlich durchflossenen Leitungen 1 und 2 (Probennummer 97 bis 185)

Nr.	Time (UTC)	ALP [μ U]	Sample	Nr.	Time (UTC)	ALP [μ U]	Sample
97	12.09.2022 15:35	24,56	Leitung 1 E	98	12.09.2022 16:35	38,25	Leitung 2 E
99	12.09.2022 17:35	22,40	Leitung 1 E	100	12.09.2022 18:35	38,43	Leitung 2 E
101	12.09.2022 19:35	35,58	Leitung 1 E	102	12.09.2022 20:35	65,79	Leitung 2 E
103	12.09.2022 21:35	71,79	Leitung 1 E	104	12.09.2022 22:35	96,11	Leitung 2 E
105	12.09.2022 23:35	101,50	Leitung 1 E	106	13.09.2022 00:35	106,81	Leitung 2 E
107	13.09.2022 01:35	79,27	Leitung 1 E	108	13.09.2022 02:35	58,73	Leitung 2 E
109	13.09.2022 03:35	95,07	Leitung 1 E	110	13.09.2022 04:35	77,59	Leitung 2 E
111	13.09.2022 05:35	53,47	Leitung 1 E	112	13.09.2022 06:35	43,95	Leitung 2 E
113	13.09.2022 07:35	34,75	Leitung 1 E	114	13.09.2022 08:35	45,94	Leitung 2 E
115	13.09.2022 09:35	30,02	Leitung 1 E	116	13.09.2022 10:35	43,14	Leitung 2 E
117	13.09.2022 11:35	30,87	Leitung 1 E	118	13.09.2022 12:35	56,35	Leitung 2 E
119	13.09.2022 13:35	45,51	Leitung 1 E	120	13.09.2022 14:35	61,14	Leitung 2 E
121	13.09.2022 15:35	81,90	Leitung 1 E	122	13.09.2022 16:35	59,81	Leitung 2 E
123	13.09.2022 17:35	79,05	Leitung 1 E	124	13.09.2022 18:35	56,51	Leitung 2 E
125	13.09.2022 19:35	102,97	Leitung 1 E	126	13.09.2022 20:35	54,76	Leitung 2 E
127	13.09.2022 21:35	130,74	Leitung 1 E	128	13.09.2022 22:35	60,36	Leitung 2 E
129	13.09.2022 23:35	127,08	Leitung 1 E	130	14.09.2022 00:35	77,02	Leitung 2 E
131	14.09.2022 01:35	144,37	Leitung 1 E	132	14.09.2022 02:35	106,30	Leitung 2 E
133	14.09.2022 03:35	292,17	Leitung 1 E	134	14.09.2022 04:35	101,22	Leitung 2 E
135	14.09.2022 05:35	108,00	Leitung 1 E	136	14.09.2022 06:35	80,02	Leitung 2 E
137	14.09.2022 07:35	88,06	Leitung 1 E	138	14.09.2022 08:35	88,75	Leitung 2 E
139	14.09.2022 09:35	104,96	Leitung 1 E	140	14.09.2022 10:35	99,35	Leitung 2 E
141	14.09.2022 11:35	133,12	Leitung 1 E	142	14.09.2022 12:35	129,20	Leitung 2 E
143	14.09.2022 13:35	157,32	Leitung 1 E	144	14.09.2022 14:35	112,69	Leitung 2 E
145	14.09.2022 15:35	167,85	Leitung 1 E	146	14.09.2022 16:35	154,87	Leitung 2 E
147	14.09.2022 17:35	191,79	Leitung 1 E	148	14.09.2022 18:35	212,82	Leitung 2 E
149	14.09.2022 19:35	237,15	Leitung 1 E	150	14.09.2022 20:35	259,76	Leitung 2 E
151	14.09.2022 21:35	292,67	Leitung 1 E	152	14.09.2022 22:35	289,86	Leitung 2 E
153	14.09.2022 23:35	314,77	Leitung 1 E	154	15.09.2022 00:35	331,83	Leitung 2 E
155	15.09.2022 01:35	344,27	Leitung 1 E	156	15.09.2022 02:35	361,36	Leitung 2 E
157	15.09.2022 03:35	399,55	Leitung 1 E	158	15.09.2022 04:35	406,82	Leitung 2 E
159	15.09.2022 05:35	463,16	Leitung 1 E	160	15.09.2022 06:35	502,79	Leitung 2 E
161	15.09.2022 07:35	522,09	Leitung 1 E	162	15.09.2022 08:35	507,05	Leitung 2 E
163	15.09.2022 09:35	449,03	Leitung 1 E	164	15.09.2022 10:35	500,60	Leitung 2 E
165	15.09.2022 11:35	525,77	Leitung 1 E	166	15.09.2022 12:35	501,92	Leitung 2 E
167	15.09.2022 13:35	505,98	Leitung 1 E	168	15.09.2022 14:35	537,67	Leitung 2 E
169	15.09.2022 15:35	547,99	Leitung 1 E	170	15.09.2022 16:35	517,30	Leitung 2 E
171	15.09.2022 17:35	558,52	Leitung 1 E	172	15.09.2022 18:35	554,02	Leitung 2 E
173	15.09.2022 19:35	610,42	Leitung 1 E	174	15.09.2022 20:35	573,05	Leitung 2 E
175	15.09.2022 21:35	545,47	Leitung 1 E	176	15.09.2022 22:35	539,89	Leitung 2 E
177	15.09.2022 23:35	607,56	Leitung 1 E	178	16.09.2022 00:35	517,55	Leitung 2 E
179	16.09.2022 01:35	597,19	Leitung 1 E	180	16.09.2022 02:35	563,44	Leitung 2 E
181	16.09.2022 03:35	613,98	Leitung 1 E	182	16.09.2022 04:35	602,58	Leitung 2 E
183	16.09.2022 05:35	668,48	Leitung 1 E	184	16.09.2022 06:35	635,16	Leitung 2 E
185	16.09.2022 07:35	661,79	Leitung 1 E				

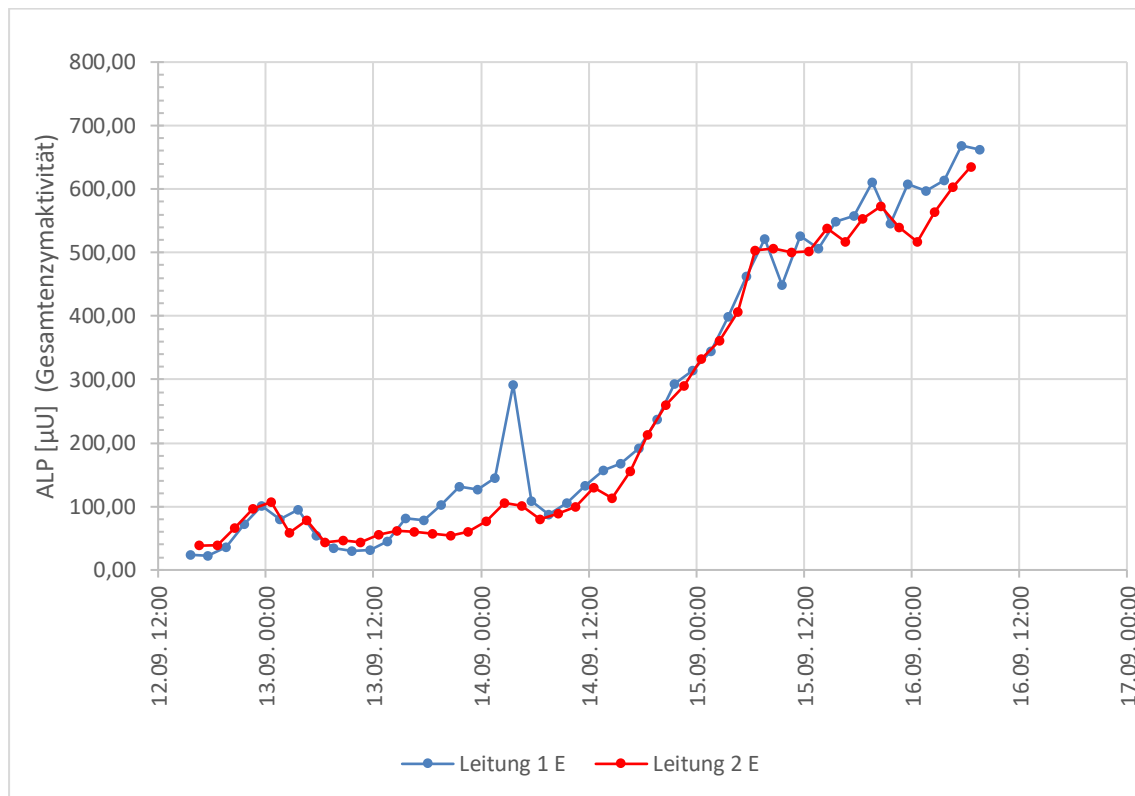


Abbildung 6-17: Graphische Darstellung der ColiMinder-Untersuchungen an den Endpunkten der beiden kontinuierlich durchflossenen Leitungen 1 und 2 über den Beobachtungszeitraum von 4 Tagen.

Interpretation der Probennummern 97 bis 185

Zu Beginn des Versuches befanden sich die ALP-Messewerte des ColiMinders nach der Klassifikation der VWMS GmbH (2019) im Grenzbereich einer Trinkwasserqualität.

Nach ca. 6-8 Stunden Betrieb kam es in beiden Leitungen zu einem ersten lokalen Maximum, danach reduzierte sich die Gesamtenzymaktivität wieder auf ein Niveau, das man schon zu Versuchsbeginn beobachten konnte. Nach ca. 18 Stunden Betrieb begann in beiden Leitungen jeweils ein stetiger Anstieg der Gesamtenzymaktivität, der dann bis zum Versuchende anhielt. Nach ca. 60 Stunden Betrieb flachte die kontinuierlich steigende Gesamtenzymaktivität etwas ab. Das Erreichen einer Plateauphase konnte im Zuge des 4-tägigen Versuches noch nicht erreicht werden. Da die Anmietung des ColiMinders für die Masterarbeit am 16.09.2022 endete, musste der Versuch leider nach den 4 Tagen abgebrochen werden. Zur Kontrolle der ALP-Werte am Ende der 4-tägigen Versuchsperiode, wurden am 16.09.2022 auch noch zwei Wasserproben parallel vom akkreditierten Wasserlabor untersucht.

Dafür wurden nach der letzten Beprobung durch den ColiMinder zum einen die Zulaufleitung zur Rohrleitung im Punkt 1 A und zum anderen der Endpunkt E der Rohrleitung 1 parallel beprobt und laboranalytisch auch vom akkreditierten Wasserlabor untersucht (Tabelle 6-33).

