UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR WIEN
University of Natural Resources
and Life Sciences, Vienna

Masterarbeit

Beitrag zu einer systemischen Analyse der Auswirkungen einer Pandemie, wie z.B. COVID-19, auf die Abwasserwirtschaft und den Gewässerschutz

verfasst von

Elisabeth HAMPEL, BSc

im Rahmen des Masterstudiums

Kulturtechnik und Wasserwirtschaft

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieurin

Wien, Februar 2023

Betreut von:

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Ertl Thomas

Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz
Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt

Diese Arbeit wurde am

Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz

des

Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt

der

Universität für Bodenkultur Wien

unter der Betreuung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Ertl Thomas

Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz
Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt

erstellt.

Matrikelnummer 01541484

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere an Eides statt, dass ich diese Masterarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Gedanken, die im Wortlaut oder in grundlegenden Inhalten aus unveröffentlichten Texten oder aus veröffentlichter Literatur übernommen wurden, sind ordnungsgemäß gekennzeichnet, zitiert und mit genauer Quellenangabe versehen.

Die vorliegende Arbeit wurde bisher weder ganz noch teilweise in gleicher oder ähnlicher Form an einer Bildungseinrichtung als Voraussetzung für den Erwerb eines akademischen Grades eingereicht. Sie entspricht vollumfänglich den Leitlinien der Wissenschaftlichen Integrität und den Richtlinien der Guten Wissenschaftlichen Praxis.

Wien, 16.02.2023 Elisabeth HAMPEL *(eigenhändig)*

Vorwort und Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde am Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz unter der Betreuung von Herrn Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Ertl Thomas erstellt. Diesem möchte ich an dieser Stelle besonderen Dank aussprechen für die tatkräftige Unterstützung und die fachlichen und methodischen Hilfestellungen bei der Durchführung der Forschungsarbeit. Zudem möchte ich mich für die Vernetzung mit Ansprechpartner*innen und Einladungen zu diversen themenrelevanten Webinaren, Nachbarschaftstreffen oder Seminaren sowie für die Bereitstellung von Arbeitsbehelfen bedanken. Danke, dass Sie über den langen Weg hinweg so geduldig mit mir waren und mit meinen Bedürfnissen achtsam umgegangen sind.

Ebenso möchte ich speziell Herrn Fimml (AIZ-Abwasserverband) und Herrn Fladischer (Wasserverband Mürzverband) für die Bereitstellung von Datenmaterial und Auskünften meinen Dank aussprechen. Neben diesen namentlich erwähnten Ansprechpartner*innen stand ich im Zuge dieser Forschungsarbeit mit vielen Personen in Kontakt und möchte hier all jenen, die sich für meine Anfragen Zeit genommen haben, danken.

Herrn Dr.-Ing. Dieter Schreff (IB Schreff) möchte ich meinen besonderen Dank aussprechen, der mit seiner Expertise und einem sehr guten Arbeitsklima maßgeblich an meinem Interesse und Knowhow im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft beteiligt ist und mir über die Jahre hinweg viel Vertrauen und Entfaltungsmöglichkeiten entgegengebracht hat.

Ein herzlicher Dank geht auch an meinen Partner, der mir mit seiner liebevollen Art viel Halt gegeben hat und an meine lieben Freund*innen, die mich bei der Genese dieser Masterarbeit unterstützt haben, die Arbeit Korrektur gelesen haben und mir wichtige Denkanstöße zu meinen Überlegungen gegeben haben.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie, insbesondere meinem Papa und meiner bereits verstorbenen Mama, für die Unterstützung meines Werdeganges bedanken.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung i

Vorwort und Danksagung ii

Inhaltsverzeichnis iii

Kurzfassung v

1. Einleitung 1

2. Zielsetzung und Aufgabenstellung 3

3. Allgemeine Grundlagen 5

3.1 Überblick und Publikationen zur pandemischen Situation in Österreich 5

3.2 Rechtliche und technische Grundlagen 9

3.2.1 Störfallvorsorge im Abwasserbetrieb 9

3.2.2 Pandemie-Notfallpläne und Informationen 10

3.2.3 Legislative Grundlagen des industriellen und gewerblichen Einflusses auf die Abwasserwirtschaft und den Gewässerschutz 12

3.2.4 Gewässerschutz und Monitoring 12

3.3 Spurenstoffemissionen und deren Eintragspfade 13

3.4 Virusinfektion durch Abwasser - Humanes Gefährdungspotential 15

4. Methoden und Material 17

4.1 Methoden 17

4.1.1 Wahl der Methode 17

4.1.2 Konzeptuelles Modell 17

4.1.3 Stoffflussanalyse 19

4.1.4 Modellerstellung 22

4.2 Material – Grobanalyse und Systemdefinition 23

4.3 Material – Detailanalyse 1 (Konzeptuelles Modell) 23

4.3.1 Analyse der Industrie 23

4.3.1.1 Einfluss auf EGW und Gewässerzustand 24

4.3.1.2 Auswirkung von Produktengpässen 26

4.3.2 Analyse der Veränderungen im Gewerbe 27

4.3.2.1 Fettaufkommen 27

4.3.2.2 Zulieferkette 29

4.3.3 Analyse der Veränderungen durch die Ausgangsbeschränkungen 31

4.3.3.1 Ausgangs- und Reisebeschränkungen 31

4.3.3.2 Externes Personal 34

4.3.3.3 Internes Personal 35

4.3.3.4 Analyse der Schadstoffbelastung durch die Reduktion des Verkehrs 37

4.3.4 Analyse der Veränderungen im Gesundheitswesen 39

4.3.4.1 Röntgenkontrastmittel im Abwasser 40

4.3.4.2 Hygiene und Desinfektionsmittel 41

4.4 Material – Detailanalyse 2 (Stoffstromanalyse) 45

4.4.1 Systemdefinition 45

4.4.2 Verwendetes Datenmaterial und Datenaufbereitung 47

4.4.2.1 Güterflüsse 47

4.4.2.2 Stoffkonzentrationen 49

5. Ergebnisse und Diskussion 50

5.1 Ursache-Wirkungs-Analyse 50

5.2 Konzeptuelles Modell (Kausalschleifen-Diagramm) 50

5.3 Veränderung der abwasserrelevanten Stoffströme aufgrund der COVID-19-Maßnahmen 53
5.3.1 Veränderung der Abwasserquantität, Anlagenbelastung und Temperatur 53
5.3.2 Stoffflüsse und Emissionen in das siedlungswasserwirtschaftliche System 60
5.4 Betriebliche Herausforderungen und Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb mit Empfehlungen 64
6. Schlussfolgerungen und Ausblick 70
7. Zusammenfassung 73
8. Abkürzungsverzeichnis 75
9. Abbildungsverzeichnis 76
10. Tabellenverzeichnis 80
11. Literaturverzeichnis 81
12. ANHANG 92
12.1 Anhang 1: Zusammenfassung der Ergebnisse 92
12.2 Anhang 2: SFA aller untersuchten Spurenstoffe 93
13. Lebenslauf 101

Kurzfassung

Die COVID-19-Pandemie hat einen gesamtheitlichen Einfluss auf das sozio-ökonomische System und verzeichnet seit dem Ausbruch im Frühjahr 2020 weltweit mehr als 6,8 Mio. Todesfälle (WHO, 2021b). Hygiene spielt bei der Bekämpfung einer Pandemie eine entscheidende Rolle, weshalb eine ordnungsgemäße Abwasserreinigung sichergestellt werden muss (Poch et al., 2020). Die vorliegende Arbeit leistet einen Beitrag zur systemischen Analyse von Auswirkungen der COVID-19-Pandemie auf die Abwasserwirtschaft und den Gewässerschutz. Für ein gutes Pandemiemanagement gilt es alle relevanten Aspekte zu berücksichtigen und die besten Maßnahmen zum richtigen Zeitpunkt zu setzen. Die Erstellung eines Causal-Loop-Diagramms mit der Betrachtung der pandemiebedingten Veränderungen in Industrie, Gewerbe, Gesundheitswesen und durch Ausgangsbeschränkungen ermöglicht die Identifikation der Schlüsselstellen und die Visualisierung der komplexen Zusammenhänge der COVID-19-Pandemie im Abwassersektor. Darauf basierend werden die betrieblichen Herausforderungen für die Siedlungswasserwirtschaft herausgearbeitet, welche mit einem Pandemiefall einhergehen. Anhand einer Stoffstromanalyse wird weitergehend für verschiedene Spurenstoffe, v.a. emittiert durch den Verkehrssektor, jeweils die mittlere Stoffbilanz in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend Misch- bzw. Trennkanalisation ermittelt und der Referenzzustand (vor der Pandemie) mit dem Pandemiefall (Annahme: 50 % Verkehrsreduktion über drei Monate) verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Abweichungen mit bis zu max. 9 % an einzelnen Stellen im System marginal sind. Die verwendeten Konzentrationen aus der Literatur weisen jedoch große Schwankungen und Lücken auf, weshalb die Bilanz teils nicht geschlossen werden kann.

Grundsätzlich ist die Abwasserwirtschaft gut durch die Krise gekommen, was auf eine gute Resilienz des Systems und auf die Eigeninitiative der Abwasserbeseitigungsunternehmen zurückzuführen ist.

Abstract

The highly infectious coronavirus, COVID-19, has had a major impact on the global socio-economic system and has caused more than 6.8 million deaths globally since early 2020 (WHO, 2021b). The need to ensure reliable and resilient wastewater services is becoming more critical than ever because of the pivotal role hygiene plays in mitigating the spread of the disease (Poch et al., 2020). This study contributes to a systemic analysis of the COVID-19 pandemic with the investigation of impacts on the wastewater sector and aquatic ecosystems. To identify the best interventions and implement additional measures at the right point of time to reduce negative consequences a causal-loop-diagram of the COVID-19 pandemic is designed to explore its potential transformations in industry, trade, health systems and quarantine measures. This visualization enables the identification of key factors, relations between the sectors and provides a systematic overview of the potential effects of the pandemic on the wastewater system. Subsequently, operational challenges which are connected to a pandemic situation are derived. Based on a substance flow analysis, the average mass balance in an urban water management system with either predominantly combined or separate sewer systems is determined for various trace substances, mainly emitted by the transport sector. The average mass balance is determined for the reference situation (pre-pandemic) and the lockdown situation in the pandemic case (a reduction of 50 % traffic over three months is assumed). The results show a marginal deviation of up to a maximum of 9 % on some points of the system. Because of the high variance of the concentration values given in different literature as well as data gaps, the mass balance cannot be closed.

In principle, the wastewater system has come through the crisis reasonably well, which especially traces back to a resilient wastewater system and the personal initiative of the sewerage facility members.

1. Einleitung

Der Ausbruch der COVID-19-Pandemie im März 2020 stellte und stellt auch weiterhin die Weltwirtschaft und das soziale Gefüge vor erhebliche Herausforderungen. Im März 2021, ein Jahr nach Ausbruch der Pandemie gab es laut Weltgesundheitsorganisation (WHO) bereits weltweit knapp 120 Mio. bestätigte infizierte Personen und mehr als 2,5 Millionen Todesopfer (WHO, 2021b). Damit einhergehende gesetzte politische Maßnahmen haben zu gravierenden gesellschaftlichen Veränderungen geführt. Zum Zeitpunkt des Ausbruchs der COVID-19-Pandemie gab es nur wenig Fachliteratur, welche sich mit den Auswirkungen einer Pandemie auf die Abwasserwirtschaft und den Gewässerschutz befasst. Seit Beginn der Pandemie im Frühjahr 2020 wird zwar zunehmend geforscht, jedoch sind auch mehr als zwei Jahre nach Ausbruch der Pandemie noch viele Fragen offen.

Eine unzureichende Versorgung mit sauberem Trinkwasser und eine mangelnde Entsorgung von Abwasser haben in den vergangenen Jahrhunderten zu hygienischen Missständen geführt und folgend Seuchen und Pandemien ausgelöst.

Die Entwicklung der Kanalisation von Wien beginnt etwa schon ab dem Jahr 100 n.Chr. Römische Soldaten errichteten zu dieser Zeit ein auch heute noch anmutendes Kanalsystem, welches in Folge zu einem tragfähigen Abwassernetz ausgebaut wurde. Infolge der Eroberung des Wiener Raumes durch die Hunnen im 4. Jahrhundert n.Chr. wurde die Abwasserentsorgung fast vollständig zerstört. Im Zuge einer zunehmenden Bebauungsdichte und einem Anstieg der Bevölkerung im Mittelalter reichte die Wasserführung in den offenen Kanälen nicht mehr aus, um die fortlaufend zunehmende Menge an Fäkalien abzutransportieren. Hochwasserereignisse setzten die faulenden Abfälle frei und führten zu gravierenden hygienischen Problemen und folgend zu wiederkehrenden Seuchen. Erst als die Choleraepidemie Anfang des 19. Jahrhunderts mehr als 2000 Todesopfer forderte, wurden die Pläne zum Ausbau der Wiener Kanalisation umgesetzt. Dabei wurde eine Einwölbung der offenen Gerinne vorgenommen und es entstanden die sogenannten Cholerakanäle: zwei Sammelkanäle entlang des Wienflusses. Damit hatte Wien zu dieser Zeit eine der modernsten Kanalisationen weltweit (Gantner, 2008; Krejci, 2014). Aus den historischen Entwicklungen geht hervor, dass eine funktionierende Abwasserbeseitigung maßgebend dafür ist, den Ausbruch von Krankheiten zu verhindern und einzudämmen. Der Ausbruch der COVID-19-Pandemie ist nicht auf eine unzureichende Abwasserentsorgung zurückzuführen. Es wird aber deutlich, dass es eine zentrale Aufgabe der Daseinsvorsorge ist, im Fall einer Pandemie die Abwasserentsorgung sicherzustellen, um die Bevölkerung vor gesundheitlichen Folgerisiken zu schützen.

Eine Pandemie bezeichnet eine sich rapid ausbreitende, ansteckende Massenerkrankung und ist im Gegensatz zu einer Epidemie nicht regional begrenzt. Eine Virus-Pandemie wird durch ein neuartiges Virus verursacht und ist in der Lage, schwere Erkrankungen hervorzurufen, wobei die Übertragung von Mensch zu Mensch gegeben ist. Durch die Neuartigkeit des Erregers gibt es zu Beginn keine Antikörper in der Bevölkerung. Die hohe Anzahl an Erkrankten innerhalb eines begrenzten Zeitraumes können die Gesundheitssysteme eines Staates überlasten (RKI, 2009).

Die Krankheit COVID-19 ist eine durch den Krankheitserreger SARS-CoV-2 (Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2) verursachte Infektionskrankheit. Die Atemwegserkrankung trat erstmals im Dezember 2019 in der chinesischen Metropole Wuhan, in der Provinz Hubei, auf. Nach der Entwicklung zu einer Epidemie in der Volkrepublik China erklärte die WHO im März 2020 den COVID-19-Ausbruch zu einer Pandemie (WHO, 2021a). Laut Robert Koch-Institut (RKI) verbreitet sich das Virus hauptsächlich über Tröpfcheninfektion und Aerosole, also über die respiratorische Aufnahme virushaltiger Flüssigkeitspartikel (RKI, 2021).

Durch die Neuheit einer Pandemie solchen Ausmaßes in Österreich in der postindustriellen Zeit ist das Ursachen-Wirkungs-Gefüge wissenschaftlich noch unzureichend erfasst. Aufgrund der politisch gesetzten Maßnahmen, welche gesellschaftliche und wirtschaftliche Einschränkungen, Schließungen öffentlicher und privater Einrichtungen und die partielle Verhängung von

Quarantäne bzw. Ausgangsbeschränkungen beinhalteten, liegt die Hypothese eines damit einhergehenden Impacts auf den Abwassersektor und den Gewässerschutz nahe.

Diese Umstände haben zur Motivation der vorliegenden Arbeit geführt. Anhand einer detaillierten Analyse der sozio-ökonomischen Veränderungen und den damit einhergehenden Änderungen der Stoffströme können vorbeugend für eine mögliche zukünftige Pandemie oder einer nächsten Welle effiziente Maßnahmen gesetzt werden.

2. Zielsetzung und Aufgabenstellung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen Beitrag zur systemischen Analyse der Auswirkungen einer Pandemie, wie z.B. der COVID-19-Pandemie, auf die Abwasserwirtschaft und den Gewässerschutz zu leisten (s. Abbildung 1).

Das Bestreben liegt darin, eine Übersicht der Einflüsse einer Pandemie, respektive der Lockdown-Maßnahmen, auf die Abwasserwirtschaft und den Gewässerschutz darzustellen und anhand dessen die Abwasserbranche sowie die Bevölkerung zu sensibilisieren, um bei einem erneuten Ausbruch einer Seuche vorbereitend Maßnahmen setzen zu können. Es sollen Kenntnisse darüber gewonnen werden, inwiefern und in welchem Ausmaß die Abwasserwirtschaft und der Gewässerschutz von den Lockdown-Maßnahmen während der COVID-19-Pandemie zwischen März 2020 und Mai 2021 betroffen waren. Ziel ist es in Zukunft besser vorbereitet zu sein und Maßnahmen gezielter, rascher und effizienter setzen zu können, um die Abwasserentsorgung in jedem Fall aufrechtzuerhalten.

Forschungsfrage 1: Welche Methode ist für diese systemische Analyse geeignet?

Für die vorliegende systemische Analyse wird anhand eines Auswahlverfahrens ein konzeptuelles Modell erstellt, welches über ein Kausalschleifen-Diagramm (engl. Causal-Loop-Diagram (CLD)) visualisiert wird. Dieses Modell wird zu einer quantitativen Stoffstromanalyse (SFA) weiterentwickelt. Den Untersuchungsgegenstand stellen die durch die Pandemie hervorgerufenen Veränderungen in der Gesellschaft dar.

Forschungsfrage 2: Wie haben sich die Stoffströme der Abwasserwirtschaft aufgrund der COVID-19-Maßnahmen verändert?

In der vorliegenden Arbeit werden mögliche Veränderungen abwasserrelevanter Stoffströme und des Gewässerzustandes in Folge der Lockdown-Maßnahmen untersucht. Das Intervall und der Zeit-Skalen-Effekt des Monitorings sind hierbei entscheidend.

Zu beantworten sind eine Auswahl der folgenden Fragen:

- Sind die maßgebenden Stoffströme niederschlagswasser- oder schmutzwasserbürtig?
- Hat sich der Gewässerzustand aufgrund der Lockdown-Maßnahmen bzw. aufgrund der sozio-ökonomischen Veränderungen durch die Pandemie verändert und welche Auswirkungen hatten die Lockdowns auf die Abwasserqualität und -quantität? Was sind relevante Parameter und wie werden diese gemessen?
- Ist das derzeitige Monitoring bzw. die Datenlage ausreichend zur Beantwortung dieser Fragen? In welchen Bereichen müssen verstärkt Daten erhoben werden?

Anhand dieses Beitrags werden Schlussfolgerungen ausgearbeitet. Dazu wird das Ursachen-Wirkungs-Gefüge auf die Stoffströme der Abwasserwirtschaft näher betrachtet.

Forschungsfrage 3: Welche Maßnahmen können Betreiber*innen von Abwasseranlagen zur Vorsorge einer Pandemie setzen?

Hierbei wird auf folgende Fragestellungen näher eingegangen:

- Welche Probleme und Störfälle sind im Betrieb von Abwasseranlagen aufgetreten und wie kann damit umgegangen werden?
- In welchen Bereichen der Abwasserwirtschaft wurden bereits Maßnahmen getroffen und wo besteht Verbesserungsbedarf?
- Welche Maßnahmen sollten zur Vorsorge eines Pandemiefalls im Anlagenbetrieb von Abwasserbeseitigungsunternehmen getroffen werden?

Im Zuge dieser Studie soll auf Grundlage der durch die COVID-19-Pandemie hervorgerufenen Veränderungen herausgearbeitet werden, in welchen Bereichen der Abwasserwirtschaft bereits ausreichende Maßnahmen getroffen werden und in welchen noch Verbesserungsbedarf besteht. Dabei gilt es die relevanten Parameter zu identifizieren. Zudem wird eine Beschreibung der Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb mit überblicksmäßigen Empfehlungen für Kanalunternehmen und Kläranlagenbetreiber*innen zur Vorsorge einer Pandemie als Teil der systemischen Analyse aufgeführt.

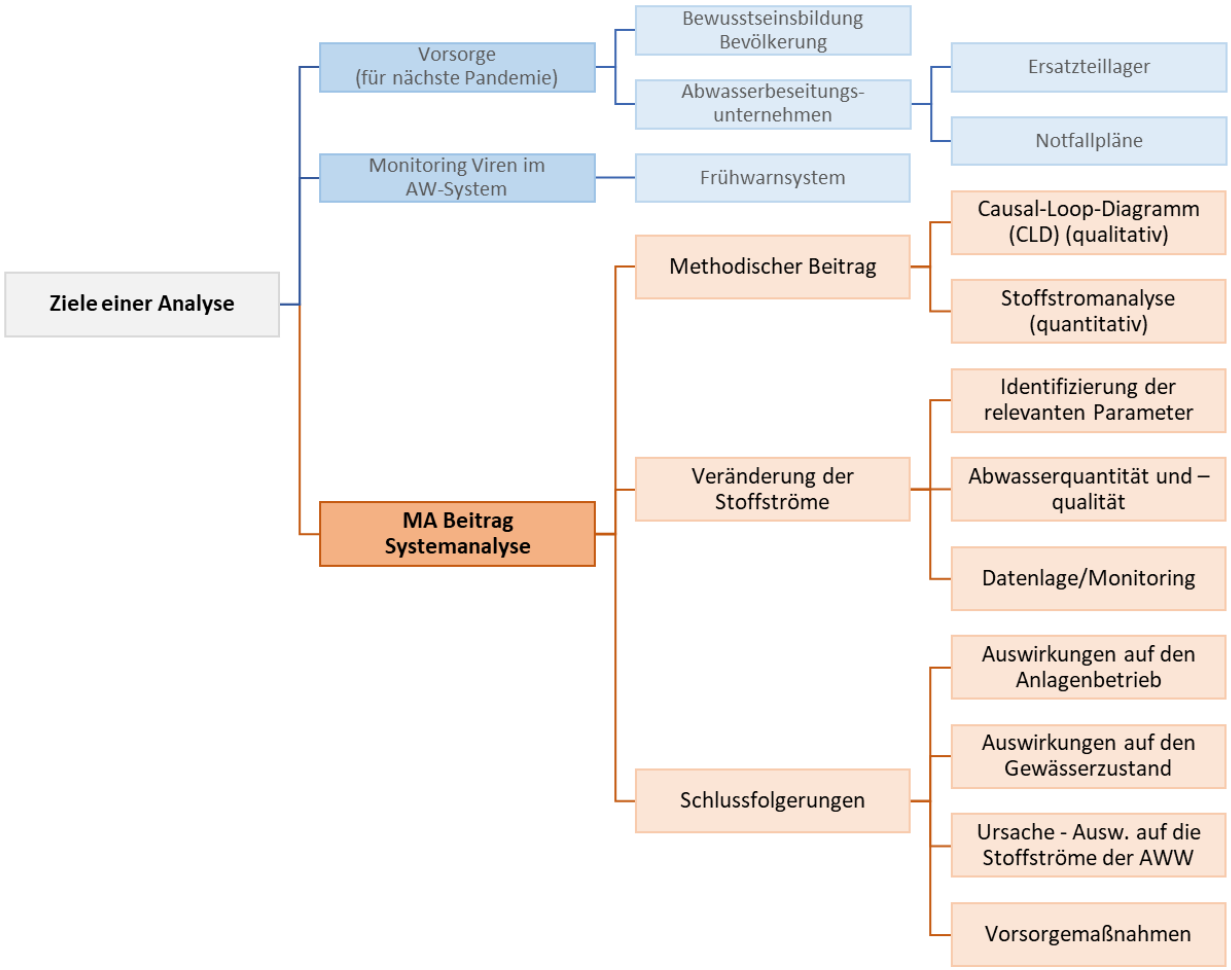

Abbildung 1 Teilbeiträge der Masterarbeit zu einer systemischen Analyse der Auswirkungen einer Pandemie, wie der COVID-19-Pandemie, auf die Abwasserwirtschaft und den Gewässerschutz (Eigene Darstellung)

Zunächst werden in Kapitel 3 die allgemeinen Grundlagen beschrieben. Dabei werden die Situation in Österreich dargestellt und die aktuellen Regelwerke angeführt. Zusätzlich werden die Rechts- und Datengrundlage und der Umgang mit Störfällen im Abwassersektor beschrieben. Das Kapitel 4 beschäftigt sich mit der Vorgehensweise, die oben beschriebenen Ziele zu erreichen. Die für die systemische Analyse wichtigen methodischen Grundlagen werden dabei erläutert, um damit die gesellschaftlichen Veränderungen durch die Lockdowns auf die Abwasserwirtschaft und den Gewässerschutz auszuwerten. Im Kapitel 5 werden dann die Ergebnisse diskutiert und zusammengefasst. Zuletzt werden in Kapitel 6 aus den gewonnenen Erkenntnissen Schlussfolgerungen ausgearbeitet und das Potenzial für weiterführende Untersuchungen aufgezeigt. In Kapitel 7 werden die wesentlichen Bestandteile der Arbeit zusammengefasst.