Tabelle 6-33: Auswertung des Versuches 6, laboranalytische Kontrollmessungen am Ende der 4-tägigen, kontinuierlichen ColiMinder-Untersuchungen.

Lfd. Probennummer		186	187	Grenzwerte TWV (i. d. g. F.)
Probenahmestelle		Betriebssimulation	Betriebssimulation	
Probenahmedatum		16.09.2022	16.09.2022	
Entnahmestelle		Leitung 1 A	Leitung 1 E	
Entnahmeart		Hahnenentnahme	Hahnenentnahme	
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	
E. coli	[KBE/100 mL]	<1	<1	0
coliforme Bakterien	[KBE/100 mL]	<1	<1	0
Enterokokken	[KBE/100 mL]	0	0	0
P. aeruginosa	[KBE/100 mL]	0	310	0
C. perfringens	[KBE/100 mL]	0	0	0
KBE bei 22°C	[KBE/ml]	1120	13600	100
KBE bei 37°C	[KBE/ml]	92	10560	20
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	794	792	2500
pH-Wert	[]	7,38	7,49	6,5 - 9,5
Wassertemperatur	[°C]	18,3	18,3	25
ALP ²⁾	[µU]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	

¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht
²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder

Interpretation der Probennummer 186

Die Probennummer 186 wurde am Übergang der Zuleitung zur Leitung 1 entnommen. Hierbei wurden hohe Werte für die KBE 22 und die KBE 37 festgestellt. Diese könnten aus dem 30 m PE-Schlauch stammen, der bei ca. 25 °C in der Halle die Leitungen 1 und 2 mit Trinkwasser versorgt hatte. Dass eine so hohe Keimbelastung konstant aus dem Rohrnetz in der Betriebshalle bzw. aus dem Ortsnetz kam, war unwahrscheinlich, da alle anderen Referenzmessungen während der gesamten Versuchsperiode in Hartl keine Auffälligkeiten der Trinkwasserqualität zeigten.

Interpretation der Probennummer 187

Die Probennummer 187 wurde am Leitungspunkt E abgenommen und wies sehr hohe Werte bei Pseudomonas aeruginosa, KBE 22 und KBE 37 auf. Im Vergleich mit der Probe aus der Zuleitung muss in der Leitung 1 eine starke Verkeimung des Trinkwassers stattgefunden haben.

6.6.4 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Die graphische Auswertung der ColiMinder-Werte zeigt einen steten und auch direkt vergleichbaren Anstieg der Gesamtzymaktivität während des 4-tägigen Untersuchungszeitraums in den beiden Leitungen. Ein wesentlicher Unterschied zwischen der Leitung 1 und Leitung 2 war nicht erkennbar. Somit hatte auch die

L.E.S.S.-Behandlung in der Leitung 1 vor Versuchsbeginn keinen Einfluss auf die Keimentwicklung während des Versuches. Offensichtlich war auch das Austauschvolumen in den beiden Leitungen zu gering, um die Keimentwicklung in den beiden Leitungen zu verhindern.

Die Untersuchungsbefunde des Wasserlabors ergaben bereits eine hohe Kontamination in der Zuleitung zur Leitung 1 am Punkt 1 A, aber eine noch weitaus höhere Kontamination nach dem Durchfließen der Leitung 1. Klar erkennbar war hierbei auch der Austrag von *Pseudomonas aeruginosa* aus der Leitung 1, welche im Zulauf zur Leitung noch nicht detektierbar waren.

Der Hauptgrund für die Verkeimung sowohl der Trinkwasserzuleitung zu den beiden Rohrleitungen 1 und 2 als auch in den beiden Leitungen 1 und 2 könnte sehr wahrscheinlich an der geringen Durchflussmenge durch die Leitungen gelegen haben.

6.7 Versuch 7 – Feldversuch

Nachdem die Versuche in Hartl zunächst ohne einen eindeutigen Nachweis der Wirksamkeit einer L.E.S.S.-UV-C-Behandlung auf die Verkeimung in Trinkwasserleitungen abgeschlossen waren, konnte eine Textilwäscherei in der Steiermark für einen Feldversuch gewonnen werden. Im Zuge dieses siebten Versuches wurde die praktische Anwendung des L.E.S.S.-Verfahrens mit dem dazugehörigen Fahrzeug und der Bedienungsmannschaft unter realen Bedingungen getestet. Dieser Feldversuch wurde am 06.10.2022 durchgeführt.

6.7.1 Motivation und Ziel des Versuches

Eine Textilwäscherei benötigt für den Waschprozess große Mengen an Wasser. Das erforderliche Prozesswasser wird dafür über einen hauseigenen Brunnen zur Verfügung gestellt. Aufgrund der Betriebszeiten von Montag bis Freitag stagniert das Prozesswasser in den beiden Zulaufleitungen zur Wäscherei in den außerbetrieblichen Zeiten, d. h. insbesondere auch an den Wochenendtagen. Die beiden Zubringerleitungen mit einer Länge von ca. 600 m vom Brunnen zum Wäschereibetrieb haben keine weiteren Abnehmer. Laut den Betreibern sind bei Routineüberprüfungen der Wasserqualität in den Zubringerleitungen vereinzelt Grenzwertüberschreitungen bei den mikrobiologischen Parametern in den Wasserproben festgestellt worden.

Das in den beiden Transportleitungen geförderte Wasser wird im Wäschereibetrieb ausschließlich als Prozesswasser genutzt und dort vor seinem Gebrauch mit einer UV-Anlage und einer Enthärtungsanlage noch entsprechend aufbereitet. Die Wäscherei wird aufgrund einer möglichst hoch angestrebten Versorgungssicherheit von zwei i. d. R. parallel betriebenen PE-Transportleitungen mit einem Durchmesser von DN 100 und DN 80 mit Brunnenwasser versorgt.

Dadurch konnte der Feldversuch auch während der Betriebszeiten der Wäscherei durchgeführt werden, weil dadurch auch eine der beiden Leitungen relativ einfach außer Betrieb genommen werden konnte, ohne dass der Betrieb der Wäscherei dadurch beeinträchtigt gewesen wäre.

Bei diesem Versuch stand die technische Umsetzbarkeit und die Anwendbarkeit des entwickelten L.E.S.S.-Equipments inkl. dem dafür speziell entwickelten Fahrzeugs unter realen Betriebsbedingungen im Fokus.

6.7.1.1 Erwartungen

Bei diesem Versuch wurden zwei Nachweise angestrebt. Zum einen der Nachweis der praktischen Anwendbarkeit des entwickelten UV-C-Desinfektionsverfahrens unter realen Betriebsbedingungen und zum anderen sollte nach Möglichkeit auch die Wirksamkeit des L.E.S.S.-Verfahrens durch die Entnahme von Wasserproben wieder nachgewiesen werden.

Der verfahrenstechnische Einsatz des L.E.S.S. wurde bereits im Vorfeld von den Mitarbeitern der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH besprochen und vorbereitet sowie auch sämtliche Vorkehrungen getroffen, damit das L.E.S.S. und alle dazugehörigen Verfahrensschritte wie geplant eingesetzt werden konnten.

Mit der UV-C-Desinfektion sollten auch alle sessilen Keime in der Trinkwasserleitung inaktiviert werden und damit auch für einwandfreie Ergebnisse bei der nächsten Trinkwasseruntersuchung sorgen.

6.7.2 Versuchsaufbau, Beschreibung der Testumgebung

Der Wäschereibetrieb benötigt für den Betrieb der Waschvorgänge eigens aufbereitetes Prozesswasser. Dieses Prozesswasser wird über zwei Zubringerleitungen aus dem 600 m weit entfernten eigenen Grundwasserbrunnen der Wäscherei bezogen. Die zwei Zubringerleitungen, bestehend aus einer PE DN 100 Leitung, nachfolgend als Leitung 1 bezeichnet, und einer PE DN 80 Leitung, nachfolgend als Leitung 2 bezeichnet, werden von der Brunnenanlage aus zunächst parallel und ca. 300 m weit in einem Kollektorgang und danach weiter im Erdreich bis zum Betriebsgebäude der Wäscherei geführt.

Für den Feldversuch wurde nur die Leitung 2 (PE DN 80) im erdverlegten, ca. 300 m langen Bereich vor der Wäscherei behandelt und UV-C-desinfiziert. Dieser Abschnitt beginnt an der Wanddurchführung im Kollektorgang und reicht bis in den sehr gut zugänglichen Bereich des Betriebsgebäudes der Wäscherei.

Der Beginn dieses Leitungsabschnittes wird im Kollektorgang der regulären Fließrichtung entsprechend beim durchgeführten Feldversuch mit dem Anfangspunkt A bezeichnet (siehe dazu die Abbildung 6-18) und das Ende dieses Abschnittes im Keller der Wäscherei mit dem Endpunkt E (siehe dazu die Abbildung 6-19).

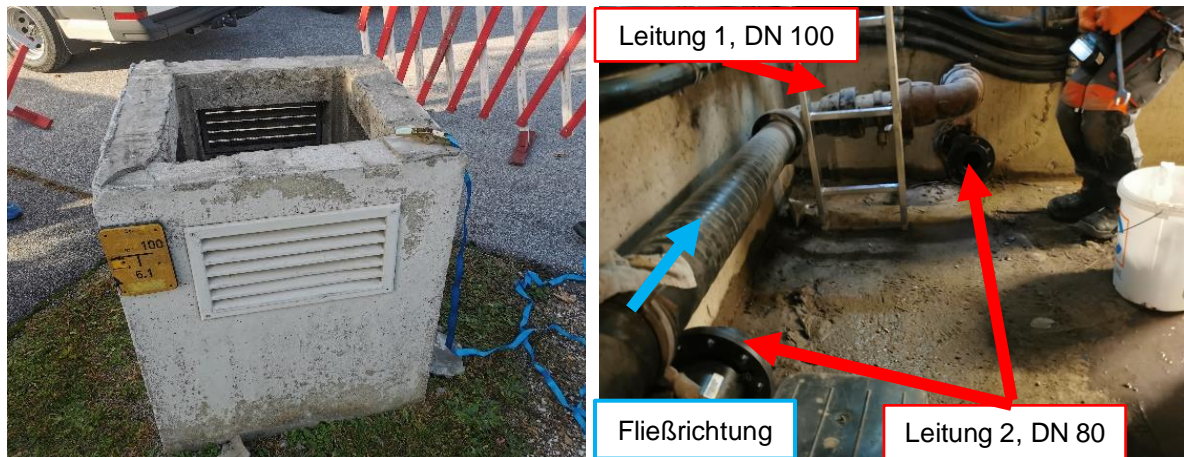


Abbildung 6-18: Einstieg zum Kollektorgang am Anfangspunkt A (linkes Foto), die Leitung 2 ist am Punkt A bereits demontiert und für den Feldversuch entleert (rechtes Foto).

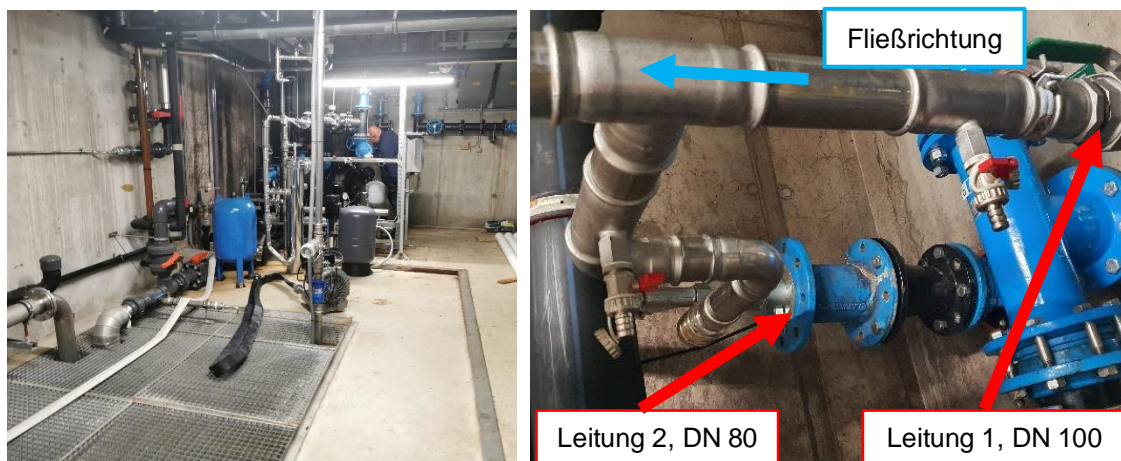


Abbildung 6-19: Leitungsendpunkt E (linkes Foto): Wanddurchführungen der ankommenden Transportleitungen (rechtes Foto: Gruber, mod.).

Für die Spülvorgänge am Punkt A wurde ein nahegelegener Hydrant genutzt. Dieser wird über ein eigenständiges Versorgungsnetz auch über den firmeneigenen Grundwasserbrunnen versorgt. In der Abbildung 6-20 wird der Versuchsaufbau schematisch dargestellt.

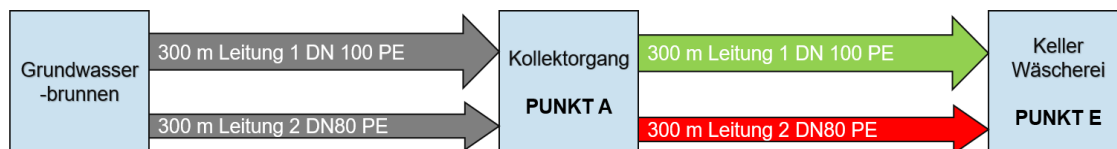


Abbildung 6-20: Schematischer Versuchsaufbau des Versuchs 7.

6.7.3 Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Für die Durchführung des Versuches wurden die Anschlüsse an den Leitungspunkten A und E von einer von der Wäscherei beauftragten Fachfirma entsprechend vorbereitet und zugänglich gemacht. Auch wurde die Leitung 2 bereits vorab entleert.

Zu Beginn des Versuches wurde im Keller der Wäscherei die Einbringung des Zugkabels mit einem Einblaskörper vorbereitet. Der Einblaskörper und der Rohrstopfen mit einer Kabeldurchführung wurden dem Durchmesser der Leitung 2 entsprechend gewählt. Nach dem Einsetzen des Einblaskörpers mit dem daran angebrachten Zugkabel konnte der Rohrstopfen mit gummiummanteltem Konus am Rohrende fixiert werden. Der Leitungspunkt A im Kollektorgang war dafür offen, damit der entstehende Überdruck aus dem Einblasvorgang auch entweichen konnte. Mit einem Seitenkanalverdichter wurde im Keller zwischen dem Rohrstopfen und dem Einblaskörper mit dem Zugkabel ein Überdruck erzeugt und damit der Einblaskörper mit dem Zugkabel durch die Leitung bis zum Leitungspunkt A gedrückt.

Nach dem Erreichen des Leitungspunktes A wurden der Einblaskörper vom Zugkabel und der Rohrstopfen am Leitungspunkt E entfernt. Die Einbringung des Lampenkopfes mit dem eingeblasenen Zugkabel erfolgte über den Schacht zum Kollektorgang und wurde über Umlenkrollen zum Leitungspunkt A geführt (Abbildung 6-21). An dem in der Leitung bereits befindlichen Zugseil wurde der Lampenkopf des L.E.S.S. befestigt und mit einer Seilwinde vom Leitungspunkt E aus durch die Leitung gezogen, der sich in einer Entfernung von ca. 300 m vom Leitungspunkt A befand (Abbildung 6-22).



Abbildung 6-21: Einbringung des Lampenkopfes (linkes Foto) und Schachteinstieg in den Kollektorgang mit installierter Umlenkrolle (rechtes Foto) für den L.E.S.S.-Lampenkopf (Fotos: Gruber).

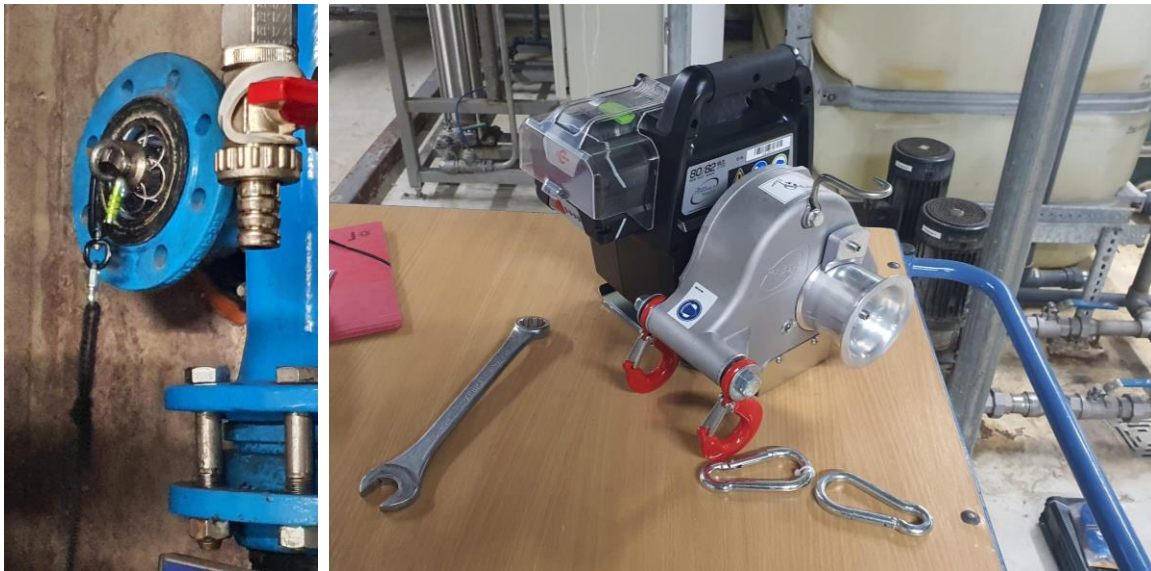


Abbildung 6-22: Der bereits durchgezogene Lampenkopf (linkes Foto) im Punkt E und die verwendete Seilwinde (rechtes Foto) für das Durchziehen des Lampenkopfes (Fotos: Gruber).

Nach dem Durchziehen des Lampenkopfes bis zum Leitungspunkt E wurden die beiden Schleusen am Rohranfang (Leitungspunkt A) und am Rohrende (Leitungspunkt E) entsprechend fixiert und die UV-Lampe gezündet und auf Betriebstemperatur gebracht. Die Zuggeschwindigkeit durch die DN 80-Leitung wurde auf den ersten Metern mit 1,0 m/min gewählt, da sich aufgrund der eingebrachten Gesamtkabellänge von ca. 300 m erst eine Zugspannung aufbauen musste und damit ruckartige Zugbewegungen vermieden wurden. In späterer Folge wurde dann nach ca. 20 m die Zuggeschwindigkeit auf 1,5 m/min erhöht.

Nach ca. 100 m konnte die eingestellte Zuggeschwindigkeit nicht mehr ohne eine zusätzliche Zughilfe durch einen Mitarbeiter der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH an der Kabeltrommel erreicht werden. Die Mitarbeiter der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH vermuteten in diesem Bereich einen Tiefpunkt, der beim Leitungsbau entstanden sein durfte. Dadurch lag das Zugkabel über eine gewisse Länge an der Rohrwand an und verursachte dadurch erhöhte Reibungskräfte, die von der Kabeltrommel ohne zusätzliche Hilfe nicht überwunden werden konnten. Die Reduzierung der Zuggeschwindigkeit wird von der Steuerungseinheit automatisch vorgenommen, um im Notfall keine größeren Schäden an der Ausrüstung selbst und auch nicht an der Rohrleitung entstehen zu lassen. Nach Überwindung des Tiefpunktes konnte die Zuggeschwindigkeit des Lampenkopfes wieder auf 1,5 m/min erhöht werden.

Nach ca. vier Stunden wurde der Desinfektionsvorgang mit der UV-C-Strahlung durch L.E.S.S. im gesamten Leitungsabschnitt von ca. 300 m beendet und der nachfolgende Spülvorgang des Leitungsabschnittes vorbereitet und durchgeführt werden.

Ab diesem Zeitpunkt wurden sämtliche Bauteile, die einen Keimeintrag von außen verursachen konnten, desinfiziert und alle Arbeiten mit Einweghandschuhen durchgeführt. Vor den weiteren Arbeitsschritten wurden auch die Einweghandschuhe desinfiziert und es wurde streng darauf geachtet, dass keine Berührungen mit nicht desinfizierten Flächen stattfanden.

Für den Spülvorgang wurde der nächstgelegene Hydrant in der Umgebung des Leitungspunktes A verwendet. Die Zuleitung vom Hydranten zum Leitungspunkt A wurde mit vier vollkommen neuen Druckschläuchen (DN 50) zu je ca. 25 m Länge hergestellt.

Zur Vorbereitung der Leitungsspülung wurde die DN 50-Zuleitung zum Leitungspunkt A zunächst 50 min lange gespült. Dabei wurde am Beginn der Spülung (Abbildung 6-23) eine Wasserprobe direkt am Hydranten entnommen. Das Ende der Zuleitungsspülung wurde nicht eigenständig beprobt, da direkt im Anschluss daran der Spülvorgang in der Leitung 2 begonnen hatte und diese Probenahme als Anfangsprobe für das Spülwasser in der Leitung 2 aufgenommen wurde.