3. Allgemeine Grundlagen

3.1 Überblick und Publikationen zur pandemischen Situation in Österreich

In Österreich wurden am 25.02.2020 die ersten beiden Coronavirus-Fälle gemeldet (ORF, 2020b). Am 11.03.2020 wurde die Ausbreitung der Krankheit von der WHO dann zur Pandemie erklärt (WHO, 2020). Ein Jahr später, im März 2021, gab es in Österreich bereits rund eine halbe Mio. laborbestätigte Fälle (AGES, 2021). Der Ausbruch einer Pandemie, wie die der Coronavirus-Krankheit (COVID-19), ist in diesem Ausmaß erstmalig in der heutigen Zeit. Seit dem Ausbau und der Modernisierung der Abwasserwirtschaft, wie man sie auch heute noch vorfindet, gab es keine vergleichbare Situation.

Durch die Neuheit der Krankheit existierten zu Beginn der Pandemie weder Medikamente noch ein Impfstoff. Die erste Corona-Schutzimpfung in Österreich kam im Dezember 2020 auf den Markt, wobei bis Dezember 2021 rund 74 % der impfbaren Bevölkerung einen bis dahin vollständigen Impfschutz (2 Impfstoffdosen) erhielten (BMSGPK). Da die Impfung aber hauptsächlich vor einem schweren Verlauf der Krankheit schützen soll, Impfdurchbrüche[1] jedoch möglich sind und die Medikation der Krankheit bis dato noch unsicher ist, gilt nach wie vor die Priorität der Vermeidung einer Ansteckung, um vor allem das Gesundheitssystem nicht zu überlasten und die Kapazität der freien Intensivbetten nicht zu überschreiten. Die wesentlichen Schutzmaßnahmen bestehen daher in der räumlichen Distanzierung der Menschen zueinander und einer ausreichenden (persönlichen) Hygiene (WHO, 2021a).

Folglich verhängte die Österreichische Bundesregierung ab dem 16.03.2020 sukzessive Ausgangsbeschränkungen (1. Lockdown), um die Ausbreitung des Coronavirus in Österreich einzudämmen. Der zeitliche Verlauf der Infektionszahlen eines Virus erfolgt meist wellenartig. Ein sogenannter Lockdown bezeichnet ein Bündel unterschiedlicher Maßnahmen zur Unterbrechung der Infektionsketten, bestehend aus Abstandsregeln, Kontakt- und Ausgangsbeschränkungen sowie der Schließung öffentlicher und privater Einrichtungen. Dieses Maßnahmenpaket hat sich im Fall der COVID-19-Pandemie sowohl regional (Bezirks- bis Bundesebene), als auch zeitlich (Dauer und Zeitpunkt) und von Lockdown zu Lockdown unterschieden. Schwer vergleichbar sind daher die Lockdown-Folgewirkungen.

Folgend sind, beispielhaft anhand des zweiten Lockdowns in Wien im November 2020, überblicksmäßig die Maßnahmen, die das öffentliche Leben umfassend verändert haben, aufgelistet (s. Abbildung 2). Dabei wird deutlich, dass die Einschränkungen in die meisten Bereiche des öffentlichen und privaten Lebens eingegriffen haben. All jene Einschränkungen können die Abwassermengen und -zusammensetzung beeinflussen und werden daher in Kapitel 3.3, nach Eintragspfaden aufgeschlüsselt, näher betrachtet.

Die während der Pandemie geltenden Rechtsvorschriften in Österreich basieren auf dem Epidemiegesetz von 1950 und dem COVID-19-Maßnahmengesetz. In der COVID-19-Maßnahmenverordnung des Bundesministers für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz (BMSGPK) sind die Maßnahmen, die zur Bekämpfung der Verbreitung von COVID-19 ergriffen wurden, verankert. Die Regelungen zu jedem Zeitpunkt der Pandemie sind detailliert in der COVID-19-Schutzmaßnahmenverordnung zu finden. Für die Analyse der Auswirkungen einer Pandemie auf die Abwasserwirtschaft und den Gewässerschutz sind die einzelnen Parameter dieser Maßnahmen entscheidend.

[1] rund 40 % der symptomatischen laborbestätigten SARS-CoV-2 Infektionsfälle waren laut AGES in der KW42-45 2021 Impfdurchbrüche (AGES, 2021a)

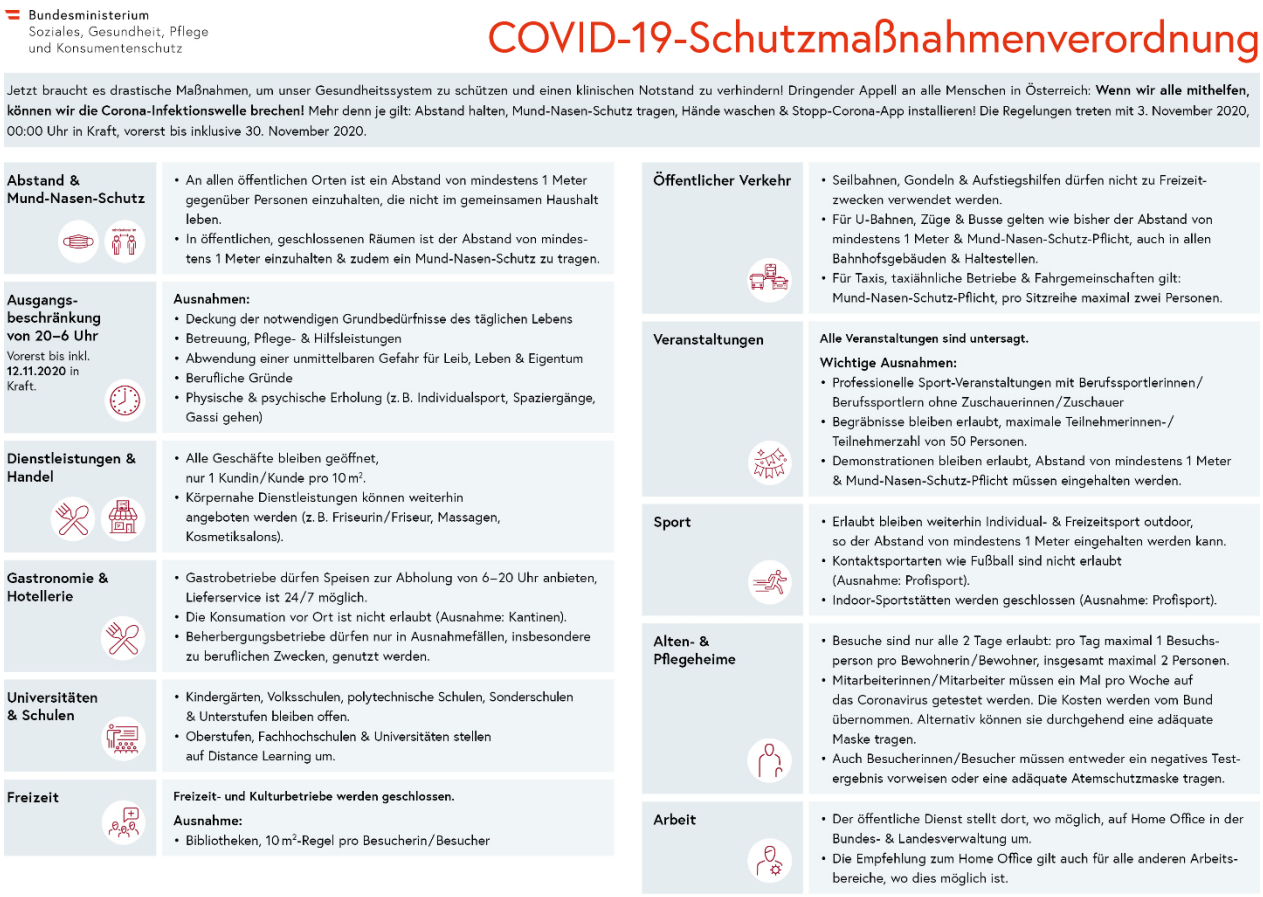

Abbildung 2 Maßnahmen der COVID-19-Schmutzmaßnahmenverordnung für den 2. Lockdown im November 2020 in Wien (BMK, 2020b)

Abbildung 3 zeigt die wichtigsten Schritte der COVID-19-Schutzmaßnahmenverordnung in Österreich im Zeitraum März 2020 bis Juli 2021. Die epidemiologische Kurve ist hinterlegt. In rot ist der Beginn des jeweiligen Lockdowns bzw. der Ausgangsbeschränkungen markiert. Diese Kurve stellt die tatsächliche Anzahl an positiv getesteten Personen pro Tag in Österreich dar und visualisiert damit die Ausbreitungsdynamik der Pandemie im Zeitverlauf. Zu beachten ist, dass die Fallzahlen in der Graphik nicht in Relation zu der Anzahl an durchgeführten Testungen stehen.

Diese Art von Krisenfall brachte eine große Verunsicherung in der Bevölkerung mit sich. Um einen ersten Überblick über den siedlungswasserwirtschaftlichen Sektor im Umgang mit der COVID-19-Pandemie zu erlangen, wurde von Lindtner und Neunteufel (2020) im Sommer 2020 ein Stimmungsbild zur Krisenbewältigung in der Siedlungswasserwirtschaft erhoben. Zur Informationsgewinnung wurden bereits bestehende Informationen der Interessensvertretungen Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach (ÖVGW) und Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) herangezogen und telefonische Interviews mit Betreiber*innen (Wasserversorgungsunternehmen (WVU), Abwasserbeseitigungsunternehmen (ABU)) und mit Bediensteten der Ämter der Landesregierungen durchgeführt. Daraus geht hervor, welche Veränderungen durch die pandemische Situation von Seiten der Interviewpartner*innen wahrgenommen und welche Erfahrungen gemacht wurden. Es konnte ein Handlungsbedarf für künftige Krisensituationen aufgezeigt sowie Maßnahmen zur Bewältigung künftiger Krisen vorgeschlagen werden (Lindtner und Neunteufel, 2020).

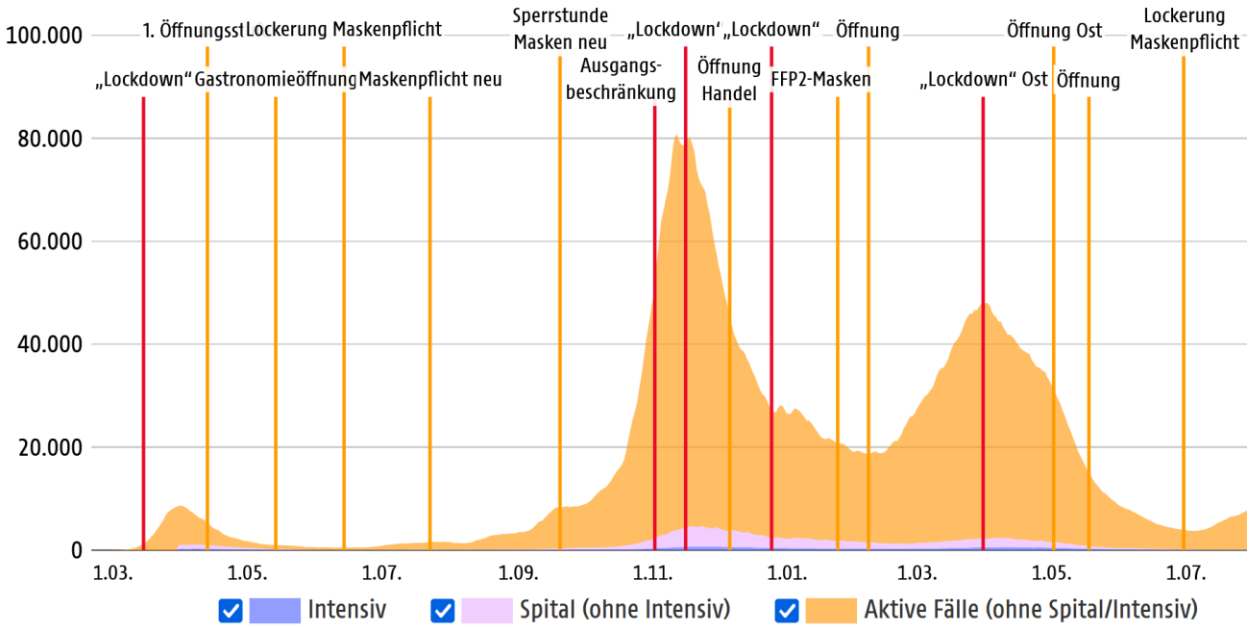

Abbildung 3 Wichtige Schritte der pandemischen Maßnahmen in Österreich zwischen März 2020 und Juli 2021 hinterlegt mit der epidemiologischen Kurve (ORF, 2021)

Im Rahmen einer Pilotstudie im Auftrag des BMLRT zur Untersuchungen der Pandemieauswirkungen anhand des Abwassers von kommunalen Kläranlagen mittels Non-Target-Analytik von Hartmann et al. (2020) wurde geprüft, ob und in welchem Ausmaß sich die gravierenden Änderungen in Gesellschaft und Wirtschaft, hervorgerufen durch die Lockdown-Maßnahmen, in Untersuchungen des Abwassers nachweisen lassen und welchen Einfluss diese Änderungen möglicherweise auf die aquatische Umwelt haben. Es war davon auszugehen, dass die Umweltbelastung durch Industrie, Betriebe und geringeren Individualverkehr während der Pandemie zum Teil vermindert wurde. Neben einem signifikant geänderten Wasserverbrauch (BMLRT, 2020; zit. bei Hartmann et al., 2020) vermuteten die Autor*innen der Studie, dass zugleich das geänderte Bewegungs- und Konsumverhalten der Bevölkerung zu einer Änderung beispielsweise im Verbrauch an Haushaltschemikalien (z.B. von Seifen, Desinfektionsmitteln, Waschmitteln, Haushaltsreinigern) oder von Arzneimitteln (z.B. von Antibiotika, Schmerzmitteln und Psychopharmaka) geführt haben könnte (Hartmann et al., 2020). Dabei zeigte sich, dass insbesondere hinsichtlich Arzneimittelwirkstoffen und Drogen sowie deren Metaboliten eine Änderung des Vorkommens im kommunalen Abwasser im Vergleich zum Untersuchungszeitpunkt vor der COVID-19-Pandemie identifiziert werden konnte.

Zur Darstellung der Konsequenzen der COVID-19-Pandemie auf die Siedlungswasserwirtschaft werden folgend zwei Publikationen vorgestellt. Forschung zu Zuverlässigkeit, Resilienz und Nachhaltigkeit von Wassermanagement in Bezug auf die COVID-19-Pandemie wurde von Lawson et al. (2021) mit Hilfe des sogenannten “Safe and SuRe intervention framework“- Ansatzes bearbeitet. Dieser Ansatz von Butler et al. (2017; zit. bei Lawson et al., 2021), welcher ursprünglich auf der Voraussetzung basiert, dass urbane Wasseranlagen so konzipiert sind, dass diese einen sicheren („Safe“) Service leisten, wird adaptiert, um in Zeiten von unbekannten, auftauchenden Gefahrenquellen, einen Übergang zu resilienten und nachhaltigen Systemen zu ermöglichen und eine umfassende Anpassung des Betriebs zu erreichen. Dieses theoretische Modell liefert eine Darstellungsweise der Beziehungen zwischen einer Gefahr und deren Auswirkungen und ermöglicht die Identifikation von Eingriffen, welche die Belastbarkeit des Systems steigern würden. Zur Ausführung der Bewertung der Auswirkungen wurde im zweiten Schritt eine qualitative Methode, das sogenannte Ripple Effekt Mapping (REM), angewendet. In einem Prozessdiagramm stellt dieses REM die Verknüpfungen zwischen den Kompartimenten hierarchisch dar (s. Abbildung 4).

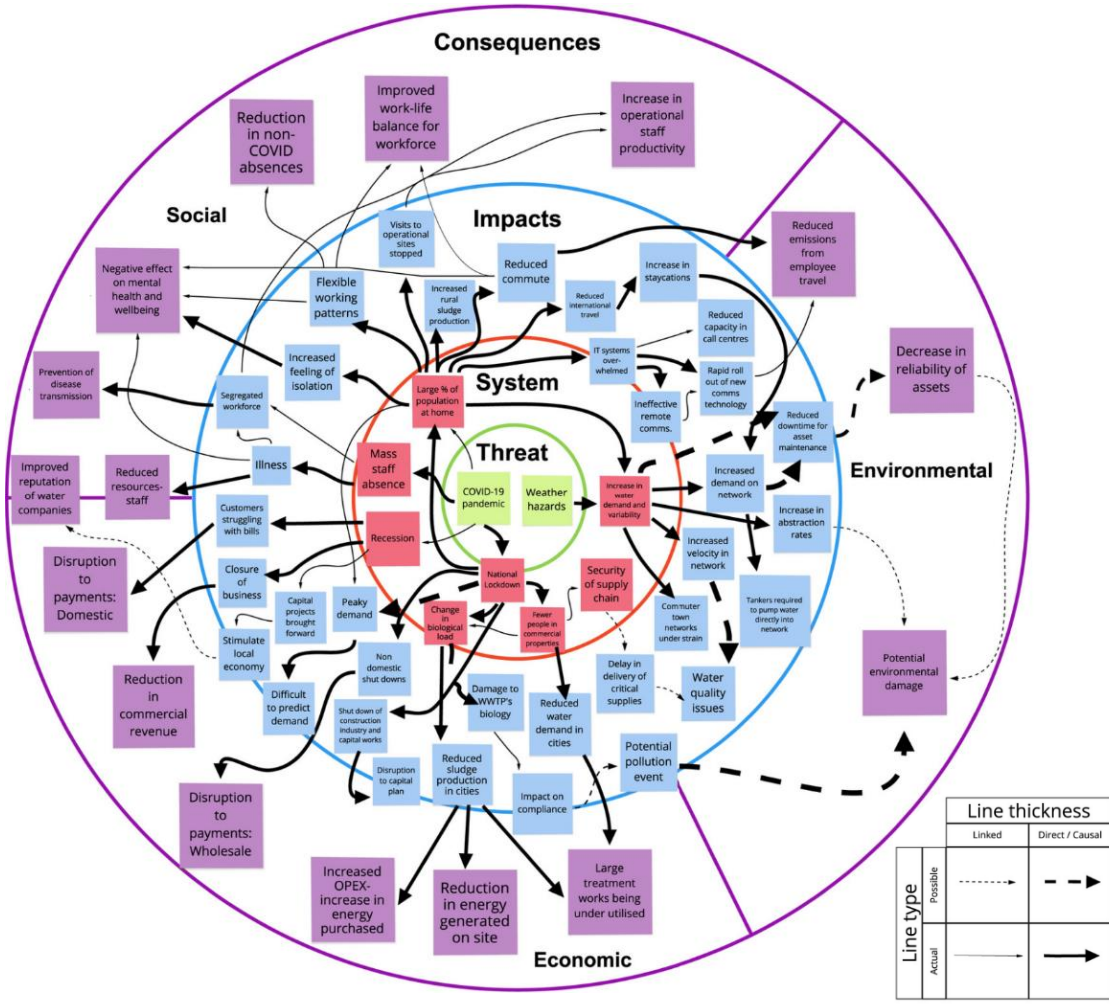

Abbildung 4 Ripple Effekt Mapping (REM) zur Darstellung der Konsequenzen der COVID-19-Pandemie auf das betriebliche System des Wassersektors in UK (Lawson et al., 2021)

Um die Komplexität der Pandemie ganzheitlich abbilden zu können, bedarf es einer Methode, die auch Wechselwirkungen und Rückkopplungen inkludiert. Diese Aspekte hat Sahin et al. (2020) mitberücksichtigt und anhand der CLD-Methode einen Systemansatz umgesetzt, der die Veränderungen durch die COVID-19-Pandemie in den Bereichen Gesundheit, Wirtschaft, Umwelt und Soziales miteinander verknüpft (s. Abbildung 5). Anhand von diesem Schaubild lassen sich die einflussreichsten Punkte leicht identifizieren, um in Folge die effektivste Strategie zur Maßnahmensetzung anzuwenden. Auch Zalengera et al. (2021) hat diese Methode angewendet, um den Einfluss der COVID-19-Pandemie auf den Energiesektor darzustellen. Diese Methode wird in der vorliegenden Analyse übernommen und speziell auf das System „Abwasser“ angewendet.

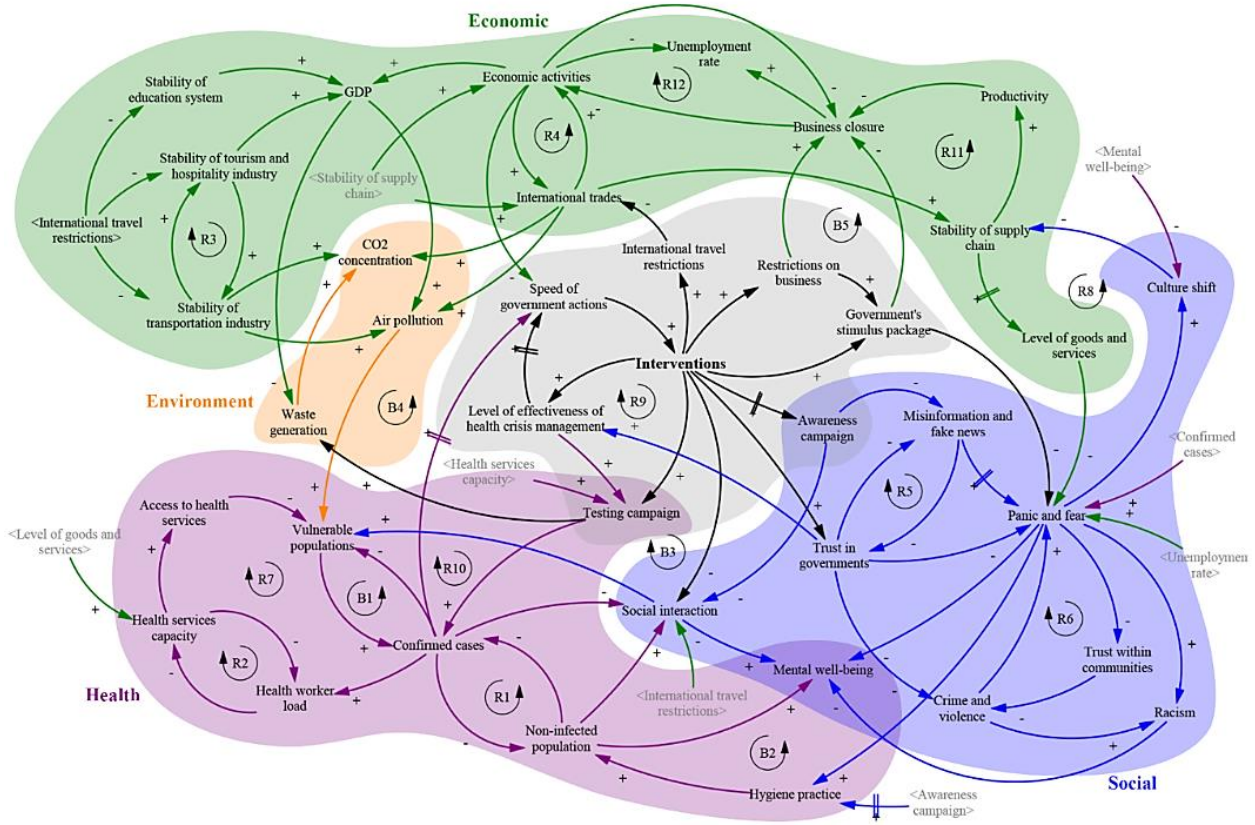

Abbildung 5 CLD zur Demonstration der Komplexität der Auswirkungen der COVID-19-Pandemie mit den Systemkomponenten Umwelt, Gesundheit, Gesellschaft und Wirtschaft (Sahin et al., 2020)

3.2 Rechtliche und technische Grundlagen

3.2.1 Störfallvorsorge im Abwasserbetrieb

Der Wasserkreislauf ist charakterisiert durch seine inhärente Komplexität, Variabilität und Unsicherheiten aufgrund der damit verbundenen sozialen, natürlichen und bautechnischen Subsysteme (Dunn et al., 2017; Makropoulos und Savić, 2019; zit. bei Poch et al., 2020). Jeglicher Einfluss auf eines dieser Subsysteme kann die Stabilität des gesamten Systems beanspruchen oder beeinträchtigen. Zur Sicherstellung der permanenten Aufrechterhaltung der Abwasser-entsorgung sind gesetzliche Vorgaben und technische Grundlagen wie Regelwerke zur allgemeinen Störfallvorsorge im Abwasserbetrieb vorhanden. Störfälle haben unterschiedliche Entstehungsquellen, wobei externe Ursachen (u.a. Klima und Wetter, Technik, Naturgefahren) von internen Ursachen (u.a. Technik, Personal) unterschieden werden. Dabei variieren die Auftretenswahrscheinlichkeit und das Ausmaß des Störfalls stark. Eine Epidemie oder Pandemie wird demnach den externen Störfällen zugeordnet. Das Wiederkehrintervall für eine Pandemie im Ausmaß der Spanischen Grippe oder auch der COVID-19-Pandemie liegt gleichermaßen bei rund 400 Jahren, Tendenz steigend (Marani et al., 2021). Positiv zu bewerten ist, dass sich eine Pandemie im Gegensatz zu einem Blackout oder einem AKW-Unfall ankündigt und deshalb rechtzeitig entsprechende Maßnahmen ergriffen werden können.

Rechtliche Grundlagen für die Abwasserreinigung bilden die gültigen Verbandsatzungen, Gesetze und erlassenen Bescheide. Nach §25 des Arbeitsbehelfs 59 des ÖWAV (2019) muss für jede Anlage ein Sicherheitskonzept vorliegen. Dieses soll gewährleisten, dass alle Aspekte der Sicherheit berücksichtigt werden und für mögliche Gefahrenquellen und Wahrscheinlichkeiten entsprechende Einsatzpläne und Abwehrmaßnahmen vorliegen.

Die Sicherheitsmaßnahmen sollen in einer vernünftigen Relation zu den möglichen Risiken stehen (ÖWAV 2019). In den Regelblättern RB32 (2016) und RB18 (2014) des ÖWAV sind weiters die Sicherheit von Abwasserableitungsanlagen und die Sicherheit auf Abwasserreinigungsanlagen (ARA) verankert.

Im Störfall sind ARA gemäß §14(3) Umweltinformationsgesetz, BGBL.Nr. 495/1993 verpflichtet, Störfallinformationen an die betroffene Öffentlichkeit sowie die sachlich zuständige(n) Behörde(n) unaufgefordert herauszugeben. Dabei muss unaufgefordert über die Gefahren und Auswirkungen sowie über die notwendigen Verhaltensmaßnahmen im Störfall in geeigneter Weise informiert werden (BMF 1993).

Konkret bedeutet das beispielsweise im Fall des Abwasserverbands Achental-Inntal-Zillertal (AIZ), dass Vorsorge über ein modernes computergestütztes Steuerungs-, Prozessleit- und Protokollierungssystem (mit angedockter automatischer Alarmierungseinrichtung für den Bereitschaftsdienst) sowie regelmäßige Wartung und Inspektion getroffen werden, so dass interne Störfälle, insbesondere eine Gewässerverunreinigung durch mangelhafte Abwasserreinigung oder Explosionen von Faulgas-Luftgemischen vermieden werden können. Deshalb wird die ARA von gezielt ausgebildetem und geschultem Fachpersonal betrieben und rund um die Uhr überwacht. Für das Monitoring werden verschiedene modernste technische Hilfsmittel eingesetzt (Amor, 2008).

Allerdings können auch Störungen des Kläranlagenbetriebes durch Ereignisse außerhalb des Kläranlagengeländes oder außerhalb des Einflussbereiches des Kläranlagenbetreibenden ausgelöst werden, z.B. durch Eindringen von Mineralölprodukten in die Kanalisation aufgrund von Verkehrsunfällen oder durch unzulässiges Einleiten von Schadstoffen, die den Kläranlagenbetrieb beeinträchtigen. Durch entsprechende Überwachungsmaßnahmen wird jedoch seitens der ABU, wie im Fall des AWV Hall in Tirol – Fritzens, versucht, solche Faktoren möglichst frühzeitig zu erkennen, um schadstoffbegrenzende Gegenmaßnahmen im Rahmen des Kläranlagenbetriebes setzen zu können. Störungen können grundsätzlich durch ein Meldesystem signalisiert werden. Es ist jedoch erforderlich, dass das verantwortliche Personal über das erforderliche Fachwissen und die notwendige Ausrüstung zur Behebung von Störungen verfügt. Grundlage für die Vorgangsweise im Störfall ist die Betriebsordnung der jeweiligen ARA (Callegari, 2018).

3.2.2 Pandemie-Notfallpläne und Informationen

Am 8. April 2020 wurde zudem ein gemeinsames Dokument des BMSGPK, BMLRT und BMI zur Klarstellung der systemrelevanten Unternehmen im Zusammenhang mit der Lebensmittelproduktion veröffentlicht. Demnach sind alle Unternehmen und Betriebe entlang der Lebensmittelkette (Lebensmittelproduktion sowie alle vorgelagerten und nachgelagerten Bereiche) zur Aufrechterhaltung der Grundbedürfnisse des öffentlichen Lebens erforderlich und gelten daher als systemrelevante Infrastruktur. Zu den Tätigkeiten im Bereich der Lebensmittelproduktion, gehören sowohl die Versorgung mit Trinkwasser als auch die Entsorgung von Abwasser (BMLRT et al., 2020). Das Kanalwesen sowie die öffentliche Versorgung mit Wasser gehören laut Strafgesetzbuch §74 zur kritischen Infrastruktur in Österreich, die Abwasserbeseitigung demnach jedoch nicht (RIS, 2020).

Für Betreiber*innen abwassertechnischer Anlagen existiert bis dato keine bundesweite Regelung, wie in einem Pandemiefall zu handeln ist. Informationen und Empfehlungen zum Coronavirus SARS-CoV-2 erhalten Abwasserbetriebe seit Anfang März 2020 über die Homepage des ÖWAV und per E-Mail über den ÖWAV. Diese basieren auf Recherchen und Expert*innengesprächen seitens des ÖWAV und werden durch die im Frühjahr 2020 neu gegründete Task Force COVID-19 & Abwasser, einer interdisziplinären Arbeitsgruppe bestehend aus der Interaktion der Fachgruppe Qualität und Hygiene und Fachgruppe Abwassertechnik und Gewässerschutz, getragen.

Der ÖWAV verweist im Fall der COVID-19-Pandemie insbesondere auf das ÖWAV-Regelblatt 405 zu „Arbeitshygienische und arbeitsmedizinische Richtlinien für Abwasseranlagen" sowie auf das ÖWAV-Hygiene-Merkblatt für das Betriebspersonal von Abwasseranlagen (Farnleitner und Ertl, 2022). Weitere Informationen erhalten Kanal- und Kläranlagenbetreiber*innen auf Landesebene. Jedoch sind diese Informationen nach Aussage von Kanal- und Kläranlagenbetrieben sehr allgemein gehalten und entsprechen nur Empfehlungen (Lindtner und Neunteufel, 2020).

Folgend sind einige Informationsquellen und Regelwerke für ABU aus dem deutschsprachigen Raum aufgelistet:

- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA):

  Der DWA-Fachausschuss BIZ-4 „Arbeits- und Gesundheitsschutz“ hat eine Mustervorlage für einen Pandemieplan erstellt, der von den Betreiber*innen abwassertechnischer Anlagen unterschiedlicher Größenordnung auf die eigenen Verhältnisse angepasst werden kann und auf der Homepage des DWA abrufbar ist. Darin soll die Frage geklärt werden, welche Pandemiemaßnahmen Betreiber*innen abwassertechnischer Anlagen ergreifen können, um sowohl die Gesundheit der Beschäftigten bestmöglich zu schützen als auch die Funktionsfähigkeit der Abwasseranlagen sicherzustellen. Es wird über Schutzmaßnahmen informiert, welche bezgl. der Gefährdung durch das Coronavirus SARS-CoV-2 bei Arbeiten in abwassertechnischen Anlagen beachtet werden sollen. Die Arbeitnehmer*innen erhalten zudem Informationen über ein mögliches erhöhtes berufsbedingtes Infektionsrisiko mit SARS-CoV-2 (DWA, 2022b, 2020b, 2020a).

  https://de.dwa.de/de/pandemiemassnahmen-in-abwasserbetrieben.html
  https://de.dwa.de/de/schutzmassnahmen-corona-virus.html
  https://de.dwa.de/de/gefaehrdung-durch-coronavirus.html

- Bayern:

  Das Referat für kommunale und häusliche Abwasserbehandlung des Bayerischen Landesamts für Umwelt hat Hinweise für den Betrieb von Abwasseranlagen in Bayern während der COVID-19-Pandemie herausgegeben (Bayrisches Landesamt für Umwelt (Referat 67), 2020).

  https://www.lfu.bayern.de/wasser/corona_abwasser/doc/hinweise_zu_betrieb_ueberwachung.pdf

- Baden-Württemberg:

  Das Handbuch betriebliche Pandemieplanung des Landesgesundheitsamts Baden-Württemberg existiert bereits seit Dezember 2010. Darin sind ein Leitfaden und Checklisten für die Pandemieplanung enthalten (Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg und Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, 2010).

  https://www.dguv.de/medien/inhalt/praevention/themen_a_z/biologisch/pandemieplanung/handbuch-betriebl_pandemieplanung.pdf

- Schweiz:

  Das 2009 erschienene Regelwerk „GW1003: Pandemieplan: Handbuch für die betriebliche Vorbereitung mit spezieller Berücksichtigung des Falles einer Grippepandemie (Influenzapandemie) in Gas- und Wasserversorgungen“ ist ein Handbuch für die betriebliche Vorbereitung auf Pandemiefälle und soll den Gas- und Wasserversorger*innen eine bestmögliche Unterstützung zur Lösung der anfallenden Aufgaben bieten (SVGW 2009).

  https://www.wasserversorger.at/files/media/downloads/News/Pandemieplan%20Handuch%20fuer%20betriebliche%20Vorbereitung.pdf.pdf

3.2.3 Legislative Grundlagen des industriellen und gewerblichen Einflusses auf die Abwasserwirtschaft und den Gewässerschutz

Industrielles Abwasser ist nach 91/271/EWG, der Richtlinie über die Behandlung von kommunalem Abwasser, als Abwasser aus Anlagen für gewerbliche oder industrielle Zwecke, soweit es sich nicht um häusliches Abwasser und Niederschlagswasser handelt, definiert (Europäische Union 1991). In Anhang I C dieser Richtlinie ist zudem festgelegt, dass industrielles Abwasser, das in Kanalisationen und kommunale Abwasserbehandlungsanlagen eingeleitet wird, so vorbehandelt werden muss, dass es folgende Anforderungen erfüllt:

- Die Gesundheit des Personals, das in Kanalisationen und Behandlungsanlagen tätig ist, darf nicht gefährdet werden.
- Kanalisation, Abwasserbehandlungsanlagen und die zugehörige Ausrüstung dürfen nicht beschädigt werden.
- Der Betrieb der Abwasserbehandlungsanlage und die Behandlung des Klärschlamms dürfen nicht beeinträchtigt werden.
- Ableitungen aus den Abwasserbehandlungsanlagen dürfen die Umwelt nicht schädigen oder dazu führen, dass die aufnehmenden Gewässer nicht mehr den Bestimmungen anderer Gemeinschaftsrichtlinien entsprechen.
- Es muss sichergestellt sein, dass der Klärschlamm in umweltverträglicher Weise sicher beseitigt werden kann.

In der Richtlinie 91/271/EWG sind die Anforderungen an biologisch abbaubares Industrieabwasser, das von Betrieben bestimmter Branchen mit mehr als 4.000 EW_{60} direkt in Gewässer eingeleitet wird, geregelt. In Österreich werden vereinzelt kommunale Abwässer in großen Industriekläranlagen mitbehandelt. Von der Richtlinie 91/271/EWG werden allerdings nur kommunale Anlagen und Anlagen von lebensmittelverarbeitenden Industriebranchen (Anhang III der Richtlinie) erfasst (Oftner et al., 2020; Europäische Union 1991).

Laut Branchenbild der österreichischen Abwasserwirtschaft 2020 umfasst die Abwasserreinigung im industriellen und gewerblichen Bereich 44 Kläranlagen mit direktem Ablauf in Gewässer (=Direkteinleiter) mit einer Ausbaukapazität von 10 Mio. EW. Industrie- und Gewerbekläranlagen, die in ein Kanalnetz mit angeschlossener Reinigungsanlage einleiten (= Indirekteinleiter), konnten nach Assmann et al. (2019) aufgrund fehlender Daten nicht separat ausgewiesen werden.

Die Richtlinie 2010/75/EU über die Industrieemissionen, welche auf nationaler Ebene in die Abwasseremissionsverordnung (1. AEV) umgesetzt wurde, legt die Emissionsgrenzwerte fest, welche an dem Ort gelten, an dem das Abwasser aus der Abgasreinigung aus der Abfallverbrennungsanlage und Abfallmitverbrennungsanlage abgeleitet wird (Europäische Union 2010).

3.2.4 Gewässerschutz und Monitoring

Gewässerschutz als Teil des Umweltschutzes ist ein staatliches System von Verordnungen und Gesetzen, welche die Maßnahmen zur Reinhaltung und zum nachhaltigen Schutz stehender und fließender Gewässer sowie des Trinkwassers beinhalten. Den rechtlichen Rahmen für den Gewässerschutz bildet die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) aus dem Jahr 2000, in welcher die Emissions-, Qualitäts- und Überwachungsstandards gesetzt sind. Die EU-WRRL wurde im Jahr 2003 durch die Novelle des Wasserrechtsgesetzes (WRG 1959; BGBl. Nr. 215/1959 idgF) in nationales Recht überführt. Zur Verwirklichung der Ziele und Grundsätze der WRRL bzw. des WRG (1959) ist von der*dem zuständige*n Bundesminister*in in Zusammenarbeit mit den für die wasserwirtschaftliche Planung der Länder zuständigen Behörden alle sechs Jahre ein Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan (NGP) zu erstellen. Ziel ist eine länderübergreifende und nachhaltige Bewirtschaftung der Ressource Wasser und die Erhaltung der ökologischen Funktionsfähigkeit der Gewässer als Ökosysteme. Zu den zentralen Elementen der Wasserrahmenrichtlinie zählt die Verpflichtung der Mitgliedstaaten zur Einrichtung eines Überwachungsmessnetzes und die Erreichung und Erhaltung des „guten Zustandes“.

Gemäß Wasserrechtsgesetz (1959) sind die zu erreichenden Ziele und die im Hinblick auf das Verschlechterungsverbot maßgeblichen Zustände mittels charakteristischer Eigenschaften sowie Grenz- oder Richtwerten für Oberflächengewässer (§ 30a Abs. 2) näher zu definieren. Durch die Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer (QZV Chemie OG; BGBl. II Nr. 96/2006 idgF) und die Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II 98/2010 idgF) werden Qualitätsnormen festgelegt. Die Aufstellung von Grenzwerten maximaler Stoffkonzentrationen in Gewässern verpflichtet Benutzer*innen und Anwohner*innen, die Gewässer zu erhalten, zu verbessern und zu schützen.

Seit 1991 wird eine Vielzahl an Gütedaten, welche die Qualität der Oberflächengewässer und des Grundwassers abbilden, im Rahmen des staatlichen Gewässerüberwachungsprogrammes bundesweit und regelmäßig nach vorgegebenen Kriterien einheitlich erhoben. Diese ausgewerteten Daten dienen als Grundlage, um Rückschlüsse auf den natürlichen Zustand oder um mögliche Veränderungen durch Nährstoffeinträge oder chemische Schadstoffe ziehen zu können. Die administrative Umsetzung erfolgt anhand der H2O-Fachdatenbank durch das BMLRT in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt und den Ämtern der Landesregierungen. Im Wasserinformationssystem Austria (WISA) können die Ergebnisse der einzelnen Messstellen über die Qualitätsdatenabfrage abgerufen werden (Umweltbundesamt, 2022b, 2022e). Zudem sorgt das Umweltbundesamt mit Ringversuchen zur Wassergüte von Trink-, Grund-, Oberflächen- und Abwasser für Qualitätssicherung (Umweltbundesamt, 2022d).

3.3 Spurenstoffemissionen und deren Eintragspfade

In dem vom BMLRT geförderten Projekt zu Schadstoffemissionen urbaner Siedlungsgebiete aus Kläranlagen, Regen- und Mischwasserentlastungen (SCHTURM) haben Wissenschafter*innen verschiedener Institutionen gemeinsam den Eintrag von Spurenstofffrachten über die unterschiedlichen siedlungswasserwirtschaftlich relevanten Eintragspfade ermittelt, um eine erste Datengrundlage zum Vorkommen von Spurenstoffen über diese Eintragspfade zu erhalten. Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen jeweils die Vielzahl an Eintragspfaden in Oberflächengewässer, wobei in Abbildung 6 ein quellen- und frachtorientiertes und in Abbildung 7 ein eintragspfadorientiertes Schema dargestellt ist. Des Weiteren wurden im Projekt SCHTURM die Frachten zur Identifikation von Haupteintragspfaden von ausgewählten Spurenstoffen verglichen. Dazu wurden die Abwasserströme hydraulisch quantifiziert, der Niederschlagswasser- und Schmutzwasseranfall berechnet und der Niederschlagswasseranfall auf Trenn- und Mischsystem aufgeteilt. Die dafür erhobenen Daten und deren Auswertung dienen u.a. der vorliegenden Studie als Datengrundlage. Die Berechnungsergebnisse dieser Studie für Gesamtösterreich sind in Abbildung 8 als Stoffstrommodell veranschaulicht und geben einen Eindruck über die hydraulische Relevanz der einzelnen Eintragspfade. In den einzelnen Fließpfeilen sind die jeweiligen Abflussmengen sowie deren Fehlerbandbreite (Schwankungsbereich) dargestellt. Je dicker ein Pfeil ist, desto größer ist die jeweilige Abflussmenge (Clara et al., 2014). Für die folgende Analyse werden die qualitativen und quantitativen Veränderungen der Straßenabflüsse sowie des Schmutzwassers genauer betrachtet (lila markierte Pfade in Abbildung 8). Zusätzlich dient der Projektbericht „Zukünftige stoffliche und mikrobiologische Herausforderungen für die kommunale Siedlungswasserwirtschaft (SIWAWI)“ von Zessner et al. (2022), in welchem eine umfassende Analyse der gegenwärtig und zukünftig zu erwartenden Belastungen der kommunalen Siedlungswasserwirtschaft erfolgte, als Grundlage für die nachfolgende Stoffstromanalyse.

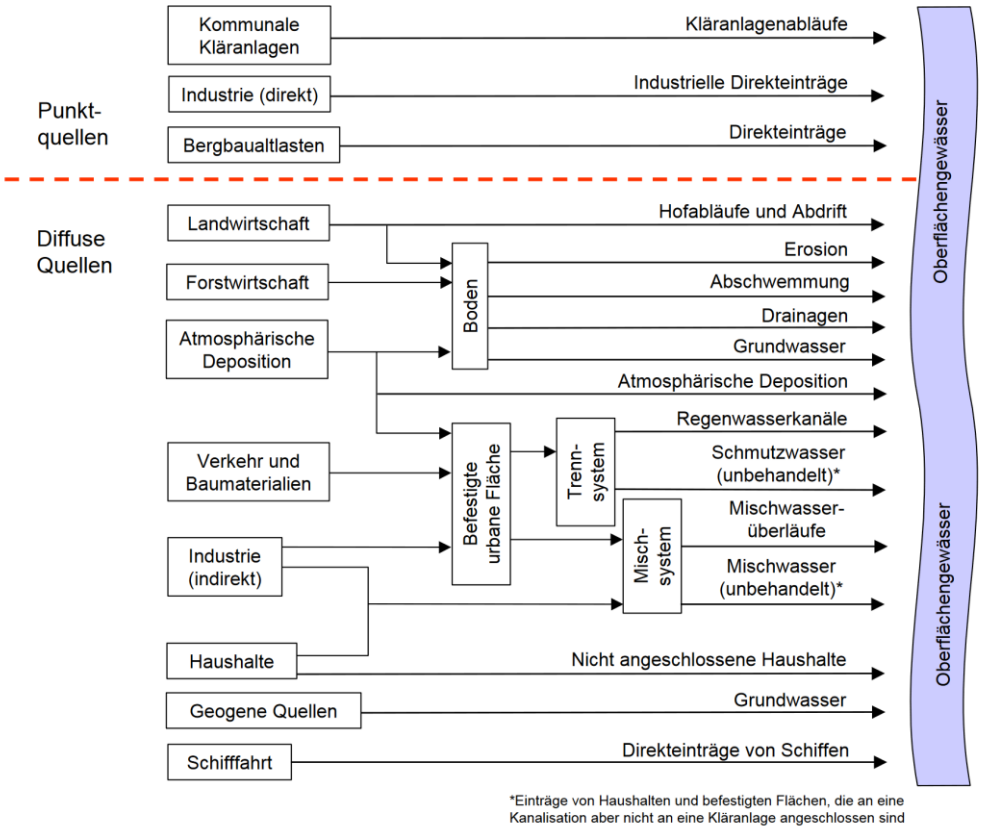

Abbildung 6 Quellen- und frachtorientierte Darstellung der Eintragspfade für Stoffe in Oberflächengewässer (Fuchs et al., 2002)

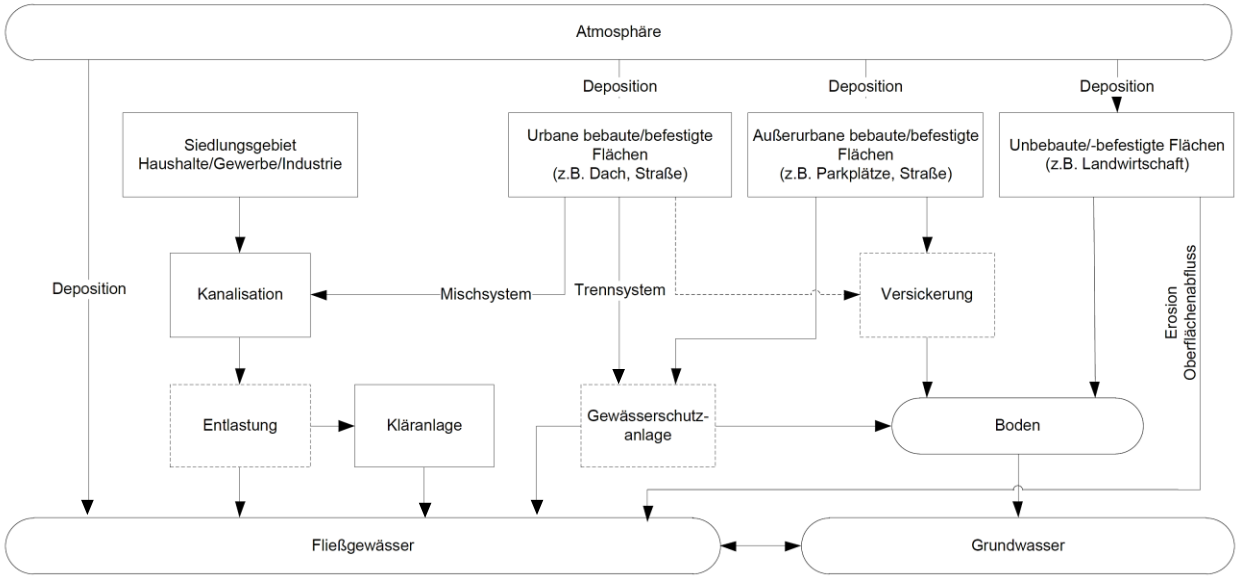

Abbildung 7 Eintragspfadorientierte schematische Darstellung der relevanten Eintragspfade in Grund- und Oberflächengewässer (Clara et al., 2014)

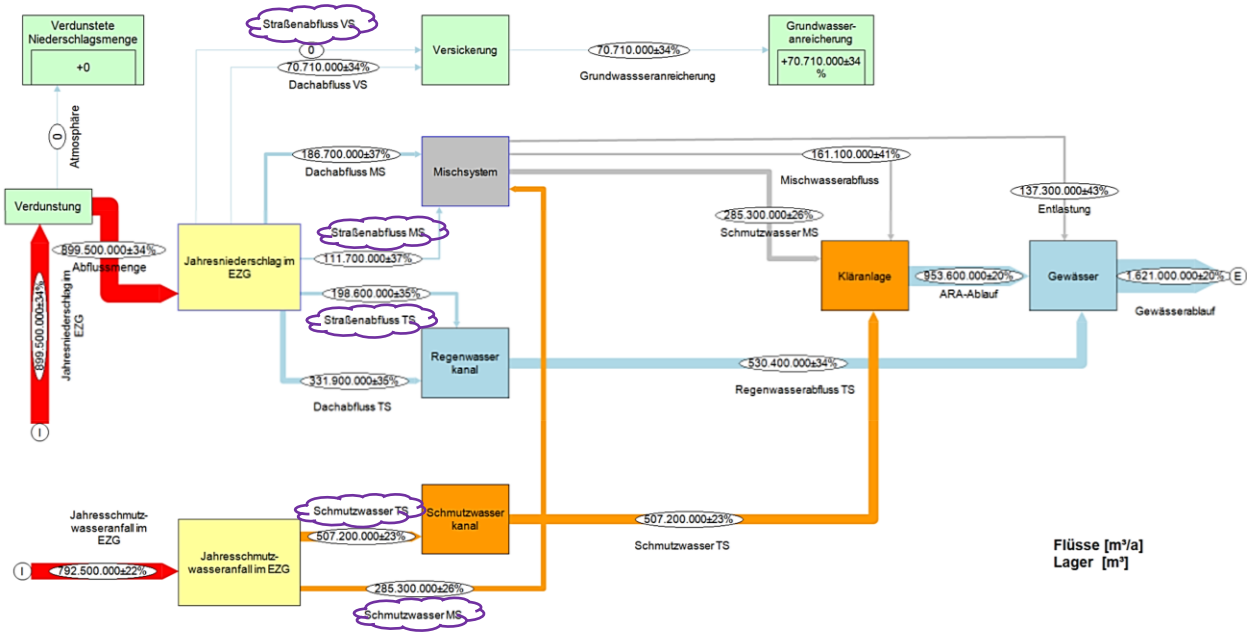

Abbildung 8 Quantifizierung der berücksichtigten Eintragspfade des Grundszenariums für Gesamtösterreich (Clara et al., 2014)

3.4 Virusinfektion durch Abwasser - Humanes Gefährdungspotential

Seit dem Ausbruch der COVID-19-Pandemie wurde der mögliche Übertragungsweg über fäkal kontaminiertes Wasser international in zahlreichen Studien diskutiert (Kitajima et al., 2020). Das Risiko einer Übertragung von SARS-CoV-2 durch den Kontakt mit Abwasser wird von der WHO als gering eingestuft (WHO und UNICEF, 2020). Das Auftreten infektiöser RNA-Fragmente von SARS-CoV-2 kann in kommunalem Abwasser jedoch nicht ausgeschlossen werden. Wie eingangs erwähnt, erfolgt die Übertragung des Erregers vorwiegend über die respiratorische Aufnahme virushaltiger Partikel. Da das Darmepithel einen aktiven Replikationsort von SARS-CoV-2 darstellt, ist eine fäkal-orale Übertragung zu bedenken, da so der Erreger auch über den Stuhl ausgeschieden werden kann (Qian et al., 2021, Wölfel et al., 2020, Zang et al., 2020; zit. bei Zessner et al., 2022). Die Forschungsergebnisse zu diesem Thema sind kontrovers. Manche Studien konnten infektiöses Virus im Stuhl und Urin zumindest in geringen Konzentrationen nachweisen (Wang, 2020; Zhang, 2020; Xiao, 2020; Sun, 2020; zit. bei WHO und UNICEF, 2020), während andere Studien keine infektiösen Fragmente in diesem Medium beobachten konnten (Rimoldi et al., 2020; Westhaus et al., 2020; zit. bei Zessner et al., 2022; Wölfel at al., 2020; zit. bei WHO und UNICEF, 2020). Die Detektion von SARS-CoV-2 durch den Nachweis des Genoms (RNA) mittels quantitativer PCR lässt jedoch keine Rückschlüsse auf die Infektiosität zu (Zessner et al., 2022). Die behüllten RNA-Viren, wie SARS-CoV-2, weisen aufgrund ihrer Morphologie eine geringere Persistenz und Resistenz im Wasser und Abwasser auf als die die bekannten wasserübertragbaren fäkalbürtigen viralen Krankheitserreger ohne Membran (z.B. Adenoviren, Noroviren, Rotaviren, Hepatitis A Viren) (WHO und UNICEF, 2020; Bivins et al., 2020). Aus der Laborstudie von Bivins et al. (2020) zur Persistenz von SARS-CoV-2 in Wasser und Abwasser geht hervor, dass sich die Infektiosität bei Raumtemperatur nach 1,5 Tagen bzw. 1,7 Tagen um 90 % reduziert.