Nachdem die beiden Leitungspunkte A und E mit Absperrhähnen und Probenahmehähnen ausgestattet wurden, wurde die Zuleitung am Leitungspunkt A im Kollektorgang angeschlossen und mit der Leitungsspülung begonnen. Die Ableitung des Spülwassers am Leitungspunkt E konnte direkt in den Abwasserkanal im Keller der Wäscherei geführt werden.

Zum Startzeitpunkt des Spülvorganges der Leitung 2 wurde zeitgleich eine Wasserprobe an den Leitungspunkten A und E entnommen (siehe Abbildung 6-23 und Abbildung 6-24). Nach weiteren 40 min Leitungsspülung wurden erneut an beiden Leitungspunkten zeitgleich zwei weitere Wasserproben entnommen.

Nach Beendigung des Spülvorganges wurden die Absperrhähne an den Leitungspunkten geschlossen, damit die Leitung mit dem letzten Spülwasser befüllt blieb.

Um die weitere Keimbildung in der Leitung 2 zu beobachten, wurde tags darauf ca. 12 Stunden nach der Durchführung der L.E.S.S.-Behandlung der Leitung 2 eine weitere Wasserprobe des in der Leitung 2 verbliebenen Wassers am Punkt A entnommen. Die Probenahme erfolgte dabei ca. 2 Minuten nach dem Beginn der Entleerung am Punkt A. Danach wurde die Leitung 2 von einer Fachfirma wieder in Betrieb genommen.

Die Abbildung 6-24 zeigt die entnommenen Proben am 06.10.2022 bzw. am 07.10.2022.



Abbildung 6-23: Probenahme am Hydranten (linkes Foto: Gruber) und der eingebaute Probenahmehahn am Punkt A (rechtes Foto).



Abbildung 6-24: Probenahme am Leitungspunkt E (linkes Foto: Gruber) und die entnommenen Wasserproben während des Versuchs 7 (rechtes Foto).

Die Wäscherei konnte dann am Freitag, 07.10.2022 wieder mit beiden Leitungen mit Brunnenwasser versorgt werden. Am Wochenende fand dann planmäßig kein Wäschereibetrieb statt, wodurch das Wasser in beiden Leitungen über das Wochenende komplett stagnierte und auch kein Durchfluss in beiden Leitungen stattfand. Ab Montag in der Früh wurde dann der Wäschereibetrieb wieder planmäßig hochgefahren, wodurch das Wasser in beiden Leitungen ca. 60 Stunden stagnierte.

Um einen Vergleich der Wässer in den beiden Leitungen bzgl. einer Keimbelastung zu erhalten, wurde von einem Mitarbeiter des Wäschereibetriebes direkt zu Arbeitsbeginn um 7 Uhr und dann um 8 Uhr und dann auch noch einmal um

10 Uhr jeweils eine Probe aus beiden Leitungen am Leitungspunkt E entnommen.

Zur Untersuchung der Auswirkung einer L.E.S.S.-Behandlung auf eine Nutzwasserleitung wurde die UV-C-Rohrdesinfektion nur in der Leitung 2 am Betriebsgelände der Wäscherei am 06.10.2022 durchgeführt. Die Laborergebnisse der dabei am 06.10.2022 entnommenen Wasserproben sind in der Tabelle 6-34 und in der Tabelle 6-35 zusammengefasst.

Zum Nachweis der Wirksamkeit der L.E.S.S.-Behandlung der Leitung 2 wurden am 10.10.2022 zum Vergleich und parallel auch Wasserproben aus der unbehandelten Leitung 1 am Leitungspunkt E entnommen und beide untersucht. Die Laborergebnisse beider Beprobungen sind in der Tabelle 6-36 dargestellt.

Tabelle 6-34: Auswertungen des Versuches 7 vor Beginn des Spülvorganges

Lfd. Probennummer		188	189	190
Probenahmestelle		Spülvorgang Hydrant am Beginn	Spülvorgang der L2 am Beginn	Spülvorgang der L2 am Beginn
Probenahmedatum		06.10.2022	06.10.2022	06.10.2022
Uhrzeit		18:00	18:50	18:50
Entnahmestelle		Hydrant	Leitung 2 A	Leitung 2 E
Entnahmeart		Hahnentnahme	Hahnentnahme	Hahnentnahme
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	Messwerte
E. coli	[KBE/100 mL]	0	0	0
coliforme Bakterien	[KBE/100 mL]	2400	0	50
Enterokokken	[KBE/100 mL]	7	0	0
P. aeruginosa	[KBE/100 mL]	800	0	700
C. perfringens	[KBE/100 mL]	0	0	0
KBE bei 22°C	[KBE/mL]	940	0	49
KBE bei 37°C	[KBE/mL]	268	0	48
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾
pH-Wert	[]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾
Wassertemperatur	[°C]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾
ALP ²⁾	[µU]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht				
²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder				

Interpretation der Probennummern 188 bis 190

Am Beginn der Spülung der Zuleitung zum Leitungspunkt A konnte direkt am Hydranten die erwartete sehr hohe Verkeimung der entnommenen Wasserprobe festgestellt werden. Die in dieser Wasserprobe zahlreich vorgekommenen coliformen Bakterien und die Enterokokken wiesen sogar relativ deutlich auf eine Fäkalverunreinigung hin.

Zum Startzeitpunkt des Spülvorganges der Leitung 2 nach der L.E.S.S.-UV-C-Behandlung der Leitung 2 wurde dann am Leitungspunkt A nach der vorherigen

50-minütigen Spülung der Zuleitungsleitung vom Hydranten zum Leitungspunkt A allerdings keine Verkeimung des Hydrantenwassers mehr in der Spülwasserprobe festgestellt.

Am Leitungspunkt E wurden in der entnommenen Wasserprobe koloniebildende Einheiten von coliformen Bakterien und von *Pseudomonas aeruginosa* sowie auch KBE 22 und KBE 37 vorgefunden. Aufgrund des unbelasteten Wassers am Rohranfang A ist anzunehmen, dass die in der Wasserprobe am Leitungspunkt E gefundenen Keime aus dem Biofilm der Rohrleitung in das Spülwasser gelangt sind. Dieses Wasser entsprach zum Zeitpunkt der Beprobung nicht den einzuhaltenden Parameterwerten der TWV (i. d. g. F.) für Trinkwasser.

Tabelle 6-35: Auswertung des Versuches 7 am Ende des Spülvorganges der L2

Lfd. Probennummer		191	192	193
Probenahmestelle		Spülvorgang Ende	Spülvorgang Ende	Nach 12 Stunden Stagnation
Probenahmedatum		06.10.2022	06.10.2022	07.10.2022
Uhrzeit		19:30	19:30	-
Entnahmestelle		Leitung 2 A	Leitung 2 E	Leitung 2 E
Entnahmearart		Hahnnentnahme	Hahnnentnahme	Hahnnentnahme
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	Messwerte
E. coli	[KBE/100 mL]	0	0	0
coliforme Bakterien	[KBE/100 mL]	0	0	0
Enterokokken	[KBE/100 mL]	0	0	0
P. aeruginosa	[KBE/100 mL]	0	9	0
C. perfringens	[KBE/100 mL]	0	0	0
KBE bei 22°C	[KBE/mL]	0	9	1460
KBE bei 37°C	[KBE/mL]	0	5	1050
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	860
pH-Wert	[]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	7,5
Wassertemperatur	[°C]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	21,3
ALP ²⁾	[µU]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht				
²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder				

Interpretation der Probennummern 191 bis 193

Am Ende des Spülvorganges der Leitung 2 wurde am 06.10.2022 am Leitungspunkt A keine Keimbelastung festgestellt.

Im Gegensatz dazu wurden am Leitungspunkt E am Ende des Spülvorganges eine geringe Anzahl an koloniebildenden Einheiten von *Pseudomonas aeruginosa* sowie KBE 22 und KBE 37 festgestellt. Diese Wasserqualität entsprach daher nicht den einzuhaltenden Grenzen der Parameterwerte der TWV (i. d. g. F.) für Trinkwasser.

In der Wasserprobe der Leitung 2 (Probennummer 193) nach einer ca. 12-stündigen Stagnation in der Leitung 2 vor der Wiederinbetriebnahme konnten KBE 22

und KBE 37 in hoher Anzahl allerdings ansonsten keine weiteren Keime der TWV (i. d. g. F.) festgestellt werden.

Tabelle 6-36: Auswertung des Versuches 7, Wirksamkeitsanalyse der L.E.S.S.-Behandlung der Leitung 2 nach 3 Tagen Stagnation in beiden Leitungen

Lfd. Probennummer		194	195	196
Probenahmestelle		Keller	Keller	Keller.
Probenahmedatum		10.10.2022	10.10.2022	10.10.2022
Uhrzeit		07:08	08:00	10:05
Entnahmestelle		Leitung 1 E	Leitung 1 E	Leitung 1 E
Entnahmeart		Hahnentnahme	Hahnentnahme	Hahnentnahme
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	Messwerte
E. coli	[KBE/100 mL]	<1	<1	<1
coliforme Bakterien	[KBE/100 mL]	10	<1	<1
Enterokokken	[KBE/100 mL]	3	0	0
P. aeruginosa	[KBE/100 mL]	18000	7	0
C. perfringens	[KBE/100 mL]	0	0	0
KBE bei 22°C	[KBE/mL]	10880	30	2
KBE bei 37°C	[KBE/mL]	15200	50	10
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	840	1190	1020
pH-Wert	[]	7,23	7,23	7,23
Wassertemperatur	[°C]	17,5	17,6	17,6
ALP ²⁾	[µU]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht ²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder				
Lfd. Probennummer		197	198	199
Probenahmestelle		Keller	Keller	Keller
Probenahmedatum		10.10.2022	10.10.2022	10.10.2022
Uhrzeit		07:08	08:00	10:05
Entnahmestelle		Leitung 2 E	Leitung 2 E	Leitung 2 E
Entnahmeart		Hahnentnahme	Hahnentnahme	Hahnentnahme
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	Messwerte
E. coli	[KBE/100 mL]	<1	<1	<1
coliforme Bakterien	[KBE/100 mL]	4	18	<1
Enterokokken	[KBE/100 mL]	0	0	0
P. aeruginosa	[KBE/100 mL]	280	200	4
C. perfringens	[KBE/100 mL]	0	0	0
KBE bei 22°C	[KBE/mL]	220	320	15
KBE bei 37°C	[KBE/mL]	900	90	20
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	840	720	890
pH-Wert	[]	7,25	7,25	7,25
Wassertemperatur	[°C]	17,5	17,6	17,6
ALP ²⁾	[µU]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht ²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder				

Interpretation der Probennummern 194 bis 199

Auch die Wasserproben der Leitung 1 zeigten nach der Stagnationsperiode am Wochenende zu Betriebsbeginn eine sehr hohe Anzahl an *Pseudomonas aeruginosa*, KBE 22 und KBE 37, aber auch eine geringe Anzahl an coliformen Bakterien und Enterokokken. Diese Keime in der Leitung 1 waren aber dann nach dem Betriebsbeginn in der Leitung am Montag spätestens um 10:05 beinahe nicht mehr nachweisbar. Die letzte Wasserprobe der Leitung 1 um 10:05 lag bereits unterhalb aller einzuhaltenden Parameterwerte nach der TWV (i. d. g. F.) und wäre somit sogar als Trinkwasser ohne weitere Wasseraufbereitung geeignet gewesen. Auffällig war allerdings die etwas ansteigende Leitfähigkeit des Wassers in der Leitung 1, die deutlich unter jener in der Leitung 2 lag.