Gholipour et al. (2021) hat in 40 % ihrer Luftproben von ARA virale RNA nachgewiesen und folgerte, dass Aerosole von Abwasser SARS-CoV-2 übertragen könnten. Eine QMR-Analyse (quantitative microbial risk analysis) zeigte zudem, dass ein relativ hohes Risiko einer SARS-CoV-2 Infektion für Arbeiter*innen auf ARA über diesen Infektionsweg besteht. Das jährliche Infektionsrisiko für Arbeiter*innen auf ARA beträgt laut Gholipour et al. (2021) 1.1×10^{-2} bis 2.3×10^{-2} pro

Person und Jahr (PPPY). Dieses Risiko ist damit höher als das von der WHO empfohlene Referenzlevel von 10^{-3} PPPY. Allerdings ist zu beachten, dass die Datengrundlage zu dem Überleben von SARS-CoV-2 im Abwasser lückenhaft ist und die hohe Publikationsgeschwindigkeit bei Ausbruch der Pandemie dazu geführt hat, dass einige Studien mit spärlicher Beschreibung der angewendeten Methoden publiziert worden sind. Fundierte Analysedaten sind jedoch nötig, um die Relevanz der Übertragung von COVID-19 entlang des Abwasserpfades genauer zu ermitteln.

Aufgrund dieser Forschungsergebnisse sind jedoch durch Verdünnungseffekte bereits im Rohabwasser nur geringe Konzentrationen von SARS-CoV-2 im Abwasser zu erwarten. Gemäß den oben aufgeführten aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen ist die Wahrscheinlichkeit einer Übertragung von SARS-CoV-2 über Fäkalien bzw. über Abwasser aufgrund der so weit bekannten, niedrigen Ausscheidungskonzentration im Stuhl und der multiplen Reduktionsbarrieren bei der Abwasserreinigung als gering einzuschätzen.

Ungeachtet dessen sind die einschlägigen arbeitshygienischen und arbeitsmedizinischen Richtlinien für Abwasseranlagen, insbesondere die Hygienevorschriften gemäß ÖWAV-Regelblatt 405 (2016), so ausgelegt, dass sie alle mikrobiologischen Gefährdungen, einschließlich solcher durch Viren, umfassen und effektive und optimal ausgelegte Maßnahmen zur Reduktion der Infektionsrisiken beinhalten. Das konsequente Einhalten der allgemeinen Arbeitsschutzregeln und betrieblichen Hygienemaßnahmen ist auch für den Schutz gegen eine Infektion mit SARS-CoV-2 ausreichend. Das gilt ebenso für die unterschiedlichen SARS-CoV-2-Varianten (z.B. Delta und Omikron) (Farnleitner und Ertl, 2022).

4. Methoden und Material

4.1 Methoden

4.1.1 Wahl der Methode

Für ein gutes Verständnis komplexer, dynamischer Systeme ist der Einsatz der passenden Methodik maßgebend. Die inhomogene Datenstruktur erforderte die Analyse der pandemisch bedingten Veränderungen mit Hilfe qualitativer als auch quantitativer Forschungsansätze.

Auf Vorschlag des Betreuers erfolge die systemanalytische Prozessbeschreibung qualitativ über ein konzeptuelles Modell, das unter der Anwendung eines CLD erstellt wurde. Diese Methode wurde bereits in anderen Publikationen zur Darstellung der komplexen Auswirkungen der COVID-19-Pandemie, u.a. Sahin et al. (2020) und Zalengera et al. (2021), angewendet. In der vorliegenden Analyse wurden ausgehend von den Veränderungen in der Gesellschaft und Wirtschaft, hervorgerufen durch die von der Österreichischen Bundesregierung verhängten Maßnahmen zur Eindämmung der Pandemie zwischen Mitte März 2020 und Mitte Mai 2021, vier zentrale Systembereiche näher betrachtet. Die Veränderungen auf die Abwasserwirtschaft und den Gewässerschutz in den Bereichen Industrie, Gewerbe, Quarantäne und Gesundheitswesen wurden analysiert und ausgewertet.

Zur Quantifizierung einzelner Prozesse wurde das konzeptuelle Modell zu einer quantitativen SFA weiterentwickelt. Die Methode wurde vom Betreuer vorgeschlagen und war aufgrund der Forschungsergebnisse und resultierenden Datenlage aus den beiden österreichischen Projekten SCHTURM (Schadstoffemissionen urbaner Siedlungsgebiete aus Kläranlagen, Regen- und Mischwasserentlastungen) (Clara et al., 2014) und SiWaWi (Zukünftige stoffliche und mikrobiologische Herausforderungen für die kommunale Siedlungswasserwirtschaft) (Zessner et al., 2022) naheliegend zur Untersuchung der in Kapitel 2 formulierten Fragestellung.

4.1.2 Konzeptuelles Modell

Das konzeptuelle Modell wird in den frühen Phasen der Entwicklung von Informationssystemen eingesetzt. Die Ergebnisse der konzeptuellen Datenmodellierung zeigen die Datenobjekte des Systems und ihre Beziehungen zueinander (Rauh und Stickel, 2013). Es ist ein Datenmodell, das die globale, logische Struktur aller mit einem Datenbanksystem erfassten Teilbereiche des Systems, im vorliegendem Fall des Systems „Abwasser“, implementierungsunabhängig beschreibt und diese in einer fassbaren und systematischen Form strukturiert darstellt. Hierbei wird die zu analysierende Problemstellung in einem umfassenden gesellschaftlichen Zusammenhang betrachtet. Identifiziert und bewertet werden dabei

- die Schlüsselstellen für eine funktionierende Abwasserwirtschaft und einen sichergestellten Gewässerschutz sowie
- die damit verbundenen bestehenden und möglichen zukünftigen alternativen Lösungen für diese Probleme (Biemann et al., 2016).

Das konzeptuelle Modell dient der qualitativen Stoffstrombilanzierung. Dabei wurden indirekte Daten verarbeitet, um Rückschlüsse und Abschätzungen treffen zu können.

Für das bessere Verständnis wird folgend ein kurzes Beispiel gebracht: Anhand von Verkehrsdaten kann indirekt die Menge an Reifenabrieb abgeschätzt werden, wodurch Rückschlüsse und Abschätzungen über die Gewässerverschmutzung getroffen werden können.

Mit Hilfe eines dynamischen Systemansatzes und unter Anwendung der CLD-Methode, einem narrativen Visualisierungs-Tool, wird dieses konzeptuelle Modell entwickelt, um die wichtigsten komplexen Vernetzungen zwischen den Systemkomponenten besser zu verstehen und zu vermitteln, wobei der Hauptaspekt darin liegt, verstärkende und reduzierende Effekte im dynamischen System zu lokalisieren und darzustellen.

CLDs vermitteln im Gegensatz zu Ursache-Wirkungs-Diagrammen ein besseres Verständnis der wichtigsten zusammenhängenden Muster und der Rückkopplungen zwischen den wesentlichen Bestandteilen dieser komplexen Systeme, da hier Prozesse, Handlungen und Problemlösungen nicht mehr in einem einseitigen linearen Zusammenhang betrachtet werden, sondern die Wechselbeziehungen sequentiell aufgebaut sind, das heißt es gibt in der Regel geschlossenen Kreisläufe (Rückkopplungen) (Biemann et al., 2016). Systemdynamische Modelle haben nicht das Ziel einer Prognose zukünftiger Ereignisse, sondern sie dienen der Einsicht in die Kausalitäten des Verhaltens und der Zusammenhänge zwischen Ursachen-Wirkungs-Ketten (Milling, 1990). Im Mittelpunkt des systemdynamischen Ansatzes steht nicht die Analyse der kausalen Wechselbeziehungen einer einzelnen Variablen und deren Entwicklung, sondern die verschiedenen interagierenden Variablen in zeitlicher Konsequenz (Schwarz und Ewaldt). Damit werden Interaktionen bzw. Rückkopplungsschleifen aufgezeigt. Als ein analytisches Instrument dienen CLD zur konzeptuellen Diskussion und veranschaulichen überschaubar die Zusammenhänge zwischen einzelnen Einflussvariablen, ohne bereits zwischen Bestands- und Flussgrößen zu differenzieren (Schmidt, 2009).

Abbildung 9 zeigt beispielhaft die wechselseitige Beeinflussung weniger Variablen. Zur Darstellung des unter Kapitel 4.3 analysierten Materials wird dieses CLD in Kapitel 5.2 weiterentwickelt und komplexer ausgeführt. Die Verbindung zwischen zwei Variablen beschreibt eine positive (+) oder negative (-) Polarität. Sie erklärt, wie die abhängige Variable reagiert, wenn sich die unabhängige Variable verändert. Negatives Feedback (-) bedeutet, dass die Änderung einer Variablen zu einer entgegengerichteten Veränderung der darauf reagierenden Variablen führt und impliziert dabei keine Wertung dieser Veränderung. Folgendes Beispiel erläutert die entgegengerichtete Veränderung: Im Fall eines Lockdowns verringert sich die Anzahl der Infizierten durch Kontaktbeschränkung. Unter positivem Feedback (+) ist zu verstehen, dass die Änderung einer Variablen zu einer Veränderung der darauf reagierenden Variablen führt. Die Wirkungsrichtung ist im Gegensatz zum negativen Feedback gleichgerichtet (Schmidt, 2009). Ein Beispiel dafür ist die schnellere Virusausbreitung infolge von hohen Infektionszahlen (s. Abbildung 9).

Zusammenfassend spiegeln die beiden Feedback-Systeme folgendes Verhalten wieder (Schmidt, 2009):

- **(–)** negative Feedback-Systeme: reagieren auf Zielabweichungen und sind zielsuchend; wirken Störungen entgegen, die das System vom gewünschten Zustand abbringen; dienen der Stabilisierung eines dynamischen Systems
- **(+)** positive Feedback-Systeme: symbolisieren Wachstums- und Schrumpfungsprozesse

Neben den positiven und negativen Verbindungen stellen Rückkopplungen strukturgebende Elemente für das dynamische Verhalten eines Systems dar, wobei zwischen

- (R) positiven Rückkopplungsschleifen – R – (reinforcing loops) und
- (B) negativen Rückkopplungsschleifen – B – (balancing loops)

unterschieden wird. Die positive Rückkopplungsschleife – R – (reinforcing loops) des Modells veranschaulicht einen verstärkenden Prozess. In dem Beispiel in Abbildung 9 nimmt die Virusausbreitung mit steigender Infektionszahl zu, was wiederum zu einer Steigerung der Anzahl an infizierten Personen führt. Damit ist diese einfache Rückkopplungsschleife durchlaufen. Negative Rückkopplungsschleifen – B – (balancing loops) haben ein gegensteuerndes, ausgleichendes und stabilisierendes Verhalten im System (Schmidt, 2009). Das Beispiel aus Abbildung 9 zeigt, dass eine hohe Anzahl an infizierten Personen die Wahrscheinlichkeit eines Lockdowns erhöht und ein Lockdown eine Reduzierung der Infektionszahl zur Folge hat.

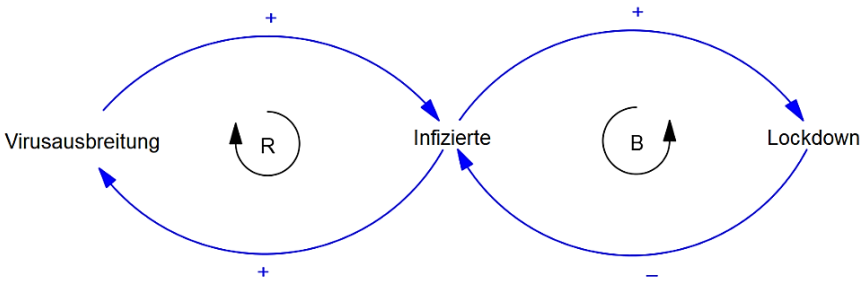

Abbildung 9 Beispiel für ein einfaches Causal-Loop-Diagramm mit Feedback-Systemen (plus und minus) und Rückkopplungsschleifen (R und B) (Eigene Darstellung)

Es kann noch eine weitere Dimensionsebene hinzugefügt werden, die das Verhalten komplexer Systeme so vielschichtig macht: Das Vorhandensein von Verzögerungen im System. Jede Verbindung in einem System enthält eine Verzögerung, die unterschiedlich lang sein kann. Die Virusübertragung von einem Menschen auf den anderen ist beispielsweise im Gegensatz zur Inkubationszeit, also der Zeit zwischen der Ansteckung und dem Auftreten von Krankheitssymptomen, relativ kurz. Verzögerungen gibt es in vier grundlegenden Kategorien: Physisch (Dauer für Ortswechsel / Zustandsänderung), transaktional (Dauer für Transaktion / Vertragsverhandlung), informativ (Kommunikationsdauer zwischen Sender und Empfänger) und wahrnehmungsbezogen (persönliche Aufnahme und Verarbeitung der Information). Diese vier Arten von Verzögerungen sind nicht primär gut oder schlecht einzuordnen, aber der Umgang damit bestimmt, ob diese Probleme verursachen. Die tatsächlichen Verzögerungen im System sind nicht zu unterschätzen, da sie das Verhalten eines Systems unvorhersehbar machen und zu Verunsicherungen führen (Kolmer, 2022; Sahin et al., 2020).

⫽→ Der Verzögerungseffekt wird im graphischen Modell durch einen verstärkenden Pfeil mit zwei parallelen Linien dargestellt.

Die Übertragung dieses qualitativen Modells in Flussdiagramme führt zur Bestimmung der entscheidenden Schlüssel-Komponenten in der Systemstruktur, und zwar zu den Beständen (Stocks) und den Raten (Flows). Diese geben Aufschluss über das dynamische Verhalten des Systems (Schmidt, 2009), benötigen jedoch die Einspeisung quantitativer Daten, die im vorliegenden Fall weitgehend fehlen oder zu ungenau sind.

4.1.3 Stoffflussanalyse

Eine SFA ist eine Methode zur Bilanzierung von Stoffströmen und befasst sich mit der Quantifizierung von Strömen innerhalb eines Systems. Dabei stehen die Mengen und Wege der Stoffflüsse eines Systems im Vordergrund. Die Lokalisierung der Eintragspfade und Entstehungsorte der in diesem Fall abwasserrelevanten Stoffe liegt im Fokus.

Dieses Verfahren schafft eine Grundlage zur Bewertung und Einschätzung der zukünftigen Entwicklung. Gemäß ÖNORM S 2096-1 (2005) dient die SFA zur Identifizierung und Quantifizierung aller relevanten Flüsse von Stoffen in einem zeitlich und räumlich exakt abgegrenzten System sowie der Bilanzierung der Stoffe innerhalb dieses Systems. Dabei wird das Innere als Sujet des Modells und das Äußere zur Rahmenbedingung der Modellumgebung definiert. Ziel ist es dabei, den Fluss der vorab definierten Eintragspfade und Stoffströme nachvollziehbar aufzuzeigen, die Schwachstellen im Pfad zu finden und Optimierungsmaßnahmen zu entwickeln.

Bei einer SFA beschreibt ein Prozess die Umformung, den Transport oder die Lagerung von Gütern und Stoffen. Flüsse, die in einen Prozess hineinfließen, werden als Inputs bezeichnet. Als Outputs werden Prozesse bezeichnet, die hinausfließen, wobei ein Fluss der Bewegung von untersuchten Stoffen zwischen einzelnen Prozessen entspricht. Flüsse besitzen die Einheit Masse pro Zeit und werden auch als „Frachten“ bezeichnet (ÖNORM S 2096-1, 2005; ÖNORM S 2096-2, 2005).

Ziel der SFA ist es, ein Werkzeug mit einer einheitlichen Sprache zu entwickeln, das möglichst universell einsetzbar ist und dessen Ergebnisse zwischen unterschiedlichen Studien verglichen werden können. Der Vorteil der SFA ist, dass ein komplexes System auf die für eine Fragestellung relevanten Güter und Prozesse reduziert werden kann. Durch diese Reduzierung auf das Wesentliche können die problematischen „Hot-Spots“ des Systems leichter identifiziert und Maßnahmen zur Verbesserung gezielt gesetzt werden. Um die Maßnahmen zu optimieren bzw. ihre Effekte auf die zukünftige Entwicklung des Systems zu simulieren, kann die SFA durch eine Szenarioanalyse bzw. durch eine Sensitivitätsanalyse ergänzt werden (Reisinger et al., 2009). Diese Sensitivitätsanalyse soll die Prozesse, Güter- und Stoffflüsse identifizieren, bei welchen das System durch deren Änderung am stärksten reagiert. Dadurch kann festgestellt werden, welche Auswirkung die Änderungen von Parametern auf die Variablen haben, also wie sensitiv diese sind. Hat eine kleine Änderung einer Eingabegröße eine große Veränderung der Variable zur Folge, so ist Sensitivität der Variable groß und reagiert stark auf Unsicherheiten der Parameter (Hellweg et al., 2015).

Eine SFA wird in mehreren aufeinander aufbauenden Arbeitsschritten erstellt (s. Abbildung 10). Demnach ist die Vorgehensweise bei der Durchführung einer SFA nicht linear. Der Ablauf der einzelnen Arbeitsschritte erfolgt vielmehr iterativ. Die detaillierte Beschreibung ist dem ÖWAV-Regelblatt 514 (2003) zu entnehmen. Normativ ist die Vorgehensweise bei einer SFA in der ÖNORM S 2096-1 (2005) und ÖNORM S 2096-2 (2005) geregelt.

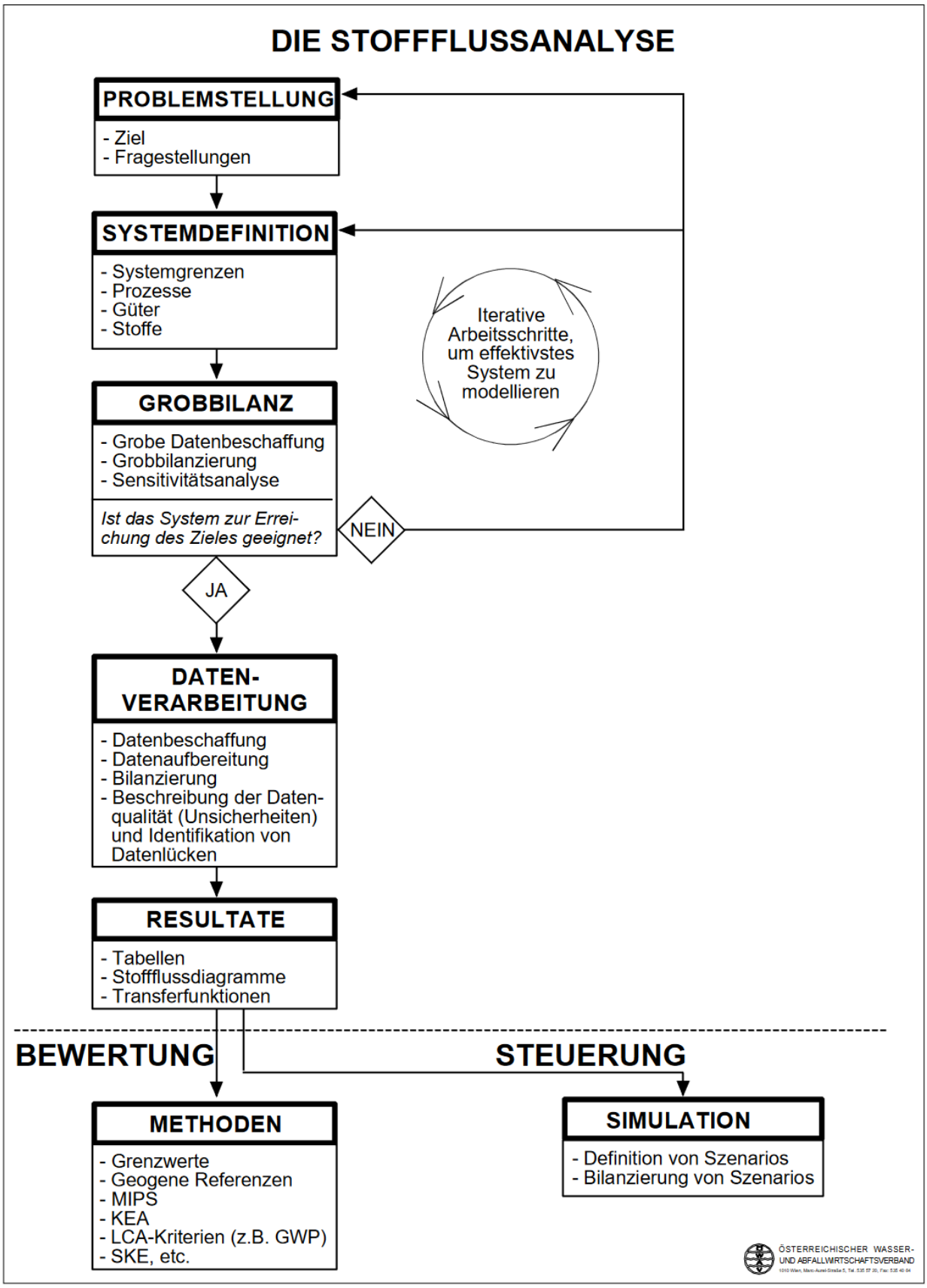

Abbildung 10 Methodisches Vorgehen für die Erstellung einer SFA (ÖWAV 2003)

4.1.4 Modellerstellung

Im Auftrag des Deutschen Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) hat das VDI Zentrum Ressourceneffizienz einen Leitfaden herausgegeben, in welchem sieben Schritte zur methodischen Vorgehensweise der Bearbeitung einer Stoffstromanalyse umgesetzt werden (VDI ZRE GmbH). Dieser wird folgend adaptiert angewendet.

Grobanalyse

1.1. Zieldefinition und Definition der zu betrachtenden Flüsse / Wahl der Parameter
Festlegung des Detaillierungsgrad der Datenerhebung; Durchführung einer methodischen Grobanalyse über die Anwendung eines Ursache-Wirkungs-Diagramms; Festlegung der relevanten Parameter; Identifikation der Schlüsselkomponenten des Systems

1.2. Abgrenzung des Bilanzraumes
Eingrenzung bzw. Festlegung des Betrachtungsgebietes (Betriebe, Haushalte oder auch etwa Regionen betreffend); Welche Prozesse finden innerhalb bzw. außerhalb des zu analysierenden Systems statt?