Die Wasserproben der Leitung 2 zeigten zunächst zu Betriebsbeginn im Vergleich zur Leitung 1 eine deutlich geringere Verkeimung an *Pseudomonas aeruginosa*, KBE 22 und KBE 37. Auch eine geringe Anzahl an coliformen Bakterien war am Anfang zu Betriebsbeginn detektierbar. Enterokokken konnten im Gegensatz zur Leitung 1 keine nachgewiesen werden. Die *Pseudomonas aeruginosa* und die KBE 37 konnten nach den darauffolgenden Spülvorgängen deutlich dezimiert werden, jedoch gab es bei der entnommenen Wasserprobe um 08:00 Uhr bei den coliformen Bakterien und bei den KBE 22 einen geringen Anstieg. Bei der letzten entnommenen Wasserprobe der Leitung 2 um 10:05 lagen alle untersuchten Keime bereits wieder unterhalb der vorgegebenen Parameterwerte nach der TWV (i. d. g. F.) und womit ab diesem Zeitpunkt auch das Wasser in der Leitung 2 bereits wieder ohne eine weitere Aufbereitungsschritte als Trinkwasser geeignet gewesen wäre.

6.7.4 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse des Feldversuches

Im Zuge des Feldversuches wurde das L.E.S.S.-Verfahren an einer 300 m langen DN 80-Nutzwasserleitung im Bereich einer Wäscherei erfolgreich eingesetzt.

Die Wirksamkeit der UV-C-Desinfektion durch das L.E.S.S.-Verfahren konnte aber auch bei diesem Versuch im Vergleich zu einer parallel betriebenen, mit L.E.S.S.: unbehandelten DN 100-Leitung wieder nicht eindeutig nachgewiesen werden.

Die beiden Zubringerleitungen zur Wäscherei wurden mit dem gleichen Wasser aus einem nahegelegenen Grundwasserbrunnen beaufschlagt. Nach einer Stagnationsperiode von ca. 60 Stunden am Wochenende (betriebsfreie Zeit) wurden anfänglich in der mit L.E.S.S. unbehandelten Leitung 1 sehr hohe Keimbelastungen festgestellt, während in der mit L.E.S.S. behandelten Leitung 2 eine wesentlich geringere Anzahl an Keimen gefunden wurde. Nach ca. 3 Stunden Betrieb in beiden Leitungen nach dem Wochenende war aber ein Großteil der Keime in beiden Leitungen bereits wieder ausgespült und praktisch fast nicht mehr nach-

weisbar, wodurch die Wässer in beiden Leitungen ab diesem Zeitpunkt ohne weitere Wasseraufbereitungsschritte sogar als Trinkwasser gemäß der TWV (i. d. g. F.) geeignet gewesen wären.

Die relativ warmen Temperaturen im Kollektorgang, in dem die ersten 300 m der Leitung 1 und der Leitung 2 gemeinsam mit Heizleitungen, Stromleitungen etc. verlaufen, haben mit Sicherheit eine Auswirkung auf die Wassertemperatur in den beiden Leitungen während der Stagnationsphasen insbesondere an den Wochenenden, wo in der Wäscherei kein Betrieb herrscht. Dieser Umstand wird während dieser Phasen sicherlich das Keimwachstum in den beiden Leitungen fördern.

Eine ev. Langzeitwirkung der UV-C-Desinfektion durch das L.E.S.S.-Verfahren in diesen beiden Leitungen könnte nur durch wiederkehrende Beprobungen festgestellt werden. Dafür sollten aber diese ca. 600 m langen Zuleitungen vom Grundwasserbrunnen zur Wäscherei auch zur Gänze mit L.E.S.S. behandelt werden.

6.8 Versuch 8 – Biofilm-Inaktivierung an einer verkeimten Trinkwasserleitung

Alle bisherigen Versuchsreihen konnten keinen eindeutigen Nachweis einer Desinfektionswirkung des L.E.S.S.-Verfahrens in den untersuchten Rohrleitungen liefern, wobei die Wirksamkeitsüberprüfungen bisher bei allen Versuchen immer auf der Basis von entnommenen Wasserproben durchgeführt wurden, wie das auch die TWV (i. d. g. F.) vorsieht. Durch die vielfach identifizierten Fehlerquellen aus den vorangegangenen Versuchen wurde schließlich noch nach einer Möglichkeit gesucht, diese Fehlerquellen weitestgehend zu eliminieren. Dabei wurde schließlich eine gänzlich andere Nachweismethode erdacht, mit der auch eine Wirksamkeitsüberprüfung einer L.E.S.S.-UV-C-Behandlung in einer bereits verkeimten, allerdings im Betrieb befindlichen Trinkwasserleitung möglich sein sollte. Dabei wurden dann aber nicht die Wasserproben aus dieser Leitung untersucht, sondern in Anlehnung an die Corona-PCR-Abstrichtests der vorhandene Biofilm in dieser Leitung. Dieser Versuch wurde am 23.11.2022 durchgeführt.

6.8.1 Motivation und Ziel des Versuches

Zur Beweisführung der Wirksamkeit des L.E.S.S.-Verfahrens wurde dabei der Gedanke, den Nachweis über die entnommenen Trinkwasserproben vor und nach den Spülvorgängen zu führen, verworfen. Die Versuche 1 bis 7 zeigten, dass stets mehrere Faktoren für das Versuchsergebnis ausschlaggebend waren. So war die Qualität des Spülwassers zum Zeitpunkt der Probenahmen zumeist nicht bekannt, welche aber für ein einwandfreies Ergebnis maßgebend ist. Daher war die bisher angewandte Methode für die Nachweisführung einer Wirksamkeit der L.E.S.S.-Behandlungen auch nicht wirklich zielführend.

Aus diesem Grund wurde schließlich im achten und letzten Versuch eine vollkommen andere Methodik für den Nachweis einer Wirksamkeit der UV-C-Desinfektion nach dem L.E.S.S.-Verfahren angewandt.

Für den Versuch wurde ein kontaminiertes und vor Kurzem erst ausgebautes Quellableitungsrohr (PVC, DN 100), das ca. 40 Jahre in Betrieb war, verwendet. Der Quellbesitzer stellte im Laufe des Jahres 2022 einen eigenartigen Geruch seines Trinkwassers fest. Im Zuge der Ursachenforschung konnte schließlich über eine Probenahme am Trinkwasserhahn im Wohnhaus des Quellbesitzers eine Kontamination der Quelfassung durch landwirtschaftlichen Wirtschaftsdünger (Gülle) im Mai 2022 festgestellt werden. Nachdem sich die Quelfassung davon nicht schnell erholen konnte, wurden schließlich im Oktober 2022 die leicht austauschbaren PVC-Zuleitungsrohre im Bereich des Wohnhauses ausgetauscht und im Wohnhaus eine stationäre UV-Desinfektionsanlage installiert.

Dieses über Monate mit Fäkalkeimen kontaminierte Rohr war schließlich auch der letzte Untersuchungsgegenstand im Rahmen dieser Masterarbeit, um einen Nachweis der Wirksamkeit von mit L.E.S.S. behandelten Trinkwasserleitungen führen zu können.

6.8.1.1 Vorversuche durch Manfred MOCK

Manfred MOCK führte dazu bereits im Vorfeld dieses Versuches zwei Eigenversuche durch, die allerdings von mir und er TU Graz nicht begleitet und dokumentiert wurden. Diese Vorversuche wurden am 31.10.2022 und am 08.11.2022 durchgeführt. Den Beschreibungen zufolge konnte bei diesen schon ein erstmaliger eindeutiger Nachweis einer Wirksamkeit des L.E.S.S.-Verfahrens in kontaminierten Trinkwasserleitungen erzielt werden.

6.8.1.2 Erwartungen

Durch die geänderte Methodik in der Nachweisführung sollte ein eindeutiger Nachweis einer Wirksamkeit des L.E.S.S.-Verfahrens in verkeimten Trinkwasserleitungen erbracht werden, indem die Beweisführung nicht mehr auf der Basis von entnommenen Wasserproben durchgeführt wird, sondern in Anlehnung an die bewährten Corona-PCR-Abstrichtests auf der Basis von vereinfachten Biofilm-Untersuchungen.

Dafür wurden die bereits von Manfred MOCK durchgeführten Vorversuche in der oben beschriebenen kontaminierten Trinkwasserleitung noch einmal von mir und der TU Graz mit dem Versuch 8 wiederholt.

6.8.2 Versuchsaufbau, Beschreibung der Testumgebung

Für den Versuch 8 wurde ein kontaminiertes PVC-Rohr einer 40 Jahre alten Quellableitung, die dauerhaft in Betrieb war, verwendet. Das PVC-Rohr (DN 100, Abbildung 6-25) wurde am 17. Oktober 2022 ausgebaut und in zwei gleich lange

Rohrstücke zu je 1 m abgelängt. Die Lagerung der beiden Rohrteile erfolgte zunächst ca. vier Tage lang im Freien bei herbstlichen Verhältnissen und danach ca. eine Woche in einem Trinkwasserbad. Eines der beiden Rohrstücke wurde bisher schon für die oben beschriebenen Vorversuche von Manfred MOCK verwendet.

Der Versuch wurde wieder in der Werkshalle der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH in Hartl durchgeführt. Die ca. 1 m langen Rohrstücke wurden dafür auf einem Tisch abgelegt. Für die Unterscheidung der Rohre wurde das bisher unbehandelte Rohr mit Rohr A und das Rohr aus den Vorversuchen mit Rohr B bezeichnet (Abbildung 6-25). Die Rohrenden wurden jeweils mit Punkt 1 und Punkt 2 gekennzeichnet.



Abbildung 6-25: DN 100-Rohrquerschnitt (linkes Foto) der kontaminierten TW-Leitung und die beiden abgelängten PVC-Rohre (rechtes Foto) A und B (Fotos: Gruber).