1.3. Abgrenzung des Bilanzzeitraumes
Festlegung des Untersuchungszeitraums, wobei einzelne Zeiträume konkretisiert betrachtet werden können

Detailanalyse 1: Konzeptuelles Modell (qualitative Analyse)

1.1. Vertiefte Systemanalyse durch ein Kausalschleifen-Diagramm (CLD)
Identifizierung der Ursache-Wirkungs-Beziehungen, Feedbacks und zeitliche Verzögerungseffekte zwischen den Systemkomponenten

1.2. Erfassung und Benennung der Stoffströme
Detaillierte Untergliederung der in der Grobanalyse festgelegten Ströme

Detailanalyse 2: Quantitative Stoffstromanalyse über Massenbilanz

1.3. *Entwurf des Fließbildes*
Das Fließbild gibt wieder, welche Input- und Outputströme im System auftreten und dient einer abgestimmten Gesamtsicht des Systems Abwasser bezogen auf die pandemisch beeinflussten Ströme. Die isolierte Betrachtung in den einzelnen Bereichen lässt sich aufbrechen. Ein gesamtheitliches Verständnis wird dadurch geschaffen und Problemstellungen können so leichter benannt und lokalisiert werden.

1.4. Bestätigung
Test und Validierung

1.5. *Quantitative Erfassung der Stoffströme*
Für jeden dargestellten Stoffstrom des Fließbildes werden die Input- und Outputströme in Masseeinheiten quantifiziert. Die Masseerhaltung (Massenzufluss entspricht -abfluss) ist dabei zu erfüllen.

1.6. Interpretation und Schlussfolgerungen
Die Veränderungen der untersuchten Stoffströme aufgrund der pandemischen Situation werden lokalisiert und diskutiert.

4.2 Material – Grobanalyse und Systemdefinition

Betrachtung der Ursache-Wirkungsbeziehungen

Die Ursache „pandemiebedingter Lockdown“ hat Auswirkungen auf unterschiedliche gesellschaftliche und wirtschaftliche Bereiche. Die betrachteten Komponenten des sozio-ökonomischen Systems sind dabei die Industrie, das Gewerbe, die Ausgangsbeschränkungen („Quarantäne“) und das Gesundheitswesen. Im ersten Schritt wurden die Eintragspfade (s. Abbildung 6 und Abbildung 7) herangezogen und die Wege genauer betrachtet. Dabei wurden alle Pfade auf eine mögliche Veränderung durch einen gesellschaftlichen Wandel im Pandemiefall untersucht. Aus diesen ersten Überlegungen heraus wurde ein Ursache-Wirkungs-Diagramm erstellt.

Bilanzraum

Für die SFA wird das Gesamtsystem, innerhalb dessen die Stoffe bilanziert werden, durch das siedlungswasserwirtschaftliche Einzugsgebiet begrenzt. Inputgrößen sind jene Flüsse, die in die Kanalisation (Niederschlagswasser und Schmutzwasser) gelangen. Ein Output aus dem System geschieht über den Regenwasserkanal, den Mischwasserüberlauf und die ARA.

Bilanzzeitraum

Nach ÖNORM S 2096-2 (2005) beträgt der Systemzeitraum meist ein Jahr. Nachdem in der vorliegenden Analyse die entscheidenden Zeiträume die Lockdown-Phasen sind, wurde für das konzeptuelle Modell der Bezugszeitraum zwischen März 2020 bis Mai 2021 gewählt. Während dieses Zeitraums wurden in Wien drei Lockdowns verhängt, wobei auch zwischen den Lockdowns Teileinschränkungen galten.

- Lockdown 1: 16.03.2020 – 15.05.2020 (ab 14.04. sukzessive Öffnungsschritte)
- Lockdown 2: 03.11.2020 – 08.02.2021
- Lockdown 3: 01.04.2021 – 19.05.2021

Dadurch, dass die Lockdownlängen und -regelungen je Zeitpunkt regional jedoch sehr unterschiedlich ausgefallen sind, wird für die SFA repräsentativ ein Bilanzzeitraum von einem Jahr mit einem 3-monatigem Lockdown angesetzt.

4.3 Material – Detailanalyse 1 (Konzeptuelles Modell)

Die Ursache-Wirkungs-Beziehungen aus Kapitel 4.2 werden nun detaillierter betrachtet. Dabei werden die sogenannten Feedbacks und zeitlichen Verzögerungseffekte zwischen den Systemkomponenten identifiziert. Die differenzierte Betrachtung der Systemkomponenten ermöglicht eine Feststellung der relevanten Parameter.

4.3.1 Analyse der Industrie

Aufgrund der COVID-19-Pandemie kam es zu einer Veränderung der industriellen Produktion als Folge der von der Regierung verhängten Maßnahmen. Es stellt sich die Frage, ob durch das Herunterfahren der industriellen Produktion Auswirkungen auf den Gewässerzustand bzw. auf ARA und Kanal festgestellt werden konnten (s. Abbildung 11).

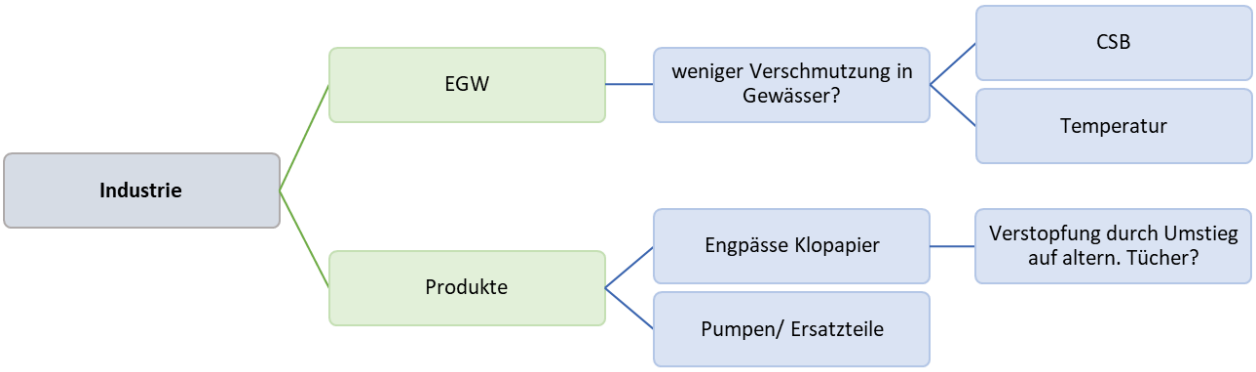

Abbildung 11 Industrielle Veränderungen mit möglicher Folgewirkungen während der COVID-19-Pandemie (Eigene Darstellung)

4.3.1.1 Einfluss auf EGW und Gewässerzustand

Aufgrund der COVID-19-Pandemie kam es zu einer Veränderung der industriellen Produktion als Folge der von der Regierung verhängten Maßnahmen. Folgend wird untersucht, ob durch die Drosselung der Industrie eine Auswirkung auf den Gewässerzustand bzw. eine Veränderung relevanter Parameter auf ARA festgestellt werden konnte. Von Interesse dabei ist, wie sich die Parameter Einwohnergleichwert (EGW), CSB und Temperatur in den Zulaufwerten der Kläranlagen niederschlagen, wenn

- Betriebe geschlossen werden,
- die Produktion gedrosselt wird und / oder
- die Produktion bestimmter Güter stark ansteigt.

Dafür werden beispielhaft zwei Kläranlagen (ARA Strass und ARA Langenwang) herangezogen und die Zu- und Ablaufwerte von CSB und Temperatur im Zeitraum zwischen Frühjahr 2020 und Sommer 2021 im Vergleich der Vorjahre untersucht. Mögliche betriebliche Herausforderungen, die mit einer Änderung der Zulaufmengen und der Anlagenbelastung (nach CSB EW(120)) einhergehen, werden anschließend dargestellt. Über die Zulaufkonzentrationen von Kläranlagen in Österreich, welche mindestens einmal täglich gemessen werden (2-Stunden-Mischprobe bzw. 24-Stunden Mischprobe), gibt es ein gutes Monitoring. Die Daten sind meist auf Anfrage bei Kläranlagenbetreiber*innen erhältlich. Über die Ablaufwerte der ARA kann zusätzlich ein Bild darüber gewonnen werden, welche Immissionsfrachten in das Gewässer gelangen. Der Eintragspfad über Indirekteinleiter kann also gut nachvollzogen werden. Welche Konzentrationen relevanter Parameter über Direkteinleiter in die Gewässer gelangen, ist jedoch unklar. Im Kanalnetz und an den Mischwasserüberläufen gibt es derzeit österreichreichweit kein permanentes flächendeckendes Monitoringsystem.

In weiterer Folge ist zu klären, ob diese Veränderungen der Parameter CSB und Temperatur Konsequenzen für den Zustand eines Oberflächengewässers haben. Bei der Zunahme der physikalisch-chemischen Parameter eines Oberflächengewässers, ergibt sich möglicherweise eine Auswirkung auf den ökologischen und chemischen Zustand eines Oberflächengewässers im Sinne der EU-WRRL. Die typspezifischen Richtwerte, die in Abhängigkeit der Bioregionzuordnung und dem Referenzzustand gesetzt werden, basieren auf der Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer (QZV Ökologie OG) und sind demnach für jedes Einzugsgebiet einzeln zu analysieren. Für eine exakte Analyse gilt es die abwasserrelevanten Branchen zu identifizieren, um so die Eintragspfade und Abwassermengen der Industrie für kommunale Kläranlagen bestimmen zu können. Die Analyse der Veränderung der Abwasserquantität und -qualität abwasserwirtschaftlich relevanter Brachen aufgrund der COVID-19-Maßnahmen stellt jedoch aufgrund von Datenlücken eine große Herausforderung dar. Unklar ist hierbei, welche Betriebe ihre Produktion eingestellt oder die Produktion gedrosselt haben und für welchen Zeitraum dies geschehen ist.

Das Herunterfahren eines Betriebes während einer Pandemie wie der COVID-19-Pandemie ist im Wesentlichen auf folgende Ursachen zurückzuführen:

- Lieferschwierigkeiten der zuliefernden Unternehmen
- Personalmangel aufgrund von Quarantänebestimmungen
- Keine / gedämpfte Nachfrage des Produkts in einer Pandemiesituation

Laut einer Erhebung des Fraunhofer Instituts 2020 zur Modernisierung in der Produktion erlitten 60 % von 237 befragten deutschen Betrieben des Verarbeitenden Gewerbes Produktionseinbrüche gegenüber Vorkrisenniveau, infolgedessen sie auf Kurzarbeit umstellten und ihre Produktion reduzierten. Rund 68 % der Betriebe konnten bis zum Herbst 2020 nicht wieder ihr Vorkrisenniveau erreichen. Bei 22 % blieb die Produktionsmenge unverändert und 10 % der Betriebe verzeichneten sogar einen Anstieg der Produktion, wobei unklar ist, ob es sich um einen kurzfristigen Effekt handelte oder auf einen langfristigen Vorteil schließen lässt (Lerch et al., 2020). Die Industrie, und darunter vor allem das Verarbeitende Gewerbe, musste im April 2020 EU-weit den stärksten Einbruch seit Beginn der Zeitreihe im Jahr 1992 hinnehmen (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2022a). Der Produktionsindex des Verarbeitenden Gewerbes in Abbildung 12 zeigt, dass in Österreich ähnlich wie in der EU oder auch in Deutschland ein Produktionseinbruch nur während des 1. Lockdowns sehr deutlich zu erkennen war. Ab Juli 2020 konnte stets ein Wachstum verzeichnet werden, wobei zumindest in Deutschland das Vorkrisenniveau bis Ende 2021 nicht wieder erreicht wurde.

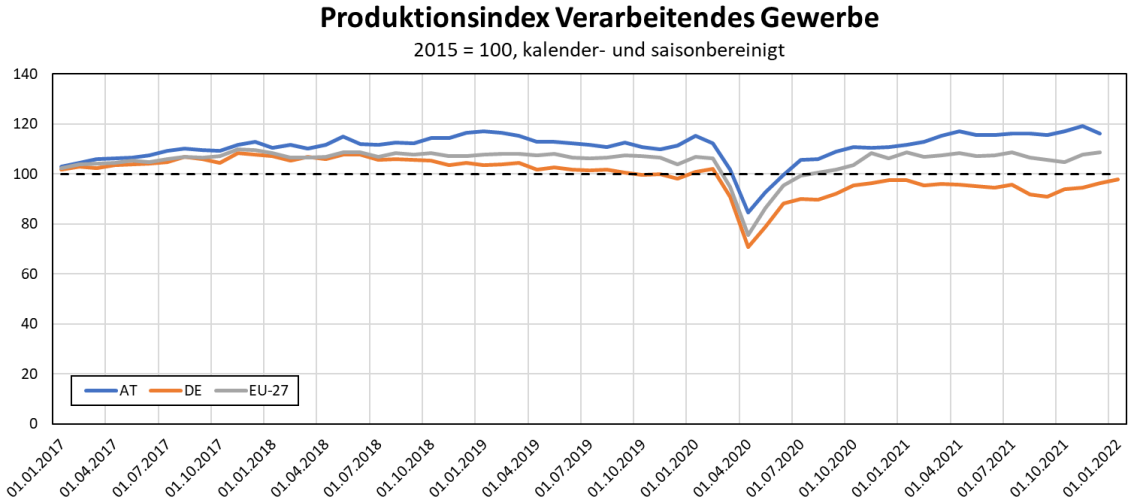

Abbildung 12 Produktionsindex Verarbeitendes Gewerbe (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2022a)

Da jede kommunale Abwasserreinigungsanlage unterschiedlich industriell beeinflusst ist, kann keine pauschalisierte Antwort gegeben werden, wie sich CSB, C/N-Verhältnis und Temperatur damit ändern. Dabei soll vor allem geklärt werden, welche betrieblichen Herausforderungen für den Anlagenbetrieb einhergehen, damit die Anforderung an die Reinigungsleistung trotzdem erfüllt werden kann (s. Kapitel 5.4).

Neben der indirekten Einleitung industrieller Abwässer sind auch die Direkteinleiter zu beachten. Punktuelle und diffuse Quellen sind ein wichtiger Eintragspfad, wenn es um die Verschmutzung von Gewässer durch industrielle Produktion geht. Eine aktuelle Studie von Wilkinson et al. (2022) hat nachgewiesen, dass besonders im Bereich unmittelbar flussabwärts von Industriestandorten die Schadstoffkonzentrationen sehr hoch sind. Aus einer Untersuchung der Auswirkungen der Pandemiemaßnahmen auf die aquatische Umwelt mit Hilfe der Non-Target-Analytik vom BMLRT aus dem Jahr 2020 geht jedoch hervor, dass basierend auf ersten Bewertungen der Ergebnisse von Probenahmen an 4 österreichischen Kläranlagen keine Auffälligkeiten in der Gruppe der Industriechemikalien identifiziert werden konnten (Hartmann et al., 2020).

4.3.1.2 Auswirkung von Produktengpässen

Bestimmte Produkte wie Toilettenpapier und Ersatzteile haben für die Abwasserreinigung bei Engpässen einen relevanten Einfluss auf die Sicherstellung der Abwasserableitung und -reinigung. Abbildung 13 zeigt die Veränderung der Produktionsmengen entlang der Wertschöpfungskette. Dabei wird deutlich, dass die Produktionsmengen im ersten Lockdown stark zurückgegangen sind. Ein Produktionseinbruch bestimmter abwasserrelevanter Güter hat direkte Folgen für die ARA und den Kanal.

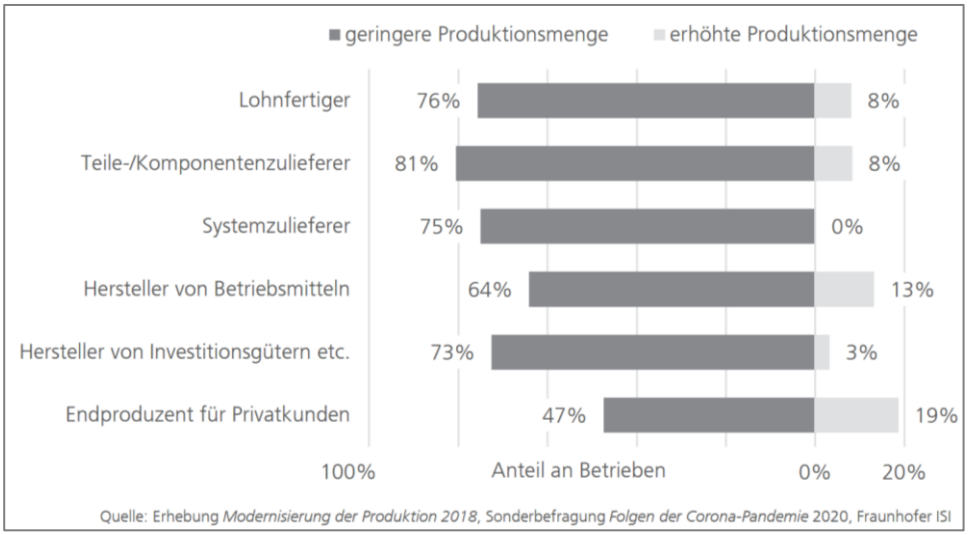

Abbildung 13 Veränderung der Produktionsmengen entlang der Wertschöpfungskette (Lerch et al., 2020)

Im Frühjahr 2020 während des 1. Lockdowns, führten Hamster-Käufe zu Engpässen von Toilettenpapier im Handel (ORF-TVthek, 2020). Die Produktionsmenge war laut Statistischem Bundesamt in Deutschland im Zeitraum Januar bis September 2020 (85.300 Tonnen) jedoch auf einem ähnlichen Niveau wie die Produktion im gleichen Zeitraum im Jahr 2019 (88.400 Tonnen). Anfang 2021 sorgten erhöhte Rohstoffpreise aufgrund von Lieferkettenengpässen und hohe Logistikpreise in der Papierindustrie für Produktionsengpässe (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2020b). Es liegt die Vermutung nahe, dass aufgrund des Mangels an Toilettenpapier ein Umstieg auf alternative Tücher erfolgt ist. Zusätzlich ist davon auszugehen, dass ein erhöhtes Hygienebedürfnis durch die COVID-19-Pandemie hervorgerufen wurde und daher vermehrt Feuchttücher verwendet wurden. Genaue Zahlen zu Kanalverstopfungen oder Pumpenausfällen aufgrund von Verzopfungen sind nicht bekannt. Laut ORF hat die Gemeinschaft Steirischer Abwasserentsorger (GSA) jedoch seit Beginn der COVID-19-Pandemie Veränderungen im Kanalsystem beobachtet: Die Bevölkerung entsorgte laut GSA „deutlich mehr“ Feuchttücher im Abfluss – mit teuren Folgen für die Rohrsysteme (ORF, 2020a). Auf Nachfrage bei Wien-Kanal und Mürzverband konnte eine Veränderung dahingegen nicht bestätigt werden (Hlozek, 2022; Fladischer, 2022). Bei dem ÖWAV-Nachbarschaftstreffen der großen Kanalbetreiber*innen am 25.05.2020 wurde ebenso die Erfahrung geteilt, dass keine Auffälligkeiten diesbezüglich festgestellt worden sind. EFE (2020) und Reviejo (2020) (zit. bei Poch et al., 2020) berichteten hingegen von einem Anstieg über das Abwasser entsorgter Materialien, wobei insbesondere von Feuchttüchern und Schutzmasken die Rede ist.

Die Quantifizierung der Verfügbarkeit von Ersatzteilen kann nur über eine flächendeckende Umfrage bei Kanal- und Kläranlagenbetreiber*innen erfolgen. Es bleibt jedoch unklar, ob der angegebene Mangel hierbei durch Produktionsrückstände (durch Quarantäne, Rohstoffmangel, Lieferschwierigkeiten von Bauteilen) oder Zulieferschwierigkeiten (durch Grenzschließungen, unterbrochene Lieferketten) zustande kam. Es ist zu beachten, dass die Produktherstellung nicht getrennt von der Zulieferkette betrachtet werden kann. Laut der Umfrage von Lindtner und Neunteufel (2020) wird von ABU zum Teil bezweifelt, ob selten benötigte Anlagenteile jederzeit

verfügbar gewesen wären. Die Versorgung der Kläranlagen mit Betriebsmitteln, aber auch die Entsorgung des anfallenden Klärschlammes bzw. Rechen- und Sandfangguts, war bei keinem der befragten Betreiber*innen ein Problem. Viele ABU hatten zu Beginn des 1. Lockdowns bzw. noch vorab im Februar 2020 die Lager für Fäll- und Flockungsmittel vorsorglich gefüllt. Auch während des Lockdows wurden keine Lieferschwierigkeiten angegeben. Vereinzelt wurde von kurzfristigen Preiserhöhungen bei Chemikalien bzw. der Schlammentsorgung berichtet (Lindtner und Neunteufel, 2020). Im Herbst 2022 berichtete jedoch die DWA in einer Presseaussendung von ausgeprägten und zunehmenden Lieferengpässen für Betriebsmittel für die Phosphorfällung, welche die deutsche Abwasserwirtschaft vor erhebliche Probleme stellt (DWA, 2022c).

4.3.2 Analyse der Veränderungen im Gewerbe

Zum einen soll untersucht werden, ob sich durch die Schließung gastronomischer Betriebe in Folge der Lockdowns das Fettaufkommen im Kanal verändert hat, um damit einhergehende Probleme abschätzen zu können und zum anderen soll das Gewerbe bezüglich ihrer Funktion der Zulieferketten untersucht werden. Die Verfügbarkeit von Geräten, Schutzausrüstung und Betriebsmitteln ist entscheidend für die Aufrechterhaltung einer funktionierenden Abwasserreinigung. Abbildung 14 gibt einen Überblick über die Ursache „Pandemie“ mit ihren möglichen Auswirkungen auf das Gewerbe.

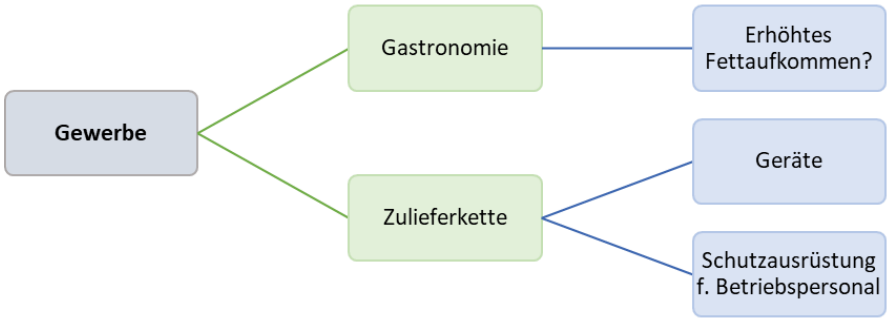

Abbildung 14 Gewerbliche Veränderungen mit möglichen Folgen während der COVID-19-Pandemie (Eigene Darstellung)

4.3.2.1 Fettaufkommen

Die Einleitung von fetthaltigen Betriebsabwässern aus Gastronomie, Küchen und Lebensmittelverarbeitung in öffentliche Abwasseranlagen hat laut Indirekteinleiterverordnung unter Vorschaltung von Vorreinigungsanlagen (Fettabscheider) zu erfolgen (ÖWAV 2021).

Laut Umweltbundesamt liegt der durchschnittliche Wasserverbrauch einer in Österreich lebenden Person bei 130 Liter / Einwohner*in / Tag (BMLRT, 2021). In einem Beherbergungsbetrieb wird der Wasserverbrauch auf durchschnittlich 300 Liter / Übernachtung bzw. 55 Liter / Gedeck in Gaststätten geschätzt (Ratjen, 2016). Die hochkonzentrierten Abwasserteilströme werden in Gaststätten und Küchenbetrieben gesondert abgefangen und vorgereinigt, was bei Haushaltsabwasser technisch nicht erforderlich ist, um den Grenzwert aus der AAEV von 100 mg/l schwerflüchtiger lipophiler Stoffe einzuhalten (BMLF 2022). Dabei muss beachtet werden, dass die Fettabscheider nur bei ordnungsgemäßem Umgang mit den Küchenabwässern eine gute Abscheideleistung aufweisen.

Die Gastronomie war im Jahr 2020 / 2021 während drei Zeitabschnitten geschlossen (16.03.2020 – 14.05.2020, 03.11.2020 – 19.05.2021 und 22.11.2021 – 12.12.2021). Die Abholung der Speisen durfte in dieser Zeit jedoch erfolgen. Infolgedessen gingen in der Gastronomie die Umsätze von März 2020 bis Januar 2021 gegenüber dem Vorjahreszeitraum um 47,1 % zurück. Besonders hoch waren die Einbrüche in den Lockdown-Monaten April 2020 und Dezember 2020 mit -74,7 % beziehungsweise -71,1 % (Statistisches Bundesamt (Destatis)). Abbildung 15 veranschaulicht die Umsatzrückgänge von Österreich, Deutschland und Europa.