6.8.3 Versuchsdurchführung und Ergebnisse

6.8.3.1 Geänderte Methodik in der Probenahme

Für die Nachweisführung wurde die Methodik der Probenahme geändert, da dabei jetzt in erster Linie nicht das Medium Wasser selbst im Fokus stand, sondern eine möglichst einfache Untersuchung des Biofilmes in den kontaminierten Leitungen.

Zur Ermittlung der Keimbelastung im Biofilm wurde anfangs eine handelsübliche Abklatschprobe mit späterer Auswertung in einem Labor überlegt. Da diese Art der Probenahme aber meist nur kleinflächig entnommen werden kann und eine ebene Fläche benötigt, wurde diese Überlegung schnell wieder verworfen.

Für die Probenahme der Biofilm-Proben wurden schließlich in Anlehnung an die bewährten Corona-PCR-Abstrichtests die dafür in der Corona-Pandemiezeit leicht erhältlichen sterilen Teststäbchen (Abbildung 6-26) verwendet. Die Biofilmentnahmen wurden damit mit kreisenden Bewegungen entlang der Innenseite der kontaminierten Rohrleitungen durchgeführt. Nach dem Abstrich wurde das Teststäbchen mit einem desinfizierten Schneidewerkzeug an der Soll-Bruchstelle abgeschnitten und der abgeschnittene vordere Teil in einer 500 mL Probeflasche bis zur Durchführung der laboranalytischen mikrobiologischen Untersuchungen aufbewahrt, die mit einer sterilen physiologischen 0,9%iger Kochsalzlösung (Abbildung 6-26) befüllt war. Die Probeflasche mit der Kochsalzlösung und mit dem vorderen Teil des Teststäbchens wurde anschließend luftdicht verschlossen und auf schnellstem Wege zum akkreditierten Wasserlabor zur mikrobiologischen Untersuchung gem. TWV (i. d. g. F.) gebracht.



Abbildung 6-26: Sterile Teststäbchen (linkes Foto), die auch für die Corona-PCR-Tests verwendet werden und die sterile und mit 0,9%iger Kochsalzlösung befüllte Probeflaschen (rechtes Foto) für die Biofilm-Untersuchungen (Fotos: Gruber).

Die Vorgangsweise der Versuchsdurchführung wurde vorab auch mit dem akkreditierten Wasserlabor besprochen und vorabgestimmt.

6.8.3.2 Versuchsdurchführung

Die verkeimten Rohrstücke wurden für die Versuchsdurchführung aus dem Wasserbad genommen und auf einem Tisch gelegt. Zur Entfernung des Restwassers wurden die Rohre zunächst lotrecht gedreht, bis augenscheinlich keine Wassertropfen mehr von den Rohrwandungen abließen. Die Rohre wurden wieder wie schon zuvor beschrieben mit A und B beschriftet sowie die Rohrenden jeweils mit den Zahlen 1 und 2 gekennzeichnet. In Vorbereitung auf die Biofilm-Abstriche vor der L.E.S.S.-UV-C-Behandlung wurden die sterilen Probeflaschen mit den Kochsalzlösungen entsprechend der festgelegten Rohrbezeichnungen beschriftet.

Das folgende Prozedere wurde für alle Probenahmen während des Versuchs 8 in der gleichen beschriebenen Art durchgeführt.

Das sterile Teststäbchen wurde in den jeweils vorderen Teil des Rohrs eingebracht und mit kreisenden Bewegungen entlang der Rohrwand geführt (Abbildung 6-27). Für die Vergleichbarkeit der Proben wurde das Teststäbchen dabei jeweils für 20 Umdrehungen entlang der Rohrwand bewegt und dabei selber auch um seine Achse gedreht, um möglichst viel Biofilm aufnehmen zu können.

Nach den durchgeführten Abstrichen wurde das Teststäbchen (Abbildung 6-27) vorsichtig und ohne weitere Berührung der Rohrwand aus dem Rohr entfernt, anschließend mit einem desinfizierten Schneidewerkzeug an der Soll-Bruchstelle abgeschnitten und in die vorbereitete Kochsalzlösung in die sterilen Probeflaschen gegeben, die luftdicht mit Kochsalzlösung aufgefüllt und für den Transport ins Wasserlabor verschlossen wurden.



Abbildung 6-27: Durchführung eines Biofilm-Abstrichs entlang der Rohrwand (linkes Foto) und mit dem Biofilm kontaminiertes Teststäbchen (rechtes Foto) vor der L.E.S.S.-Behandlung des verkeimten TW-Rohres (Fotos: Gruber).

Die Auswertung des gesamten Inhalts der Probeflaschen wurde vom akkreditierten Wasserlabor durchgeführt.

6.8.3.3 L.E.S.S.-UV-C-Behandlung der kontaminierten Trinkwasserleitung

Die Durchführung der L.E.S.S.-UV-C-Behandlung unterschied sich etwas von den bisher durchgeführten Behandlungen, da die untersuchten und verkeimten Rohre beim Versuch 8 sehr kurz waren. Dafür musste der Lampenkopf etwas anders eingebracht werden und auch die Zuggeschwindigkeit der UV-C-Lampe durch das Rohr wurde etwas verändert.

Der Lampenkopf wurde dabei aufgrund des kurzen Rohrstückes per Hand eingeschoben und die beiden Schutzschleusen wurden direkt an den beiden Rohrenden montiert (Abbildung 6-28).



Abbildung 6-28: Der händisch eingebrachte L.E.S.S.-Lampenkopf (linkes Foto) vor der Installation der Schutzschleuse vor einer L.E.S.S.-Behandlung des Rohres und die Durchführung einer L.E.S.S.-UV-C-Behandlung (rechtes Foto) in einem kontaminierten TW-Rohr (Fotos: Gruber).

Die Zuggeschwindigkeit des Lampenkopfes wurde mit der geringstmöglichen Geschwindigkeit von 1,0 m/min gewählt und zusätzlich wurde der Lampenkopf auch noch alle 10 cm für ca. eine Sekunde gestoppt, um das Zugkabel zu entlasten, da ansonsten das kurze Rohrstück aufgrund seines leichten Gewichtes von der Zugkraft der Kabeltrommel mitgezogen worden wäre. Das Rohrstück wurde während der L.E.S.S.-UV-C-Behandlung noch zusätzlich am Boden fixiert.

Nach der Behandlung mit L.E.S.S. wurde die Biofilm-Entnahme, wie zuvor beschreiben, durchgeführt (Abbildung 6-29).



Abbildung 6-29: Mit Biofilm kontaminierte Teststäbchen nach der L.E.S.S.-Behandlung (linkes Foto) und die Teststäbchen vor dem Abschneiden (rechtes Foto) und Aufbewahrung in den sterilen und mit Kochsalzlösung befüllten Probeflaschen (Fotos: Gruber).

6.8.3.4 Ergebnisse

Zur Feststellung einer mikrobiologischen Kontamination seines Quellwassers mit Fäkalien wurde vom Quellenbesitzer eine Trinkwasseruntersuchung durch ein akkreditiertes Wasserlabor veranlasst und durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Trinkwasseruntersuchung sind in der Tabelle 6-37 dargestellt.

Tabelle 6-37: Ergebnisse der Trinkwasseruntersuchungen der mit Fäkalien (Gülle) über einen längeren Zeitraum kontaminierten Quelle

Lfd. Probenummer		200	Grenzwerte gemäß TWV (i. d. g. F.)
Probenahmestelle		Quellableitung vor UV-Anlage	
Probenahmedatum		19.09.2022	
Entnahmestelle		Vor UV	
Entnahmeart		Hahnentnahme	
Parameter	Einheit	Messwerte	
E. coli	[KBE/100 mL]	48	0
coliforme Bakterien	[KBE/100 mL]	62	0
Enterokokken	[KBE/100 mL]	0	0
P. aeruginosa	[KBE/100 mL]	0	0
C. perfringens	[KBE/100 mL]	0	0
KBE bei 22°C	[KBE/mL]	118	100
KBE bei 37°C	[KBE/mL]	6	20
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	k. A. ¹⁾	2500
pH-Wert	[]	k. A. ¹⁾	6,5 - 9,5
Wassertemperatur	[°C]	k. A. ¹⁾	25
ALP ²⁾	[µU]	k. A. ¹⁾	
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht			
²⁾ ALP = Gesamtzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder			

Interpretation der Probenummer 200

Der Trinkwasserbefund zeigte eindeutig eine Fäkalverunreinigung der Quelfassung an. Die Trinkwasserprobe wurde dafür vom Besitzer selbst entnommen und von einem akkreditierten Wasserlabor gemäß der TWV (i. d. g. F.) untersucht. Dabei wurden die Auswertungen für desinfiziertes Trinkwasser angewendet, um auch die Wirksamkeit der zwischenzeitlich installierten UV-Anlage nachzuweisen. Die Wirksamkeit der installierten UV-Anlage des Quellenbesitzers war allerdings für unsere L.E.S.S.-Untersuchungen nicht relevant, da die Trinkwasserprobe bereits ca. einen Monat vor dem Rohrwechsel der Quellableitung im September 2022 entnommen und untersucht wurde und die UV-Anlage auch nicht bei der Quelfassung, sondern im Wohnhaus installiert wurde.

Für den Nachweis der Wirksamkeit der durchgeführten L.E.S.S.-UV-C-Behandlungen in den kontaminierten Trinkwasserrohren wurden am 23.11.2022 Abstri-

che in den PVC-Rohren A und B durchgeführt und im Anschluss daran vom akkreditierten Wasserlabor mikrobiologisch untersucht. Diese mikrobiologischen Laborergebnisse sind in der Tabelle 6-38 zusammengefasst.

Tabelle 6-38: Auswertung des Versuches 8, Ergebnisse der Biofilm-Untersuchungen im kontaminierten Rohr A und Rohr B vor und nach den L.E.S.S.-Behandlungen

Lfd. Probennummer		201	202	Grenzwerte TWV (i. d. g. F.)
Probenahmestelle		Vor L.E.S.S.	Nach L.E.S.S.	
Probenahmedatum		23.11.2022	23.11.2022	
Entnahmestelle		Rohr A Punkt 1	Rohr A Punkt 2	
Entnahmeart		Abstrich	Abstrich	
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	
E. coli	[KBE/100 mL]	< 1	< 1	0
coliforme Bakterien	[KBE/100 mL]	19	< 1	0
Enterokokken	[KBE/100 mL]	0	0	0
P. aeruginosa	[KBE/100 mL]	1	0	0
C. perfringens	[KBE/100 mL]	0	0	0
KBE bei 22°C	[KBE/mL]	260	30	100
KBE bei 37°C	[KBE/mL]	32	3	20
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	2500
pH-Wert	[]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	6,5 - 9,5
Wassertemperatur	[°C]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	25
ALP ²⁾	[µU]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht ²⁾ ALP = Gesamtenzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder				
Lfd. Probennummer		203	204	Grenzwerte TWV (i. d. g. F.)
Probenahmestelle		Vor L.E.S.S.	Nach L.E.S.S.	
Probenahmedatum		23.11.2022	23.11.2022	
Entnahmestelle		Rohr B Punkt 1	Rohr B Punkt 2	
Entnahmeart		Abstrich	Abstrich	
Parameter	Einheit	Messwerte	Messwerte	
E. coli	[KBE/100 mL]	< 1	< 1	0
coliforme Bakterien	[KBE/100 mL]	3	< 1	0
Enterokokken	[KBE/100 mL]	0	0	0
P. aeruginosa	[KBE/100 mL]	0	0	0
C. perfringens	[KBE/100 mL]	0	0	0
KBE bei 22°C	[KBE/mL]	560	0	100
KBE bei 37°C	[KBE/mL]	180	0	20
Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	2500
pH-Wert	[]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	6,5 - 9,5
Wassertemperatur	[°C]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	25
ALP ²⁾	[µU]	k. A. ¹⁾	k. A. ¹⁾	
¹⁾ k. A. = keine Angabe, wurde nicht untersucht ²⁾ ALP = Gesamtenzymaktivität gemessen mit dem ColiMinder				

Interpretation der Probennummern 201 bis 204

In den im Wasserlabor gründlich aufgeschüttelten Kochsalzlösungsproben mit den abgeschnittenen und mit dem Biofilm aus den Abstrichen kontaminierten Teststäbchen vor den L.E.S.S.-UV-C-Behandlungen wurden in beiden Rohren im Wesentlichen nur coliforme Bakterien, KBE 22 und KBE 37 gefunden.

Nach der UV-C-Desinfektionsmaßnahme mit dem L.E.S.S. konnte im Rohr A, das seit dem Ausbau unbehandelt blieb, eine deutliche Reduzierung der vermehrfähigen Keime festgestellt werden.

Nach der UV-C-Desinfektionsmaßnahme mit dem L.E.S.S. im bereits schon zweimal mit L.E.S.S. behandelten Rohr B konnte überhaupt keine Verkeimung mehr im Biofilm-Abstrich festgestellt werden. Dieses Rohr B wurde bereits zwei Mal mit dem L.E.S.S. durch die Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH in den Vorversuchen behandelt.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen nach den L.E.S.S.-Behandlungen halten auch alle Grenzwerte und Indikatorparameterwerte für nicht desinfiziertes Trinkwasser nach der TWV (i. d. g. F.) ein.

6.8.4 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Mit dem Versuch 8 konnte erfreulicherweise ein eindeutiger Nachweis einer Wirksamkeit der UV-C-Desinfektionsmaßnahme durch Anwendung des L.E.S.S.-Verfahrens in kontaminierten Trinkwasserleitungen erbracht werden, indem nach den L.E.S.S.-Behandlungen nicht mehr die Wasserproben des Spülwassers untersucht wurden, sondern über Biofilm-Abstriche die im Biofilm von kontaminierten Leitungen enthaltenen Keime gemäß TWV (i. d. g. F.).

Die jetzt neu angewandte Probenahme-Methodik konnte die Reduzierung bzw. Inaktivierung der untersuchten Keime im Biofilm von kontaminierten Trinkwasserleitungen durch die UV-C-Bestrahlungen mit dem L.E.S.S.-Verfahren eindeutig nachweisen. Die Verwendung von sterilen 0,9%igen Kochsalzlösungen schloss auch eine unbekannte Wasserqualität des Spülwassers aus, die ansonsten eine Verfälschung der Untersuchungsergebnisse bewirken kann, wie in den vorangegangenen Versuchen dieser Masterarbeit gezeigt werden konnte. Dadurch wurde auch die Aussagekraft der Ergebnisse erheblich verbessert. Des Weiteren waren für die Beweisführung auch die erforderlichen Spülungen nach der Durchführung der L.E.S.S.-Behandlungen nicht mehr erforderlich.

Der technische Verfahrensablauf in der Anwendung der L.E.S.S.-UV-C-Behandlungen änderte sich dadurch auch nicht.

Eine Langzeitwirksamkeitsanalyse kann allerdings nur unter realen Bedingungen in kontaminierten Wasserleitungen in weiteren Feldversuchen unter realen Bedingungen nachgewiesen werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Wasser ist die Lebensgrundlage aller Lebewesen. Der Mensch benötigt für ein gesundes Leben sauberes und hygienisch unbedenkliches Trinkwasser in ausreichender Menge.

Das sind die Grundsätze nach denen die Trinkwasserversorgungsunternehmen weltweit streben. Die Aufgabe eines Trinkwasserversorgers ist es, die geforderte Qualität und Quantität von Trinkwasser für die zu versorgenden Einwohner und Objekte möglichst dauerhaft und nachhaltig zu gewährleisten.

In Österreich beziehen wir das gesamte Trinkwasser aus Grundwasservorkommen und benötigen für die Trinkwasserversorgung keine Oberflächengewässer, wie in vielen anderen Ländern erforderlich. In den meisten Gebieten Österreichs kann das Grundwasser direkt aus den Brunnen oder Quellvorkommen ohne weitere Aufbereitungsmaßnahmen genutzt werden.

In einer Trinkwasserversorgungsanlage wird nicht nur das Wasservorkommen in qualitativer Hinsicht regelmäßig untersucht, sondern auch das Rohrverteilungsnetz, das i. d. R. auch im Besitz und im Verantwortungsbereich des Wasserversorgers ist. Dabei können gewisse Rohrabschnitte auch regelmäßig verkeimt werden und dabei dann auch die in der TWV (i. d. g. F.) festgelegten Parameter- und Indikatorparameterwerte überschreiten. Bisher wurden diese Leitungsabschnitte immer recht aufwendig gespült und erforderlichenfalls auch zumeist mit Chlorverbindungen desinfiziert oder durch kostenintensive Baumaßnahmen ausgetauscht. Bei jeder dieser Maßnahmen ist mit einer langen Ausfallsdauer des Leitungsabschnittes zu rechnen.

Mit dem L.E.S.S.-Verfahren steht eine UV-C-Desinfektionsmaßnahme zur Verfügung, mit welcher zukünftig die Ausfallsdauer und auch der wirtschaftliche Aufwand für eine qualitative Rohrsanierung erheblich reduziert werden kann. Diese Methode könnte auch präventiv bei der Neuverlegung von Trinkwasserleitungen eingesetzt werden, um auch die Baustellendauer zu verkürzen.

7.1 Nachweis der Wirksamkeit des L.E.S.S.-Verfahrens zur Desinfektion von kontaminierten Wasserleitungen

Für den Nachweis der Wirksamkeit des L.E.S.S.-Verfahrens zur Desinfektion von kontaminierten Wasserleitungen wurden in der vorliegenden und von der TU Graz betreuten Masterarbeit insgesamt 8 Versuchsserien durchgeführt. In den ersten beiden Versuchen sollten zunächst die bisher bereits von Manfred MOCK, dem Erfinder und Patentinhabers des L.E.S.S.-Verfahrens, durchgeführten Versuche dokumentiert wiederholt werden und nach Möglichkeit auch ein Nachweis der Wirksamkeit des UV-C-Desinfektionsverfahrens in mit Keimen kontaminierten Trinkwasserleitungen erbracht werden. Nachdem dieser Nach-

weis in den ersten Versuchsreihen nicht eindeutig gelang, wurden weitere Versuche in der Werkshalle der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH in Hartl durchgeführt, wo u. a. nicht nur mit und ohne Keimen angeimpftes Trinkwasser, sondern auch sog. RO-Wasser aus einer Membranfiltrationsanlage verwendet wurde.

Mit zunehmender Versuchsanzahl konnten immer weitere mögliche Fehlerquellen bei den Versuchsdurchführungen lokalisiert und zum Teil auch verhindert werden. Jedoch konnten mit dem gewählten Versuchsaufbau in Hartl (siehe Kapitel 5) auch einige Faktoren ausgemacht werden, die zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführungen noch nicht bekannt waren.

Den größten Einfluss auf das Ergebnis einer Trinkwasserprobe haben die Qualität des Spülwassers und die zugehörige Spülleitung vom Wasserbereitstellungsort bis zum Anschlusspunkt der zu untersuchenden Rohrleitung. Diese Ergebnisse sind allerdings aufgrund der sehr lange und i. d. R. 3 Tage dauernden mikrobiologischen Untersuchungen zum Zeitpunkt der Probenahmen nicht verfügbar. Daher ist bei diesen Versuchen auf den Wasserbezugsort und auf die Spülwasserqualität für den Spülvorgang akribisch zu achten.

Der zweitgrößte Einflussfaktor konnte bei der Durchführung der Spülvorgänge selbst festgestellt werden. Neben der zuvor erwähnten Wasserqualität ist eine vollgefüllte, entlüftete Leitung und eine dem Durchmesser entsprechende Durchsatzmenge notwendig. Die quantitative Bereitstellung der geeigneten Wassermenge ist in jedem Fall vor Beginn der Versuchsdurchführungen zu prüfen und mit dem Trinkwasserversorger vor Ort abzuklären. Die Entlüftung der Rohre sollte aufgrund der geodätischen Höhenunterschiede in der Praxis kein Problem sein. Sofern eine ausreichende Wassermenge bereitgestellt werden kann, ist eine Völlfüllung der betroffenen Rohrleitungen möglich, wenn am Ende der zu behandelnden Rohrleitung eine Querschnittsverengung mit einem Schieber oder einer Reduktion installiert werden kann. Es ist darauf zu achten, dass ein ausreichender Durchfluss für den Spülvorgang zur Verfügung steht.

Ein weiterer Einflussfaktor, bei dem Fehler vermieden werden können, ist die richtige Probenahme. Hierbei muss vor allem hygienisch sauber und genau gearbeitet werden. Beim zweiten Versuch konnte z. B. die Auswirkung festgestellt werden, was eine kurze Berührung der Innenseite eines Probeflaschendeckels mit der „kontaminierten“ Umgebung auf die mikrobiologischen Laboruntersuchungsergebnisse zur Folge haben kann.

Für die Vergleichbarkeit bei Doppel- und Mehrfachbeprobungen ist auf eine geeignete Probemenge zu achten, sodass alle vergleichbaren Proben aus einer Charge stammen. Bei den durchgeführten Versuchen wurden jeweils Stichproben gezogen, welche sich beim Vergleich der Auswertungsergebnisse vom Wasserlabor und dem ColiMinder teilweise nicht deckten.