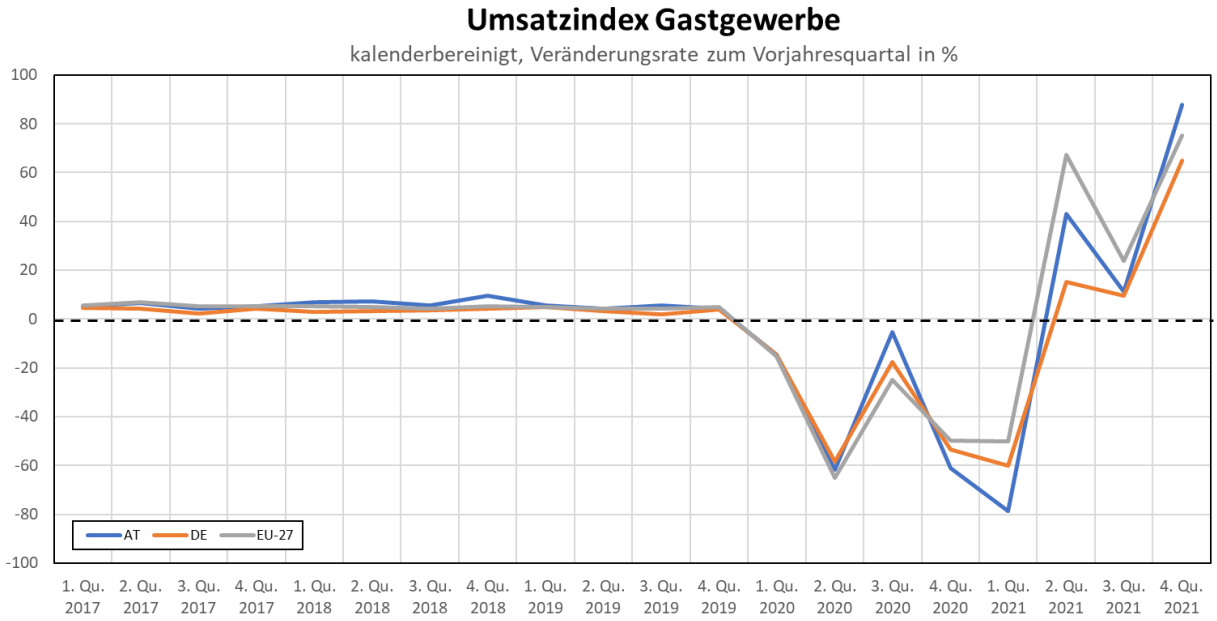

Abbildung 15 Umsatzindex im Gastgewerbe pro Quartal (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2022a)

Diese Veränderung wirft die Frage auf, ob durch das vermehrte Kochen in privaten Haushalten, welche keine Fettabscheider besitzen, mehr Fett in die Kanalisation eingebracht wurde.

Die Gemeinschaft Steirischer Abwasserentsorger (GSA) hat seit Beginn der CoV-Krise Veränderungen im Kanalsystem beobachtet: Die Bevölkerung entsorgte laut GSA „deutlich mehr Speiseöle im Abfluss“ (ORF, 2020a). Auf Rückfrage bei Wien Kanal (Hlozek, 2022) hinsichtlich Auffälligkeiten während der Pandemie bzgl. des Fettaufkommens zeigt sich ein gegensätzliches Bild. Laut den Aussagen von Wien Kanal wird regelmäßig die Qualität des transportierten Abwassers geprüft. Bei den Abwasserüberprüfungen im Zeitraum vom April 2020 bis August 2021 wurden anhand von über 900 Proben festgestellt, dass die Einschränkungen (Lockdowns) im Handel und der Gastronomie zu keiner Änderung der Fettbelastung des Abwassers führten. Bei der Räumung der Kanäle wurde ebenfalls keine merkbare Veränderung der Fettablagerungen im öffentlichen Kanal festgestellt (Hlozek, 2022).

Folgend wird die Änderung des Fettgehaltes am Beispiel einer Tiroler Kläranlage der Größenklasse 5 (ARA Strass, AIZ) gezeigt (s. Tabelle 1). 75 % des Rohabwassers der ARA Strass stammt aus Gewerbebetrieben (Hotels, Restaurants, Metzgereien, Sennereien) (Abwasserverband AIZ, 2007). Bei einer Schmutzfracht (EW120) von 13 – 40 EW / kg Fett und einem mittleren Fettanfall von rund 2.500 g / EW.d ergibt sich eine Fettbelastung von rund 76.000 EW (Dengg und Rostek, 2004). Die Belastung durch einen Anstieg von angenommen 10 % bzw. 250 kg/d Fettbelastung im Abwasser durch unbewusste und unsachgemäße Entsorgung von Speisefetten in privaten Haushalten würde einen Anstieg um 7.600 EW / d verursachen. Die Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb durch ein erhöhtes Fettaufkommen finden sich in Kapitel 5.4.

Aufgrund der spärlichen Datenlage bleibt unklar, inwiefern und wo es tatsächlich zu einem veränderten Fettaufkommen als Folge der Pandemie gekommen ist.

Tabelle 1 Zusammensetzung und Herkunft der Fette im Abwasser (verändert nach Dengg und Rostek, 2004)

Bedeutung der Fettbelastung für ARA		
Fette im Abwasser aus Haushalten	6 – 15	g/EW.d
entspricht einer Konzentration (Verbrauch 200 l/EW * d)	30 – 75	mg/l
Fette im Abwasser von Restaurantküchen (vor Fettabscheider)	30 – 50	g/Mahlzeit
entspricht einer Konzentration (Verbrauch 40 l / Mahlzeit)	700 – 1.300	mg/l
Schmutzfrachtbelastung von Fetten	1,5 – 4,7	kg CSB / kg Fett
Schmutzfracht (EW_{120})	13 – 40	EW / kg Fett
gesamte Fettbelastung im Abwasser: **Fette aus Haushalten, Küchen- und Lebensmittelbetrieben (v.a. Fleisch und Milchverarbeitung)**		
Gesamtanfall	15 – 20	g/EW.d
Fettbelastung ARA – Strass bei einem Jahresmittel von 145.000 EW_{60}		
ARA Strass	145.000	EW
Mittelwert Fettanfall	17,5	g/EW.d
Fettbelastung ARA – Strass	2538	EW/d
Entspricht einer Belastung in EW	76.125	EW/d
*250 kg Fett * 30 EW/ kg Fett*	7.600	EW/d

4.3.2.2 Zulieferkette

Die Corona-Krise schränkte Teile der industriellen Produktion ein. Über die tatsächlichen Auswirkungen auf Produktionsebene ist bis dato aber wenig bekannt. Neben der bereits erwähnten Kurzarbeit, welche sich auch in Produktionsrückgängen manifestierte, ist auch von Interesse, in welchem Maße die Betriebe von Lieferproblemen durch ihre Zulieferer betroffen waren. Das Fraunhofer Institut ISI führte im Herbst 2020 eine Sonderbefragung zum Thema „Folgen der Corona-Pandemie in der Produktion“ in 237 Betrieben des Verarbeitenden Gewerbes durch. Daraus geht hervor, dass 43 % der befragten Betriebe von Zulieferschwierigkeiten betroffen waren. Allerdings waren auch hierbei klare strukturelle Unterschiede zwischen den Betriebsgrößen festzustellen. Große Betriebe waren dabei häufiger Zulieferschwierigkeiten ausgesetzt. Zudem zeigte sich, dass Betriebe, die am Ende der Wertschöpfungskette angesiedelt sind, größere Zulieferschwierigkeiten hatten als Betriebe in vorgelagerten Wertschöpfungsstufen (s. Abbildung 16). Eine weitere Erkenntnis dieser Befragung ist, dass die Robustheit des Zuliefernetzwerks bei den befragten Betrieben unabhängig von dessen Internationalisierungsgrad ist. Die Robustheit eines Netzwerks scheint demnach im Falle der Corona-Pandemie nicht durch den Internationalisierungsgrad bestimmt zu sein. Globale Produktionsketten waren während dieser sowohl regional wie global wirkenden Krise gegenüber regionalen Netzwerken nicht benachteiligt (Lerch et al., 2020).

Um der Problematik der Zulieferschwierigkeiten entgegenzuwirken, wurden in Österreich im Frühjahr 2020 die LKW-Wochenendfahrverbote ausgesetzt. Diese Maßnahme sollte die Versorgungssicherheit mit medizinischem Material und Gütern des täglichen Bedarfs, sowie einen reibungslosen Warenverkehr zwischen Österreich und seinen Nachbarländern während der Phase des langsamen und kontrollierten Wiederhochfahrens nach dem ersten Lockdown im Frühjahr 2020 gewährleisten (BMK, 2020a).

Ob es bei siedlungswasserwirtschaftlichen Betrieben zu Problemen bei der Beschaffung von Schutzausrüstung (FFP2-Masken, Schutzanzüge, Schutzbrillen, Desinfektionsmittel o.Ä.) für das Personal oder bei der Bereitstellung von Geräten aufgrund von Lieferschwierigkeiten kam, wird folgend anhand einzelner Aussagen von Kanal- und Kläranlagenbetreiber*innen quantifiziert. Die Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb dieser Lieferengpässe findet sich in Kapitel 5.4.

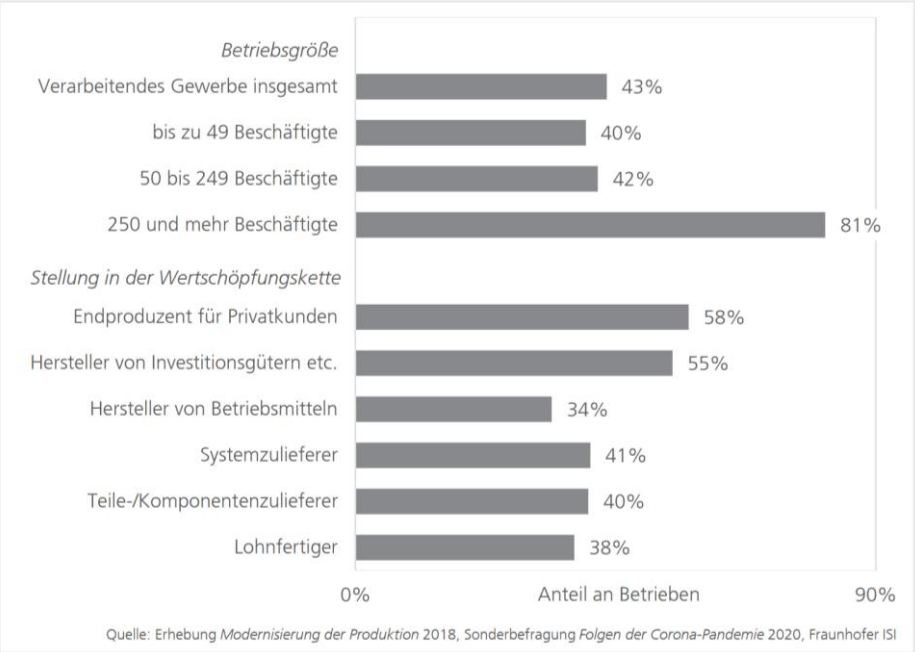

Abbildung 16 Zulieferschwierigkeiten nach strukturellen Charakteristika der Betriebe (Lerch et al., 2020)

Wien Kanal bestätigte auf Nachfrage (Hlozek, 2022), dass es während der COVID-19-Pandemie zu Lieferschwierigkeiten von Ersatzteilen / Geräten im Pumpwerksbereich kam. Die Lieferzeiten von technischen Ausrüstungen erhöhten sich speziell ab dem 1. Quartal 2021 signifikant. Das Ausmaß der Lieferverzögerungen wurde jedoch je nach Produkt sehr unterschiedlich beziffert (eine Woche bis zu fünf Monaten). Gleiches galt bei Instandsetzungen durch Fremdfirmen, bedingt durch fehlende Ersatzteile. Wien Kanal hat unabhängig von der Pandemie ein Depot für wichtige Ersatzteile eingerichtet. Laut Betreiber deckt das Depot hauptsächlich die Ersatzteilvorhaltung für die Automatisierung ab und kann niemals den Gesamtbedarf bezüglich notwendiger technischer Ausrüstung umfassen. Außerdem kam es zu Schwierigkeiten bei der Beschaffung des Fuhrparkbereichs. Bei Beschaffungsvorgängen im Zeitraum der Pandemie und darüber hinaus (nicht absehbar) kam es auch im Jahr 2022 noch zu Lieferschwierigkeiten im Bereich von:

- Fahrzeugen (elektronische Ersatzteile, Mikrochips)
- Stahlbau, Stahlbauteile
- Ad Blue (Harnstoff zu Abgasreinigung), spezielle Schmiermittel etc.
- Geräte, die Halbleiter enthalten (Inspektionsgeräte der Kanalinspektion etc.)

Lindtner und Neunteufel (2020) berichten von unterschiedlichen Beschaffungsstrategien von Schutzausrüstung der Anlagenbetreiber*innen, die bei Ausbruch der Pandemie 2020 zum Einsatz kamen, da kein Notfallplan dafür existierte. Es wird vorgeschlagen, dass die Beschaffung gemeinsam für Abwasserentsorger, Wasserversorger und Abfallwirtschaftsverbände über den behördlichen Katastrophenschutz sowie über die Landeswarnzentrale erfolgen könnte oder die Schutzausrüstung am freien Markt bestellt werden könnte.

4.3.3 Analyse der Veränderungen durch die Ausgangsbeschränkungen

Um die Ausbreitung eines Virus einzudämmen, bedient sich die Bundesregierung unterschiedlicher Instrumente. Vorranging gilt es dabei die persönlichen Kontakte zu minimieren. Eine sehr wirksame Maßnahme ist das Verhängen von Ausgangsbeschränkungen. Dieses Tool der Kontaktvermeidung wurde im Fall der Lockdowns in Österreich während der COVID-19-Pandemie mehrmalig angewendet. Unter Ausgangsbeschränkung versteht sich, dass das Verlassen des eigenen privaten Wohnbereichs und das Verweilen außerhalb des eigenen privaten Wohnbereichs nur unter bestimmten Bedingungen zulässig ist. Diese Bedingungen unterschieden sich im Detail je nach Lockdown voneinander.

Welche Auswirkungen die Ausgangsbeschränkungen und Quarantäneregelungen während der COVID-19-Pandemie auf die Siedlungswasserwirtschaft hatten, haben und im Fall einer erneuten Pandemie haben könnten, wird in den folgenden Unterkapiteln untersucht. Eine Übersicht über die betroffenen Bereiche bietet Abbildung 17.

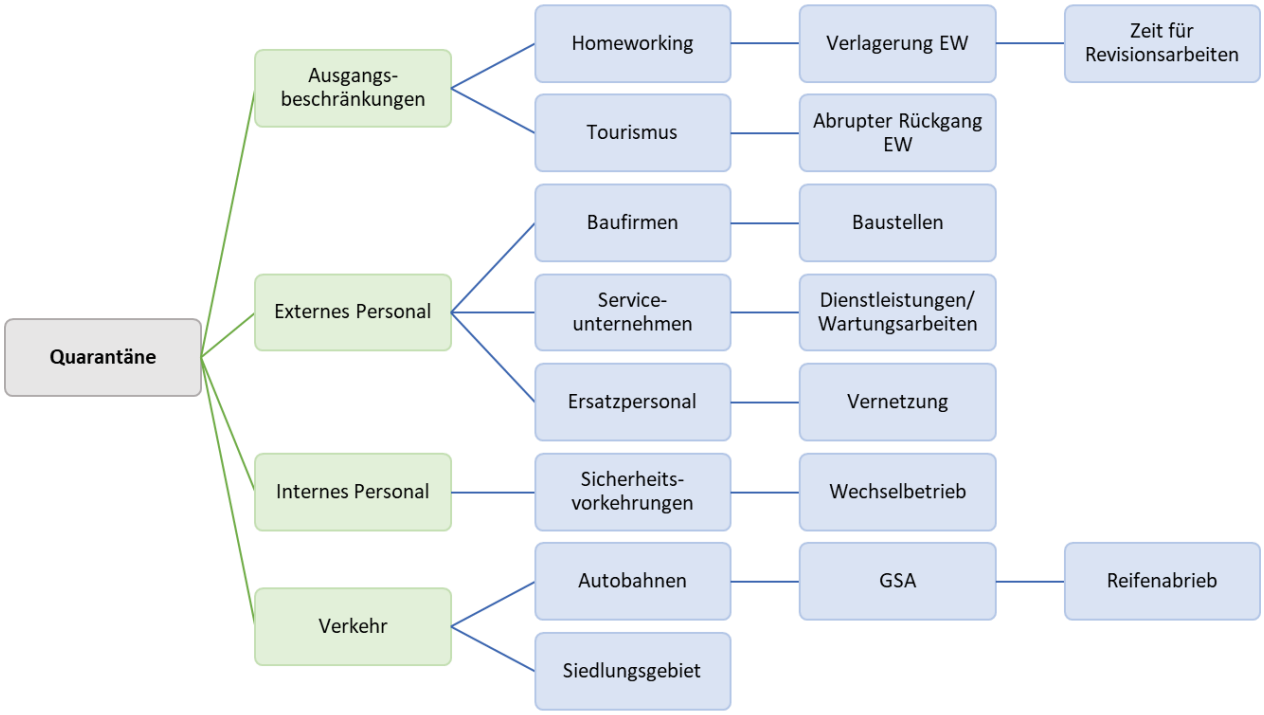

Abbildung 17 Veränderungen durch Ausgangsbeschränkungen mit möglichen Folgewirkungen in verschiedenen Bereichen während der COVID-19-Pandemie (Eigene Darstellung)

4.3.3.1 Ausgangs- und Reisebeschränkungen

Um persönliche Kontakte möglichst gering zu halten, wurden mit den Lockdowns Ausgangsbeschränkungen verhängt und der Grenzverkehr (mit Ausnahme des Warenverkehrs) stark eingeschränkt.

Diese Maßnahmen zur Kontaktbeschränkung inkludierten auch die Empfehlung der Bundesregierung, soweit möglich, im Home-Office zu arbeiten. Laut Statistik Austria (2022) arbeiteten im Jahr 2019 ca. 53 % der aktiv Erwerbstätigen nicht in ihrer Wohngemeinde. Da im Jahr 2020 39 % aller Arbeitnehmer*innen zumindest vier Wochen im Homeoffice (Bachmayer und Klotz, 2021) waren, liegt die Vermutung nahe, dass sich mit dieser Regelung einhergehend auch die Zulaufmengen von Kläranlagen verändert haben. Diese Vermutung wurde durch die Aussagen von WVU in der Umfrage von Lindtner und Neunteufel (2020) bestätigt. Während der

Ausgangsbeschränkungen im Zeitraum vom 16. März bis 30. April 2020 verzeichneten die WVU ein zum Teil deutlich wahrnehmbares geändertes Nutzungsverhalten. Durch „Home-Office“ und „Zuhause bleiben“ beobachteten Landgemeinden, insbesondere bei ländlichen und kleinen bis sehr kleinen Wasserversorgern (Wassergenossenschaften) mit einem sonst hohen Auspendler*innenanteil, eine signifikante Wasserverbrauchssteigerung. Hinsichtlich der Verbrauchssteigerungen ist anzumerken, dass die Zeit des Lockdowns 2020 zeitgleich mit einer ausgeprägten Frühjahrstrockenheit zusammenfiel, wodurch die Verbrauchssteigerungen verstärkt wurden. Die vorhandene Fernwirktechnik half den WVU auf das geänderte Nutzerverhalten zu reagieren (Lindtner und Neunteufel, 2020).

Durch die Reisebeschränkungen zwischen den Ländern aber auch innerhalb Österreichs kam es zu einem erheblichen Einbruch in der Tourismusbranche. Die Zahl der Nächtigungen in österreichischen Beherbergungsbetrieben sank 2020 um ca. 36 % im Vergleich zum Jahr 2019 und im Jahr 2021 um nochmals ca. 19 % im Vergleich zum Jahr 2020 (Laimer und Schischeg, 2021, 2022).

Bei Ausbruch der Pandemie im Frühjahr 2020 konnte insbesondere in größeren Städten und Einpendler*innengemeinden durch den Wegfall des Wasserverbrauchs am Arbeitsplatz und in touristischen Gebieten ein Verbrauchsrückgang festgestellt werden (Lindtner und Neunteufel, 2020). Insbesondere Tourist*innen aus den Wintersportregionen sind innerhalb kurzer Zeit abgereist. Durch den Wegfall der Tourist*innen in manchen Städten, aber insbesondere in Wintersportgemeinden (Extremfall: kurzfristiger Rückgang auf unter 10 % des Verbrauchs in Vergleichsmonaten), verzeichneten WVU einen Verbrauchsrückgang. Dieser kurzfristige Rückgang ist auch aus den Betriebsdaten der ARA Strass (AIZ-Abwasserverband) sowie der Kläranlage Mürz-I Langenwang (Mürzverband) deutlich abzulesen (s. Kapitel 5.3.1). Teilweise konnte die erwartete Verschiebung des Wasserverbrauchs von Stadtzentren in Richtung der Außenbereiche aber nicht festgestellt werden (Lindtner und Neunteufel, 2020)

Die Belastung einer Kläranlage mit einem sonst hohen Auspendler*innenanteil hätte folglich in Zeiten von Home-Office an Werktagen ähnlich hohe Einwohnerwerte (EW) wie an Wochenenden. Kläranlagen, welche einen großen Einpendler*innenanteil haben, sollten demnach geringere EW verzeichnet haben. Wie eine Analyse von Enfinger und Stevens (2021) zeigt, haben sich nicht nur die Mengen, sondern auch die Ganglinien des Wasserverbrauchs im tageszeitlichen Verlauf verändert. Die Effekte von Distance-Learning, Home-Office und sonstigen Schließungen lassen sich direkt den Darstellungen der Abwasserdaten entnehmen. Abbildung 18 zeigt den tageszeitlichen Verlauf der Abwassermenge für vier verschiedene Bereiche: Wohnsiedlung, Einzelhandel, Gewerbegebiet und Schule. In Abbildung 19 ist die Abwasserganglinie für Siedlungsgebiete in Southern California vor und während des 1. Lockdowns (März bis Mai 2020) und im Sommer 2021 abgebildet. Dabei stellt die hellgrüne und hellblaue Kurve den mittleren täglichen Abfluss dar, der an Werktagen bzw. am Wochenende beobachtet wird. Die dunkelgrünen Kurven zeigen jeweils die individuellen Wochentage, welche zur Bestimmung der Mittelwerte verwendet wurden. Die typische Spitzenbelastung am Morgen war während des 1. Lockdowns abgeschwächt und verzögert. Daraus kann geschlossen werden, dass die Menschen später aufstanden, da der Anfahrtsweg zum Arbeitsplatz im Home-Office entfiel. Zusätzlich lässt sich vermuten, dass die Morgenwäsche sparsamer ausfiel. Auch mittags zeigt die Kurve in den Siedlungsgebieten einen höheren Verbrauch an, was den Schluss zulässt, dass die Menschen tagsüber vermehrt zuhause waren. Laut Enfinger und Stevens (2021) stieg der Abwasserverbrauch in Siedlungsgebieten während des Lockdowns um 5 - 10 %. Eine weitere Beobachtung dieser Studie ist, dass während des Lockdowns auch am Abend die anfallende Abwassermenge etwas höher war, was darauf schließen lässt, dass die Bevölkerung später schlafen ging. Auch wenn nur minimale Verschiebungen der Abwassermengen beobachtet werden konnten, kann also den Abwasserdaten entnommen werden, dass sich die täglichen Routinen der Einwohner*innen durch den Lockdown verändert haben.