Die durchgeführten Langzeitanalysen in der Werkshalle in Hartl erbrachten die Erkenntnis, dass ein Einsatz des L.E.S.S.-Verfahrens dort bei den durchgeführten Versuchen, die bis auf die Versuchsserie 8 alle auf den Untersuchungen des Spülwassers nach den L.E.S.S.-Behandlungen basierten, praktisch immer zu einem Anstieg der Keime in den mit L.E.S.S. behandelten Leitungen geführt hatte, was sich auch mit den Aussagen von Korth (2007) im Kapitel 2.4 deckt, der sich bereits mit Stagnationsversuchen auseinandersetzte. Dieses Verhalten konnte auch sehr eindrucksvoll mit dem ColiMinder, einem On-line-Verfahren zur Messung u. a. der Gesamtzymaktivität in Wasserproben, dokumentiert werden, welcher dankenswerterweise für die Masterarbeit von der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH für einen Monat von der Fa. VWMS GmbH angemietet wurde. Mit diesem On-line-Messfahren zur Messung der Gesamtzymaktivität sind Messintervalle von ca. 20 – 30 Minuten möglich, womit auch der Verlauf von Keimbildungen sehr gut nachvollzogen werden konnte.

Daraus resultierte auch die Erkenntnis, dass eine Langzeitwirksamkeit nur über eine längerfristige Beprobungskampagne unter realen Versorgungsbedingungen nachgewiesen werden kann.

Die in Hartl für die Untersuchungen verwendeten 4 parallelen Rohrleitungen waren einfach vor den durchgeführten sechs Stagnationsuntersuchungen zu wenig lange in einem realen Versorgungsbetrieb, damit sich in Ihnen ein Biofilm hätte aufbauen können.

Ein eindeutiger Nachweis der Wirksamkeit des L.E.S.S.-Verfahrens zur Desinfektion von kontaminierten Wasserleitungen konnte daher aufgrund der oben angeführten Probleme in keinem der im Rahmen der Masterarbeit durchgeführten Versuche 1 bis 7 erbracht werden, die allesamt auf den Untersuchungen der Spülwasserproben nach den L.E.S.S.-Behandlungen basierten.

Schließlich konnte aber die Wirksamkeit des L.E.S.S.-Verfahrens zur Desinfektion von kontaminierten Wasserleitungen doch noch durch eine komplette Änderung in der Nachweisstrategie mit dem Versuch 8 nachgewiesen werden, indem bei diesem Versuch nach den L.E.S.S.-Behandlungen nicht mehr die Wasserproben des Spülwassers untersucht wurden, sondern in Anlehnung an die bewährten Corona-PCR-Abstrichtests die im Biofilm von kontaminierten Leitungen enthaltenen Keime gemäß der TWV (i. d. g. F.). Die Biofilmentnahmen erfolgten dabei mit den sterilen Teststäbchen der Corona-PCR-Tests von der Innenseite der kontaminierten Rohrleitungen. Nach dem Abstrich wurden die mit dem Biofilm in den Leitungen kontaminierten und abgeschnittenen Teststäbchen bis zu den mikrobiologischen Laboranalysen in sterilen und mit physiologischer 0,9%iger Kochsalzlösung befüllten Probeflaschen aufbewahrt. Die Probeflasche mit der Kochsalzlösung und mit dem vorderen Teil des Teststäbchens wurden schließlich luftdicht verschlossen und auf schnellstem Wege zur mikrobiologischen Untersuchung gem. TWV (i. d. g. F.) in ein akkreditiertes Wasserlabor gebracht. Dort

wurden dann die an den Teststäbchen anhaftenden Biofilme, wie beim PCR-Test auch, durch kräftiges Aufschütteln der abgeschnittenen Teststäbchen in den sterilen Probenahme flaschen in die darin enthaltene 0,9%igen Kochsalzlösung überführt und die konventionellen Keimuntersuchungen danach dann in den aufgeschüttelten Kochsalzlösungen durchgeführt.

Damit konnte dann schließlich auch eine Reduzierung der untersuchten Keime im Biofilm von kontaminierten Trinkwasserleitungen durch eine UV-C-Bestrahlungen mit dem L.E.S.S.-Verfahren eindeutig nachgewiesen werden.

7.2 Nachweis der praktischen Anwendbarkeit des L.E.S.S.-Verfahrens in kontaminierten Wasserleitungen

Die verfahrenstechnische Funktionalität und auch die mobile Anwendbarkeit des L.E.S.S.-Verfahrens konnte an den Versuchsrohren in der Werkshalle in Hartl bereits getestet werden. Dabei wurden keine einschränkenden Faktoren festgestellt. Mit dem in der Masterarbeit beschriebenen Versuch 7, einem Feldversuch am Betriebsgelände einer Wäscherei, wurde das L.E.S.S.-Verfahren zum ersten Mal unter realen Bedingungen mit allen erforderlichen Einrichtungen von der Bedienmannschaft der Fa. MM Kanal-Rohr-Sanierung GmbH erfolgreich eingesetzt. Dabei konnte das Bedienpersonal den gesamten dafür erforderlichen Verfahrensablauf vollkommen umsetzen. Kurzfristige Problemstellungen wurden vor Ort gelöst und die UV-C-Desinfektionsmaßnahme konnte damit dann in einer 300 m langen DN 80-PE-Rohrleitung erfolgreich durchgeführt werden. Laut Herstellerangaben könnten damit sogar bis zu 500 m Rohrleitungslängen in einem Verfahrensdurchlauf behandelt werden.

7.3 Weiterführende Untersuchungen

Die Versuche, die im Rahmen dieser Masterarbeit mit dem Prototyp des L.E.S.S. durchgeführt wurden, konnten alle abgeschlossen werden und mit dem Versuch 8 dann schließlich doch auch noch eine eindeutige Wirksamkeit des L.E.S.S.-Verfahrens in einer mit Fäkalkeimen kontaminierten Trinkwasserleitung nachgewiesen werden.

Für eine weitere Bestätigung der Wirksamkeit des L.E.S.S.-Verfahrens werden weitere Feldversuche an kontaminierten Leitungsabschnitten empfohlen und am besten dort, wo auch schon eine Chlorung zur Desinfektion des Leitungsabschnittes erforderlich sein würde. Diese Art von Feldversuchen konnten leider witterungsbedingt während der Bearbeitung dieser Masterarbeit nicht mehr recherchiert und durchgeführt werden. Dabei sollte dann auch der erforderliche Beprobungsumfang dem einer Chlorung des Leitungsabschnittes entsprechen, um die beiden Verfahren dann auch entsprechend miteinander vergleichen zu können.

Literaturverzeichnis

- APA (2023) Faktencheck | Hilft UV-Strahlung bei der Desinfektion? [online] <https://apa.at/faktencheck/hilft-uv-strahlung-bei-der-desinfektion/> (Zugegriffen 5. Februar 2023).
- Auckenthaler A. & Huggenberger P. (Hrsg.) (2003) *Pathogene Mikroorganismen im Grund- und Trinkwasser: Transport - Nachweismethoden - Wassermanagement*, Birkhäuser, Basel Berlin.
- Baur A., Fritsch P., Hoch W., Merkl G., Rautenberg J., Weiß M., Wricke B., Mutschmann J., & Stimmelmayer F. (2019) *Mutschmann/Stimmelmayer Taschenbuch der Wasserversorgung*, Springer Vieweg, Wiesbaden [Heidelberg].
- BfS B. für S. (2023) UV-C-Strahlung zur Desinfektion. Bundesamt für Strahlenschutz. [online] https://www.bfs.de/DE/themen/opt/anwendung-alltagstechnik/uv/uv-c-strahlung/uv-c-desinfektion_node.html (Zugegriffen 5. Februar 2023).
- EUR-OP A. für V. der E. U. (2023) Trinkwasser – wesentliche Qualitätsstandards. Trinkwasser – wesentliche Qualitätsstandards. [online] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:4499769> (Zugegriffen 17. März 2023).
- Feuerpfeil I. & Botzenhart K. (Hrsg.) (2008) *Hygienisch-mikrobiologische Wasseruntersuchung in der Praxis: Nachweismethoden, Bewertungskriterien, Qualitätssicherung, Normen*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Fuchs G., Schlegel H. G., & Eitinger T. (Hrsg.) (2007) *Allgemeine Mikrobiologie: 53 Tabellen*, Thieme, Stuttgart.
- G. Gunkel, K. Ripl, M. Scheideler, U. Michels (2023) Invertebraten im Trinkwasser. TU Berlin Universitätsverlag. [online] <https://verlag.tu-berlin.de/produkt/978-3-7983-2575-3/> (Zugegriffen 6. Februar 2023).
- Gruber G. (2022) Begleitende Fotodokumentation - L.E.S.S.
- Gujer W. (2007) *Siedlungswasserwirtschaft: mit 84 Tabellen*, Springer, Berlin Heidelberg.
- Kölle W. (2004) *Wasseranalysen - richtig beurteilt: Grundlagen, Parameter, Wassertypen, Inhaltsstoffe, Grenzwerte nach Trinkwasserverordnung und EU-Trinkwasserrichtlinie*, Wiley-VCH, Weinheim.
- Korth A., Henning L., & Wricke B. (2007) *Erhöhte Koloniezahlen im Trinkwasserverteilungssystem – Ursachen und Gegenmaßnahmen*, DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW), Karlsruhe.
- LessTec AG (2020) L.E.S.S. UV-Desinfektionssystem für Trinkwasserleitungen, Verfahrenshandbuch. [online] www.lesstec.ch.

- LessTec AG (2022) LessTec AG. [online] <https://lesstec.ch/services.html> (Zugegriffen 1. Dezember 2022).
- ÖLMB B. für S. Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz (2007) Österreichisches Lebensmittelbuch - Codexkapitel / B1 / Trinkwasser.
- ÖVGW Ö. V. für das G. W. (2019) Fachinformation WI 12 - Pseudomonas aeruginosa - Bedeutung für die Trinkwasserhygiene.
- ÖVGW Ö. V. für das G. W. (2012) Richtlinie W 55 - Behälter- und Rohrnetzhygiene.
- ÖVGW Ö. V. für das G. W. (2023) Unser Trinkwasser | Österreich. Unser Trinkwasser. [online] <https://www.unsertrinkwasser.at/> (Zugegriffen 19. Februar 2023).
- TWV, Bundesministerium für soziale S. und G. (2001): Trinkwasserverordnung, Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich BGBl. II Nr.304/2001.
- TWV, Bundesministerium für soziale S. und G. (i. d. g. F.): Trinkwasserverordnung i. d. g. F., Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich BGBl. II Nr.304/2001, letzte Änderung: BGBl. II Nr. 362/2017. [online] <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20001483> (Zugegriffen 12. Februar 2023).
- VWMS GmbH (2019) *ColiMinder - Drinking Water Applications*,
- VWMS GmbH (2023) ColiMinder: online real-time bacterial water quality monitoring system. VWMS. [online] <https://www.coliminder.com/> (Zugegriffen 21. Februar 2023).