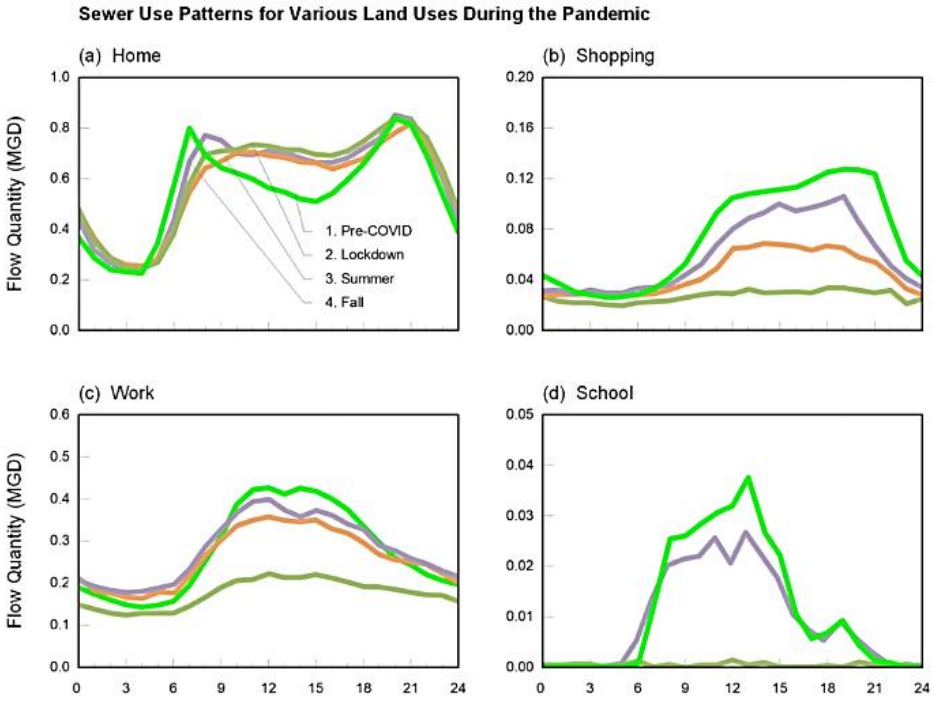

Abbildung 18 Abwasserganglinie für unterschiedliche Bereiche vor, während und nach dem Lockdown im Frühjahr 2020 (Enfinger und Stevens, 2021)

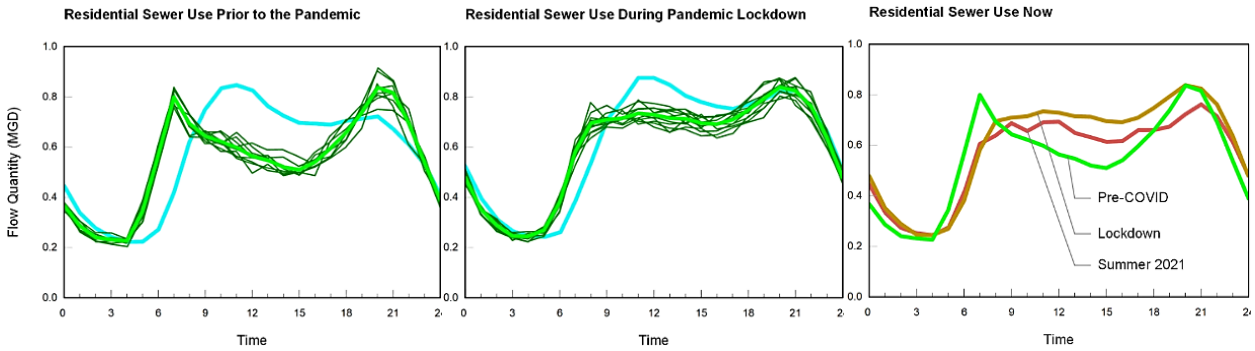

Abbildung 19 Abwasserganglinie für Siedlungsgebiete in Southern California vor und während des 1. Lockdowns (März bis Mai 2020) und Sommer 2021 (Enfinger und Stevens, 2021)

Ähnliche Ergebnisse wie in Österreich aus der Umfrage von Lindtner und Neunteufel (2020) sind weltweit zu finden. In Tabelle 2 sind die Wasserverbrauchsänderungen während des 1. Lockdowns im Frühjahr 2020 in verschiedenen Städten aufgelistet. Während die Schließung von nicht-systemrelevanten Einrichtungen und Einschränkungen des wirtschaftlichen Sektors, vor allem der Industrie und des Tourismus, weltweit zu einem Rückgang des Wasserverbrauchs geführt haben, wurde in Wohngebieten hingegen eine signifikante Steigerung des Verbrauchs durch die behördlichen Anweisungen zu Hause zu bleiben wahrgenommen. Die Verschiebung des Wasserverbrauchs vom Ort der öffentlichen Einrichtungen und Arbeitsstätten zu privaten Haushalten hat auch dazu geführt, dass sich die täglichen Verbrauchsspitzen um zwei bis vier Stunden nach hinten verschoben haben. Die Ganglinie des täglichen Wasserverbrauchs ähnelten somit, wie bereits erwähnt, einem fortwährendem Wochenende (Berliner Wasserbetriebe, 2020; Eau des Paris, 2020; Hamburg Wasser, 2020; zit. bei Poch et al., 2020).

Tabelle 2 Wasserverbrauchsänderungen während des 1. Lockdowns im Frühjahr 2020 (Poch et al., 2020)

Region	Global	Domestic	Industrial/commercial	Source:
Palma	−15%			(IB3, 2020)
Madrid	−7%	+3.5%		(Canal de Isabel II, 2020)
Barcelona	−(9.5%–11%)	+7%	−35%/50%	(xarxes, 2020)
Paris	−20%		−45%	(Eau de Paris, 2020)
Hamburg	+1%	+4%	−4%	(Hamburg Wasser, 2020)
Canada	−25%			(Webinar, 2020)
Colorado		+10%	−35%	(American Water Works Association, 2020)
Pittsburgh	−12%			(American Water Works Association, 2020)

4.3.3.2 Externes Personal

Für diverse Arbeiten im siedlungswasserwirtschaftlichen Bereich ist externes Personal notwendig. Einen Überblick bietet Abbildung 20. Weiterführende Überlegungen zur Vorsorge und den betrieblichen Herausforderungen finden sich im Kapitel 5.4.

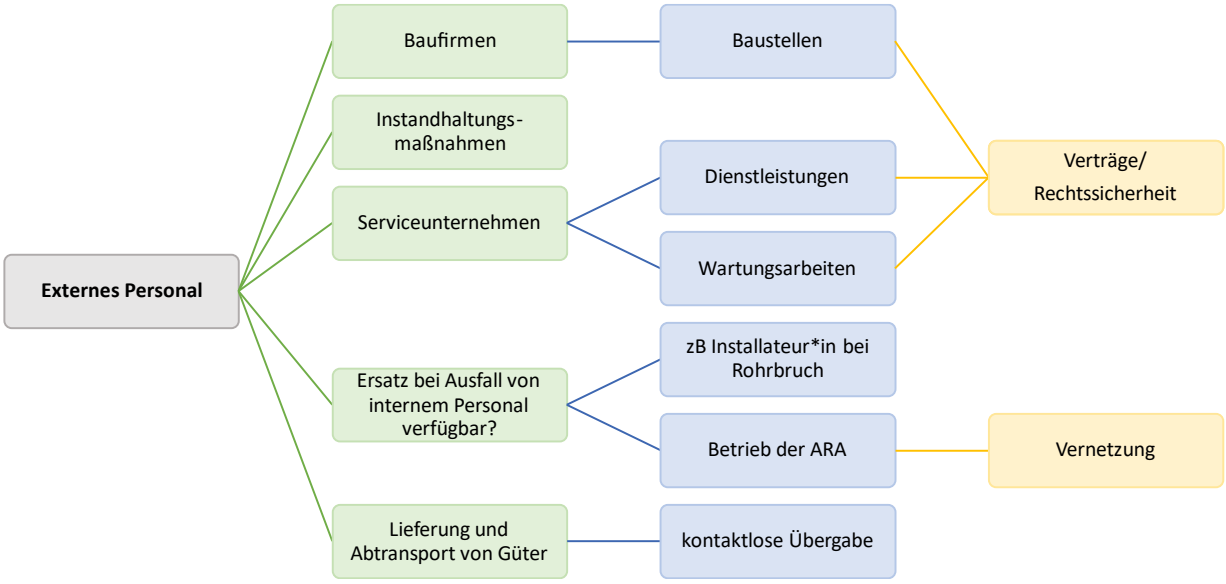

Abbildung 20 Pandemische Unsicherheiten das externe Personal betreffend (Eigene Darstellung)

Die Einführung der pandemiebedingten Maßnahmen, wie Sicherheitsabstand und höhere Hygienestandards führte auch auf Baustellen im siedlungswasserwirtschaftlichen Bereich zu Veränderungen. Die Kontaktbeschränkungen brachten längere Bauzeiten mit sich, da in kleineren Arbeitsgruppen gearbeitet werden musste (Smith 2020; zit. bei Renukappa et al., 2021). Dieser Schutz der Arbeitnehmer*innen hat eine Erhöhung der Baukosten zu Folge, wobei diese von der Projektgröße und dem Ausmaß der Umsetzung von Sicherheitsmaßnahmen abhängig war (Kennedy 2020; zit. bei Renukappa et al., 2021).

Die Umfrage bei WVU und ABU von Lindtner und Neunteufel (2020) aus dem Sommer 2020 ergab, dass die überwiegende Mehrheit der befragten Anlagenbetreiber*innen den Betrieb von planbaren Baustellen ab Mitte März 2020 (1. Lockdown) für zwei bis drei Wochen komplett eingestellt haben.

Die Arbeiten wurden zumeist unter Einhaltung der jeweils gültigen Sicherheitsbestimmungen danach wieder aufgenommen. Auf größeren Baustellen musste auch der Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan (SiGePlan) entsprechend abgeändert werden. Zusätzlich wurden die Anlagen während des 1. Lockdowns im Notbetrieb gefahren. Das heißt es wurde Sorge dafür getragen, dass das Abwasser den Kanal passieren konnte und ordnungsgemäß gereinigt wurde. Allfällige Reparatur- und Instandhaltungsarbeiten konnten nicht oder nur teilweise durchgeführt werden. Diese wurden nur durchgeführt, wenn sie zum weiteren Betrieb der Anlagen unbedingt erforderlich waren. Von ca. einem Drittel der Anlagenbetreiber*innen wurde angegeben, dass die Abwasseranlagen in diesem Notbetrieb auch über einen längeren Zeitraum (Monate) aufrechterhalten werden könnten. Mehrfach wurde betont, dass es auch deshalb nur wenige Probleme während diese Phase gab, da es sehr wenig Krankheitsfälle im Personal der Abwasserbetriebe gab und zumeist Trockenwetterabfluss herrschte (Lindtner und Neunteufel, 2020).

Laut Lindtner und Neunteufel (2020) haben rund zwei Drittel der befragten WVU Vereinbarungen mit systemwichtigen Lieferant*innen und Dienstleister*innen getroffen, die Lieferungen und Leistungen auch in Krisenzeiten sicherstellen. Andere WVU haben zu Beginn des 1. Lockdowns eine Zusicherung von Lieferfirmen und Dienstleister*innen eingeholt, dass die Leistungen auch während des Lockdowns aufrechterhalten werden. Insbesondere betrifft dies den Bereitschaftsdienst von Baufirmen für Grabungsarbeiten im Fall eines Gebrechens. Für die eigentliche Gebrechensbehebung haben viele WVU Materialvorräte auf Lager und zum Teil sind eigene Mitarbeiter*innen dafür vorgesehen. Für spezifische Anlagenteile wie UV-Desinfektion, Drucksteigerung, Notstromaggregate oder Fernwirkanlagen bestehen oft gesonderte Wartungsverträge. Ob selten benötigte Anlagenteile jederzeit verfügbar gewesen wären, wurde zum Teil von den ABU und WVU bezweifelt. Vereinzelt wurden Einschränkungen in Zusammenhang mit der Verfügbarkeit von ausländischem Personal berichtet. Fremdfirmen mussten teilweise ihre Arbeit wegen fehlender Zulieferung einstellen.

Externe Personen wurde nur sehr eingeschränkt für die Lieferung und den Abtransport von Gütern auf das Kläranlagengelände gelassen. Auf fast allen Anlagen wurde dies so organisiert, dass kein Kontakt des eigenen Betriebspersonals mit den Lieferant*innen erforderlich war. Vereinbarungen, dass beim Ausfall des eigenen Personals externe Firmen auf der Kläranlage Arbeiten übernehmen könnten, wurden nur bei einem der befragten Anlagenbetreiber*innen getroffen (Lindtner und Neunteufel, 2020).

4.3.3.3 Internes Personal

Die größten Herausforderungen bei dem Betrieb der ARA stellten sich, laut einem Bericht des BAFU (2020), beim Personaleinsatz. Zur Einhaltung der Hygienevorschriften wurde in zahlreichen ARA ein Schichtbetrieb mit reduziertem Personalbestand eingeführt. Zudem wurden reguläre Unterhaltsarbeiten auf ein Minimum reduziert. Problematisch war auch die Beschaffung von Schutzausrüstung (v.a. Schutzmasken), welche auch im Normalbetrieb bei gewissen Arbeiten im Kontakt mit Abwasser zum Schutz vor Krankheitserregern (wie z.B. Fäkalkeime, Noro-Virus) notwendig sind.

Für die Aufrechterhaltung der Abwasserreinigung ist die Arbeitsfähigkeit des betriebsinternen Personals entscheidend. Um diese sicherzustellen, müssen für den Pandemiefall Maßnahmen getroffen werden. Abbildung 21 zeigt überblicksmäßig welche Bereiche damit verknüpft sind. In violett sind die Maßnahmen dargestellt, welche präventiv getroffen werden können und in orange eingefärbt sind jene Maßnahmen dargestellt, die im Pandemie-Notbetrieb nötig sind. Dabei ist zu beachten, dass eine Kombination dieser Verfahrensweisen nötig ist, um das Personal vor einer Ansteckung zu schützen und den Betrieb aufrecht zu erhalten.

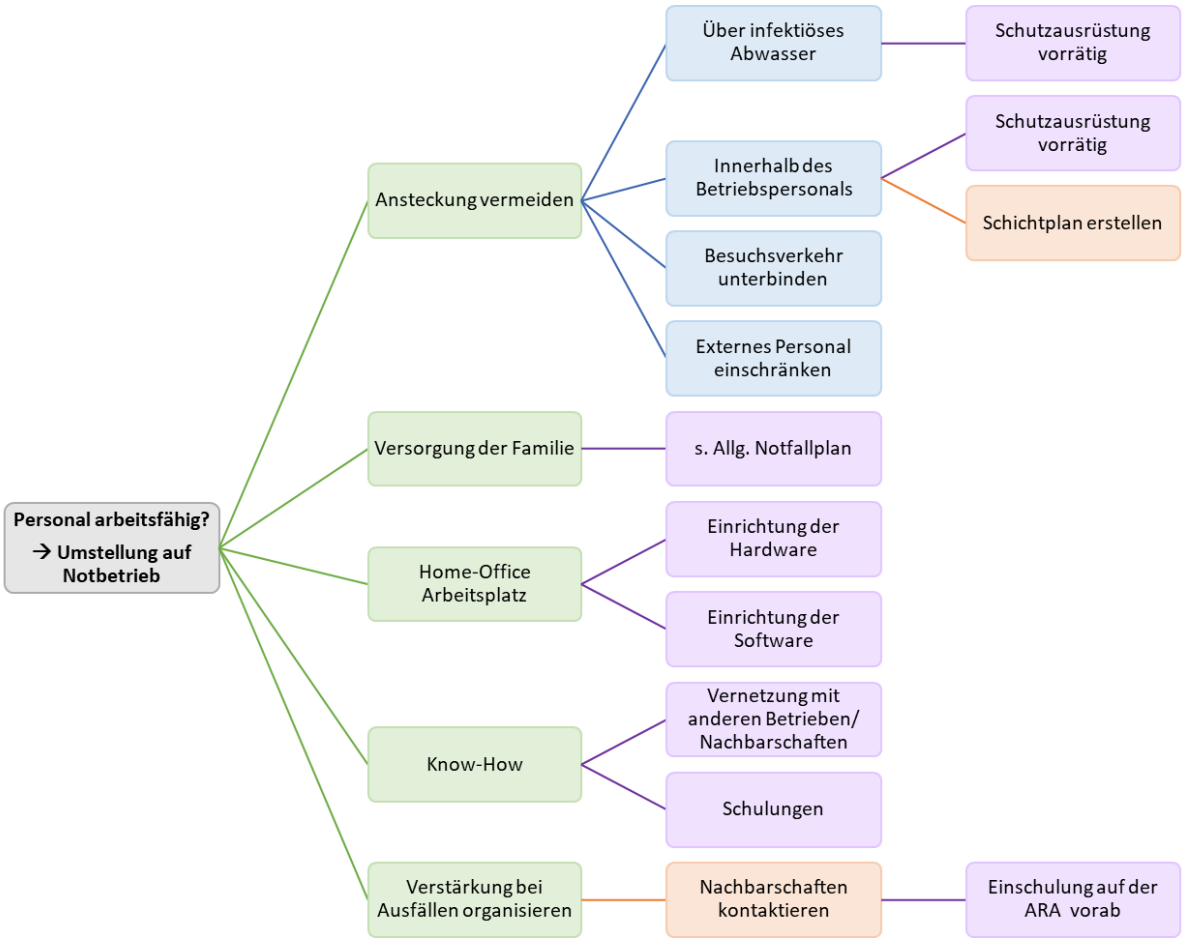

Abbildung 21 Maßnahmen, welche erforderlich sind, damit das Personal einsatzfähig bleibt (orange: Notfall-Maßnahmen, lila: Vorsorge-Maßnahmen) (Eigene Darstellung)

Dabei geht es vor allem darum, die gesundheitlichen Risiken für das Personal möglichst gering zu halten. Aus Sicht des Arbeitsschutzes soll darauf geachtet werden, dass sich das Personal weder innerhalb des Teams noch über das Medium Abwasser an dem Erreger infiziert. Ob der jeweilige Krankheitserreger, welcher die Pandemie ausgelöst hat, über das Abwasser übertragbar ist, ist zu Beginn zu überprüfen (s. Kapitel 3.4). Um sich vor dieser möglichen Variante der Ansteckung zu schützen, muss sichergestellt sein, dass auf dem Betriebsgelände genügend Schutzausrüstung (Masken, Schutzanzüge, Desinfektionsmittel ect.) zur Verfügung steht und auch bei möglichen Versorgungsengpässen im Pandemiefall vorab ausreichend Material eingelagert wurde.

Laut der Umfrage von Lindtner und Neunteufel (2020) hätte mit diesen Maßnahmen bei größeren WVU der Ausfall einzelner Personen oder eines Teams kompensiert werden können. Der Ausfall mehrerer Personen bzw. mehrerer Teams oder mehrerer Schlüsselkräfte könnte, laut Aussagen der WVU, jedoch nicht so leicht verkraftet werden. Wenn es sich nur um Quarantänemaßnahmen handelt, könnten ggf. Fernwirksysteme eine Lösung sein. Die Behebung von größeren Gebrechen hätte einige WVU jedoch vor eine große Herausforderung gestellt. Für kleine WVU kann hingegen bereits der Ausfall von Einzelpersonen Probleme bereiten. Wenn keine internen Redundanzen geschaffen werden konnten, wurden von manchen WVU als Notfallplan die Aushilfe von anderen WVU bzw. deren Wassermeister*innen vereinbart oder die mögliche Reaktivierung pensionierter Mitarbeiter*innen angefragt. Es gab aber auch vereinzelt Rückmeldungen, dass kein Plan für den Ausfall von Schlüsselkräften existiert. Teilweise wurden diese Maßnahmen erst bei Ausbruch der COVID-19-Pandemie so getroffen, in manchen Bereichen war die Vorsorge lückenhaft. Die Details dazu sind den Ergebnissen der Umfrage von Lindtner und Neunteufel (2020) zu entnehmen.

Zudem wurden, wie bereits erwähnt, die Besichtigungen auf den Anlagen eingeschränkt und Home-Office forciert. Um vom Heimarbeitsplatz effektiv arbeiten zu können, wurde Foto- und Filmmaterial gesammelt. Betriebe forcierten ebenfalls die Erprobung und Umsetzung neuer Arbeitsweisen- und abläufe, als auch neuer Technologien, neuer Wege der Kommunikation sowie der Umgestaltung von Büroarbeitsplätzen (Frontier, 2020; zit. bei Renukappa et al., 2021). Um vom Home-Office Arbeitsplatz den Betrieb steuern zu können braucht es gut ausgestattete Heimarbeitsplätze, eine fortgeschrittene Digitalisierung und Fernwirksysteme.

Durch die physische Distanz wurde die Arbeit und das Management von ARA verändert. Die Arbeitnehmer*innen selbst waren angehalten diese Veränderungen, mit einem starken Anstieg der Kommunikationstools Webinar und Videokonferenz, zu akzeptieren (Renukappa et al., 2021). Folglich ist die Effektivität dieser Maßnahmen auch von der Flexibilität der Arbeitnehmer*innen abhängig. Die physische Distanzierung der Menschen, die durch die COVID-19-Pandemie hervorgerufen wurde, konnte die Interaktion zwischen Bürger*innen und Betreiber*innen durch digitale Plattformen nachhaltig fördern. Dezentrale Systeme sind resilienter, sparen personelle Ressourcen und minimieren die persönlichen Kontakte im Fall einer Pandemie (Garrido-Baserba et al., 2018; Sun et al., 2020; zit. bei Poch et al., 2020).

Laut Nachfrage bei Wien Kanal stellten jedoch auch noch im Frühjahr 2022, zwei Jahre nach Ausbruch der Pandemie, die Einhaltung der Hygiene- und Sicherheitsvorkehrungen, die Trennung der Arbeitspartien, der Schutz der sicherheitsrelevanten Arbeitskräfte und die Vorbereitung auf mögliche Ausfallszenarien, eine große Herausforderung dar (Hlozek, 2022).

4.3.3.4 Analyse der Schadstoffbelastung durch die Reduktion des Verkehrs

Die Auswirkungen der Schutzmaßnahmen gegen die COVID-19-Pandemie zeigten sich auch im Verkehrssektor. Durch die Ausgangs- und Reisebeschränkungen und vermehrte Tätigkeit im Home-Office während der Lockdowns ist der Treibstoffverbrauch für den Verkehr stark zurückgegangen. Im COVID-19-Krisenjahr 2020 gingen nach der vorläufigen Schätzung des Umweltbundesamts die nationalen Emissionen um 7,7 % zurück (Wegscheider-Pichler et al., 2021). Dabei war der Verbrauch von Flugturbinenkraftstoff im Jahr 2020 im Vergleich zum Jahr 2019 um 66 % geringer und der Einsatz von Diesel und Benzin im Straßenverkehr sank um 13 % (Statistik Austria, 2021a). Infolgedessen kam es im COVID-19-Krisenjahr 2020 zu einem starken Rückgang der Treibhausgasemissionen des Verkehrs um 14,3 % (3,4 Mio.t CO2-Äquiv. laut erster Schätzung) (Wegscheider-Pichler et al., 2021). Laut Daten der ASFINAG sorgte die COVID-19-Krise für einen Rückgang des Gesamtverkehrs von 23 % im ersten Halbjahr 2020, dabei allein für fast 25 % weniger Pkw-Verkehr. Der Schwerverkehr verzeichnete ein Minus von rund 8 % im ersten Halbjahr. Rund um die Ballungsräume war der Verkehr auf den Straßen Ende Juni 2020 jedoch wieder auf Vor-Krisen-Niveau (ASFINAG, 2020). Statistiken aus dem Güterverkehr zeigen, dass das Transportaufkommen auf dem Verkehrsträger Straße im Jahr 2020 um ca. 8 % geringer war als im Jahr 2019 (Karner et al., 2021). Für die in Österreich registrierten Straßengüterfahrzeuge wurde das Vorkrisenniveau von 2019 mit plus 15 % im Jahr 2021 wieder erzielt (Schuster et al., 2022).

Aus einer Auswertung von 29 signifikant ausgewählten Dauerverkehrszählstellen (DZSt) in Wien seitens der MA46 konnte zwischen März bis Mai 2020 (1. Lockdown) ein Rückgang des durchschnittlichen täglichen Verkehrs an Werktagen von 28 % im Vergleich zum Jahr 2019 festgestellt werden. Während die Schwankungsbreiten der Verkehrssummen von Jänner bis Juni in den Jahren 2016 - 2018 (60 bis 63 DZSt) bei +/-1 % liegen, zeigt der Rückgang durch die COVID-19-Maßnahmen mit rund -16 % eine deutliche Verminderung des Verkehrsaufkommens (DeRiz, 2020).

Abbildung 22 veranschaulicht die Veränderung der Mobilität (Mobilitätsindikatoren auf Basis von Mobilfunkdaten) zwischen 01.01.2020 bis 01.11.2021 (in Prozent) gegenüber dem Jahr 2019 in Deutschland. Im 1. Lockdown zeichnete sich ein markanter Rückgang ab, wobei in den darauffolgenden Lockdowns die Mobilität weniger starke Einbrüche verzeichnete.

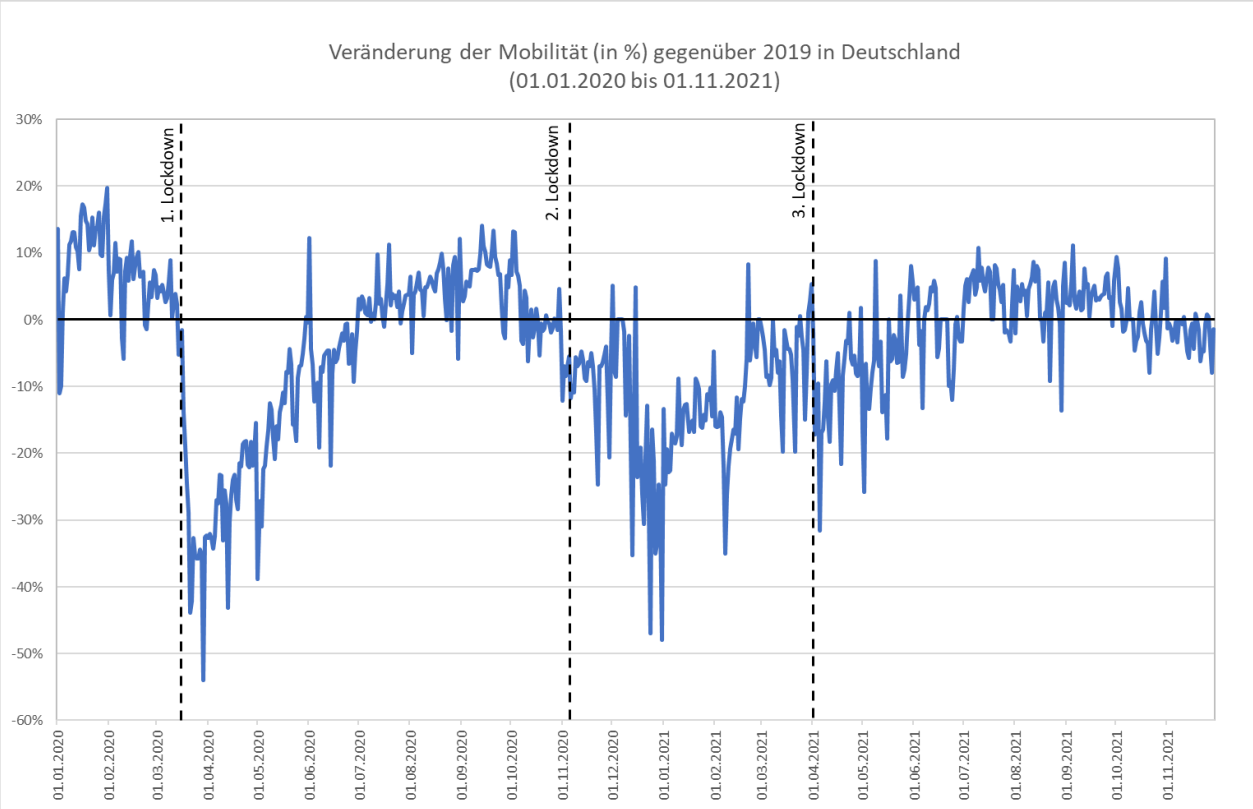

Abbildung 22 Veränderung der Mobilität zwischen 01.01.2020 und 01.11.2021 (in %) gegenüber 2019 in Deutschland (Quelle: Statistisches Bundesamt (Destatis), 2022b)

Mit dem Rückgang des Verkehrsaufkommens geht auch eine Abnahme der verkehrsbedingten Spurenstoffeinträge und Treibhausgasemissionen durch Kraftfahrzeuge einher. Der Niederschlagsabfluss von Straßen enthält neben Nährstoffen, wie Stickstoff und Phosphor auch Feststoffe (abfiltrierbare Stoffe – AFS), sowie anorganische und organische Schadstoffe wie Schwermetalle, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und Mineralöl-Kohlenwasserstoffe (MKW). Diese entstehen aus Abgasnebenprodukten, Reifen-, Karosserie- und Fahrbahnverschleiß, Abflüssen aus Niederschlägen, nasser und trockener Deposition und Fahrbahninstandhaltungsarbeiten. Die wichtigsten Stoffe mit ihren Stoffquellen sind in Tabelle 3 zusammengefasst (Ertl et al., 2016).

Tabelle 3 Stoffquellen und Stoffemissionen durch Kraftfahrzeugverkehr (Ertl et al., 2016)

Stoffquelle	Stoffe
Straßen:	
Abgase	Stickoxide, Kohlendioxid, Ruß, Kohlenstoff, Blei, Schwefel, Chlor, Magnesium, Natrium, Kupfer, Zink, Kohlenwasserstoffe, PAK, Phenole, PCDD/PCDF
Fahrbahnbeläge (Abrieb)	Silizium, Calcium, Magnesium, Chrom, Nickel, Bitumen
Reifen (Abrieb)	Chrom, Zink, PAK
Bremsbeläge (Abrieb)	Kohlenstoff, Eisen, Magnesium, Barium, Silizium, Schwefel, Titan, Chrom, Vanadium, Nickel, Zink, Kupfer
Benzin, Katalysatoren	Blei, Nickel, Kobalt, Platin, Palladium, Rhodium, PAK, MTBE
Tropfverluste	Öle, Kraftstoffe, Bremsflüssigkeit, Frostschutzmittel
Verdampfungsverluste	Kohlenwasserstoffe
Korrosion	Eisen, Kupfer, Cadmium, Zink

Stoffe, die überwiegend über Straßenabwässer in die Kanalisation gelangen sind in Tabelle 4 aufgelistet. Die Zuordnung zu dem Haupteintragspfad „Straßenabwasser“ erfolgt, wenn der Mittelwert der Planungsräume für den Eintragspfad über 50 % der Gesamtfracht aus den Straßenabwassereinleitungen beträgt (Clara et al., 2014).

Tabelle 4 Zuordnung von Spurenstoffen zu Haupteintragspfaden (Zuordnung von Spurenstoffen zu Haupteintragspfaden erfolgt, wenn der Mittelwert (acht Bundesländer - ohne Wien) eines Eintragspfades über 50 % der Gesamtfracht aus Kläranlagenablauf, Niederschlagswassereinleitungen aus Trennkanalisationen, Mischwasserentlastungen und Straßenabwassereinleitungen beträgt (Clara et al., 2014)

Haupteintragspfade			
Kläranlagenablauf	Niederschlagswasser aus Trennkanalisationen	Mischwasserentlastungen	Straßenabwasser
Nickel	Cadmium	Tributylzinn	Chrom
Nonylphenolmonocarboxylat	Zink	Diphenylzinn	Triphenylzinn
PFOA	Nonylphenole	Bis(2-methoxyethyl)phthalat	Dibutylzinn
PFOS	Bisphenol-A	Diisobutylphthalat (DiBP)	Di-n-octylphthalat (DOP)
Östron	Tetrabutylzinn	Östriol	Diethylphthalat (DEP)
17b-Östradiol	Diisodecylphthalat (DiDP)	-	Diisoheptylphthalat
Dimethylphthalat (DMP)	Acenaphthen	-	Dicyklohexylphthalat
Di-n-butylphthalat (DBP)	Terbuthylazine-2-hydroxy-desethyl	-	Diisononylphthalat
Fluoren	Terbuthylazine-desethyl	-	Benzo(a)pyren
Diuron	-	-	Benzo(k)fluoranthen
Thiamethoxam	-	-	Dibenzo(a,h)anthracen
Chloridazon-methyl-desphenyl	-	-	Benzo(b)fluoranthen
Chloridazon-desphenyl	-	-	Fluoranthen
Terbuthylazine-2-hydroxy	-	-	Benzo(a)anthracen
Carbendazim	-	-	Benzo(g,h,i)perylen
Isoproturon	-	-	Indeno(1,2,3-c,d)pyren
-	-	-	Chrysen

Die mit der Verkehrsreduktion möglicherweise einhergehende Veränderung der Spurenstoffkonzentration an verschiedenen Stellen des siedlungswasserwirtschaftlichen Systems wird für ausgewählte Stoffe anhand einer SFA in weiterer Folge untersucht.

4.3.4 Analyse der Veränderungen im Gesundheitswesen

Die persönliche Hygiene ist eine der wichtigsten Maßnahmen, um eine Infektion mit dem SARS-CoV-2-Virus vorzubeugen (WHO, 2021a). Dies hatte u.A. zur Folge, dass der Wasserverbrauch mit Beginn der Pandemie stellenweise gestiegen ist (Sivakumar, 2021). Mit Ausbruch der COVID-19-Pandemie wurden zudem vermehrt planbare operative Eingriffe verschoben, um Intensivbetten freizuhalten und auch in öffentlichen Einrichtungen wurde verstärkt auf (persönliche) Hygiene geachtet (s. Abbildung 23). Die Auswirkungen davon auf die Siedlungswasserwirtschaft werden im folgenden Kapitel untersucht.

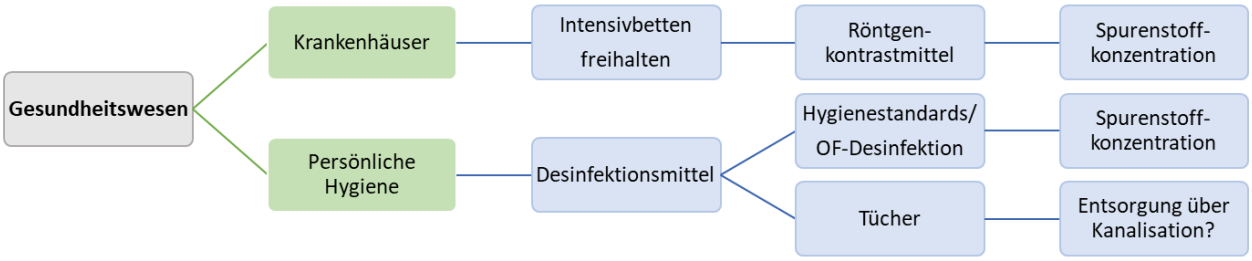

Abbildung 23 Veränderungen im Gesundheitswesen durch die COVID-19-Pandemie mit möglichen Folgewirkungen auf die Siedlungswasserwirtschaft (Eigene Darstellung)

4.3.4.1 Röntgenkontrastmittel im Abwasser

Die Beschaffenheit der biologischen Stufe von Kläranlagen und des ökologischen Zustands von Gewässer kann durch den Eintrag von Spurenstoffkonzentrationen verändert werden. Krankenhäuser haben einen hohen spezifischen Wasserbedarf (ca. 300-1000 l / Bett und Tag) und hohe Schadstofffrachten (Gartiser und Brinker, 1995). In Abbildung 24 sind die wesentlichen Abwasseranfallstellen im Krankenhaus mit Beispielen der relevanten Parameter dargestellt.

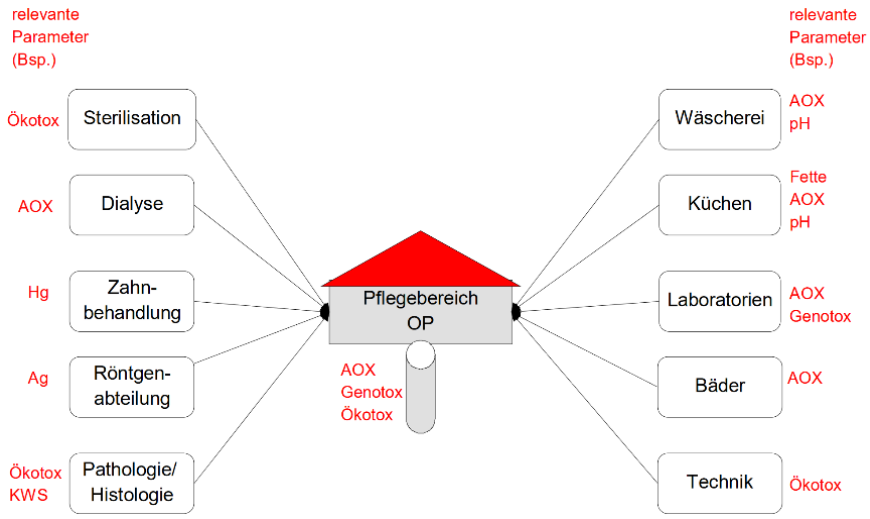

Abbildung 24 Abwasserbelastende Stoffe und Abwassersituation in Kliniken - chemische und ökotoxikologische Untersuchungen (Gartiser und Brinker, 1995)

Aufgrund zahlreicher Untersuchungen lassen sich iodhaltige Röntgenkontrastmittel (RKM) auf der Basis von Triiodbenzoesäure als Hauptverursacher der AOX – Belastung (Adsorbierbare Organisch gebundene Halogene) im Abwasser von Krankenanstalten identifizieren (Hefler, 2003; Schröder et al., 1999). Die Bilanzierung in Schröder et al. (1999) ergab folgende Prozentanteile an der jährlichen AOX-Fracht:

- Röntgenkontrastmittel: 85 %,
- Reinigungs- und Desinfektionsmittel: ca. 9 % und
- Arzneimittelwirkstoffe: ca. 6 %.

Rückstände von Röntgenkontrastmitteln finden sich in Krankenhausabwässern und kommunalem Abwasser. Der Wertebereich der Konzentrationen in µg / L ist in Tabelle 5 aufgelistet.

Tabelle 5 Röntgenkontrastmittelrückstände in Krankenhausabwasser und kommunalem Abwasser in µg / L (Mauer, 2011)

Röntgenkontrastmittel	Krankenhausabwasser		Kommunales Abwasser	
Diatrizoat	n.n – 12	FELDMANN, 2005	n.b. (Med.) – 2	BLAC, 2003
	7,6 – 30	KOOLS ET AL., 2009		
	0,5 – 1,1	KUIPER ET AL., 2009B		
Iomeprol	28 – 2.400	WEISSBRODT ET AL., 2009	0,4 (Med.) – 10	BLAC, 2003
	2.200 – 2.900	KOOLS ET AL., 2009		
	0,5 – 20	KUIPER ET AL., 2009B		
Iopamidol	< 10 – 1.120	WEISSBRODT ET AL., 2009	n.b. – 9	BLAC, 2003
	0,5 – 0,7	KUIPER ET AL., 2009B		
Iopromid	n.n. – 1.913	FELDMANN, 2005	3,5 (Med.) – 14	BLAC, 2003
	< 5 – 1.390	WEISSBRODT ET AL., 2009		
	< 0,5 – 1,3	KOOLS ET AL., 2009		
	3.000 – 4.200	KUIPER ET AL., 2009B		

Wertebereiche geben Minimal- und Maximalwerte der jeweiligen Quelle an. Sofern statt des Minimalwerts der Median angesetzt wurde, ist dies gekennzeichnet (Med.). n.n.: nicht nachweisbar; n.b.: nicht bestimmbar

Das Freihalten von Intensivbetten in Krankenhäusern führte während der COVID-19-Pandemie zu einem Rückgang operativer als auch nicht operativer Leistungen. Basierend auf den Daten der Spitalsentlassungsstatistik von Statistik Austria (Statistik Austria, 2021b), welche sich auf Daten des BMSGPK berufen, wurden 2020 rund 12 % weniger operative Leistungen erbracht als im Mittel in den Jahren 2010 bis 2019. Das entspricht rund 147.600 weniger Operationen. Eine Studie des RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung im Auftrag des Deutschen Bundesministeriums für Gesundheit zeigt aber auch, dass sich die Einschränkung operativer Eingriffe hauptsächlich auf die Periode der Lockdowns beschränkten. Die Ergebnisse der Studie lassen darauf hindeuten, dass die Eingriffe, welche ab KW 12 im Jahr 2020 verschoben wurden, im Zeitraum von KW 22 bis KW 34 im Jahr 2020 teilweise direkt nachgeholt wurden. Die Differenz der planbaren Operationen im Jahr 2020 gegenüber 2019 lag auch in dieser Studie für Deutschland insgesamt bei -12 % (Schmidt, 2021). Aufgrund dieser Daten kann auf einen reduzierten Röntgenkontrastmitteleinsatz geschlossen werden, obwohl beachtet werden muss, dass nur bei einem Teil der (nicht) operativen Leistungen RKM zum Einsatz kommt und daher keine Linearität zwischen den verschobenen Leistungen und dem RKM-Verbrauch besteht. Da RKM jedoch sehr schnell (< 24 h) und nahezu vollständig über den Urin (ca. 98 %) und Fäzes (ca. 2 %) ausgeschieden werden und beinahe unverändert in die Gewässer gelangen (Schröder et al., 1999), kann davon ausgegangen werden, dass die Konzentration von RKM im Abwasser zeitlich gekoppelt ist mit der Anzahl an medizinischen Eingriffen, bei welchen RKM zum Einsatz kommt, zum jeweiligen Zeitpunkt.

Iodorganische RKM sind biologisch schwer abbaubar und werden auch nicht durch Adsorption an Belebtschlamm zurückgehalten. Sie gelangen daher mit dem Kläranlagenablauf in die Gewässer, wo sie in bestimmtem Umfang einem fotochemischen Abbau zugänglich sind. Toxizitätstests für die Originalsubstanzen ergeben laut Umweltbundesamt keine Hinweise auf hohe akute Ökotoxizität. Die toxikologische Gefährdung durch die iodierten Stoffe ist jedoch umstritten. Hersteller beschreiben ihre Stoffe als ökotoxikologisch unbedenklich (Umweltbundesamt, 2004; Hefler, 2003). Unter (natürlichen) Umweltbedingungen, beispielsweise während der biologischen Abwasserbehandlung, der Uferfiltration sowie durch Ozonbehandlung entstehen jedoch eine große Anzahl jodierter organischer Metabolite (IKSR, 2010). In Steger-Hartmann et al. (2002) konnte zum Beispiel nachgewiesen werden, dass aus Iopromid neben anderen Metaboliten das freie Amin entsteht. Inwieweit die gebildeten Metaboliten ein ökotoxikologisches Risiko darstellen, bleibt jedoch ungeklärt. Die fehlende pharmakologische und sehr geringe toxikologische Wirkung dieser Stoffgruppe lässt jedoch auch langfristig keine ökotoxikologischen Risiken erwarten (Umweltbundesamt, 2004).

In der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen 1, 2 (AwSV) Verwaltungsvorschrift wassergefährdender Stoffe (ehem. VwVwS) von 1999 wurden die drei Röntgenkontrastmittel Iohexol, Iopentol und Iodixanol der Gefährdungsklasse 1 „schwach wassergefährdend“ zugeordnet (BMUV 1999). In der WRRL sind diese Stoffe auch nicht als prioritäre Stoffe geführt. Weder in der WRRL noch in der QVZ Chemie OG, OGewV oder GSchV sind derzeit Grenzwerte für diese RKM festgelegt (WRRL, RL 2000/60/EG).

4.3.4.2 Hygiene und Desinfektionsmittel

SARS-CoV-2 ist gegenüber Detergenzien und Desinfektionsmittel in Bezug auf die Resistenz sehr empfindlich. So haben mit Ausbruch der Pandemie Hygienekonzepte bei Veranstaltungen und in Betrieben, vermehrtes Desinfizieren von Händen und Oberflächen im privaten als auch öffentlichen Raum und ein gesteigertes persönliches Hygienebewusstsein zu einem erhöhten Verbrauch an Hygieneprodukten und folglich zu einer zusätzlichen organischen Belastung der Abwässer geführt (Lahrich et al., 2021; Shakil et al., 2020; zit. bei Elsaid et al., 2021). Zusätzlich zu den bereits erwähnten Desinfektionstüchern bzw. Feuchttüchern, welche durch eine mögliche unsachgemäße Entsorgung über die Kanalisation Probleme verursachen können (s. Kapitel 4.3.1.2), gilt es den gesteigerten Einsatz an Desinfektionsmitteln in Bezug auf die Abwasserqualität genauer zu betrachten.

Über den tatsächlichen Verbrauch an Desinfektionsmitteln während der COVID-19-Pandemie gibt es keine genauen Zahlen, aber über die Produktionsmenge kann dieser grob abgeschätzt werden. Während die Produktion von Desinfektionsmitteln in Deutschland im Januar 2020 bereits 29 % über dem Vorjahresmonat lag, wurde im April 2020 161 % mehr produziert als im April 2019 (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2020a). Händewaschen als eine der wichtigsten Hygienemaßnahmen zur Eindämmung der COVID-19-Pandemie ließ den Umsatz mit Seifen und Syndets (synthetische Detergentien) im Jahr 2020 um 77 % steigen (IKW, 2020). Diese Umsatzsteigerung spiegelt sich auch in Abwasseruntersuchungen wider. In einer vom BMLRT herausgegebene Studie zeigen sich Hinweise auf einen Trend, dass im April 2020 in untersuchten Zuläufen von Kläranlagen im Vergleich zum Vorjahr mehr Inhaltsstoffe von Kosmetika und Körperpflegeprodukten zu finden waren (Hartmann et al., 2020). Neben einem signifikant geänderten Wasserverbrauch (Lindtner und Neunteufel, 2020), könnte zugleich das geänderte Bewegungs- und Konsumverhalten der Bevölkerung zu einer Änderung beispielsweise des Verbrauchs an Haushaltschemikalien (z.B. von Seifen, Desinfektionsmitteln, Waschmitteln, Haushaltsreinigern) oder von Arzneimitteln (z.B. von Antibiotika, Schmerzmitteln und Psychopharmaka) geführt haben (Hartmann et al., 2020). In einer Untersuchung von Abwasser vor und während der Pandemie von Hartmann et al. (2020) wurden Biozide in den vier Zulaufproben von ARA von April 2020 im Vergleich zu den entsprechenden Proben aus dem Jahr 2019 etwas häufiger nachgewiesen. Diese umfassten Benzisothiazolinon (BIT), 2-Methyl-4-isothiazolin-3-on, 2-Phenylphenol und Didecyldmethylammoniumchlorid (DDAC). BIT findet sich unter anderem in der Verwendung von Biozidprodukten aus der Produktart PT 2 (Desinfektion von Oberflächen[2]) wieder. 2-Pehylphenol und DDAC finden in den Produktarten PT 1 (Menschliche Hygiene) und PT 2 Verwendung (Hartmann et al., 2020; ECHA, 2021).

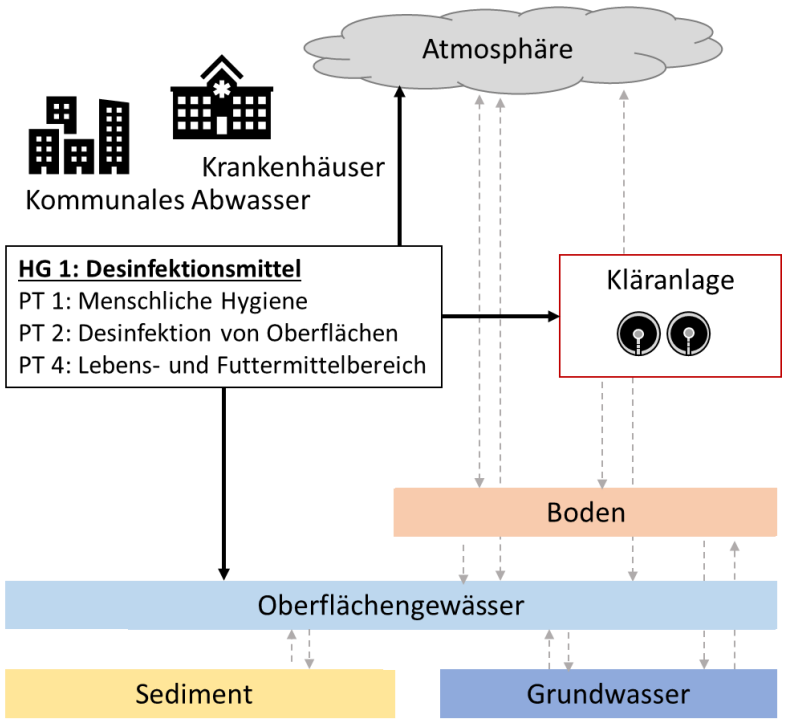

Abbildung 25 Schematische Darstellung möglicher Eintragspfade von Biozid-Produkten durch Desinfektionsmittel in die Umwelt (Verändert nach Umweltbundesamt, 2022a)

[2] PT 2 umfasst Biozid-Produkte zur Desinfektion der Luft sowie von Oberflächen, Stoffen, Einrichtungen und Möbeln, die nicht direkt mit Lebens- oder Futtermitteln in Berührung kommen, und zwar sowohl im privaten als auch im öffentlichen und industriellen Bereich, einschließlich Krankenhäuser. Hierunter fallen auch Putzmittel für private Haushalte, die mit einer antimikrobiellen Wirkung deklariert sind. Allerdings enthalten konventionelle, nicht deklarierte Putzmittel zum Teil die gleichen Inhaltsstoffe (Bürgi et al., 2009).

Die meisten Desinfektionsmittel gehören zu der Gruppe der Biozide. Vor allem im Lebensmittelbereich kommen auch Händedesinfektionsmittel zum Einsatz, die als sog. „Biozidprodukte“ registriert sind. Eine Zulassung für Biozidprodukte, die auch die Unschädlichkeit für den Anwender voraussetzt, kann erst nach Abschluss der Wirkstoffprüfung gemäß Biozid-Richtlinie 32 bzw. Biozid-Verordnung 33 erfolgen (RKI, 2016). Im Anhang V der Verordnung über Biozidprodukte werden diese in 22 Biozidproduktarten einstuft, die wiederum in vier Hauptgebiete (HG 1-4) zusammengefasst werden (ECHA, 2021).

Abbildung 25 zeigt schematisch die relevanten Eintragspfade von Biozid-Produkten. Der Weg über das häusliche Abwasser zu den Kläranlagen und weiter in die Gewässer wird laut Pieper et al. (2014) als Haupteintragspfad in die Umwelt angesehen. Bei Regenwasserentlastungen können diese Biozide auch unbehandelt aus häuslichen und / oder gewerblichen Abwässern die Gewässer erreichen. Die direkten Einträge von Desinfektionswirkstoffen über Regenwasserentlastungsanlagen, die beispielsweise bei Waschmitteln zu einem erheblichen Anteil der Gesamteinträge ins Fließgewässer beitragen können, dürfen nicht vernachlässigt werden. Unabhängig von ihrem Verhalten in Kläranlagen, können Desinfektionsmittel bei Niederschlagsereignissen über die Mischkanalisation und die Regenwasserentlastung der Kläranlagen direkt in Oberflächengewässer gelangen. Zudem können sich schwer abbaubare Verbindungen im Klärschlamm anreichern (Gartiser und Stiene, 1999).

Der Abbau von Bioziden läuft in den allermeisten Fällen über Zwischenprodukte, die wiederum langlebig und (öko-)toxikologisch relevant sein können. Unter die Biozid-Produkte für die menschliche Hygiene fallen die Hand- und Hautdesinfektionsmittel. Diese enthalten häufig große Anteile an Alkoholen und werden vorwiegend in Krankenhäusern und Arztpraxen, in der Pflege und im lebensmittelverarbeitenden Bereich eingesetzt (Bürgi et al., 2007; zit. bei Kahle und Nöh, 2009). Über diese Pfade kann es durch die akkumulierende Wirkung der Biozide und Nebenprodukte (Disinfection by-products (DBP)) zu Belastungen und ggf. auch zur Schädigung von Mensch und Umwelt kommen. Dabei ist entscheidend wie effizient in einer angeschlossenen Kläranlage eine entsprechende Substanz aus dem Abwasser eliminiert werden kann (Pieper et al., 2014).

Zum Schutz des Menschen vor übertragbaren Krankheiten dürfen bei behördlich angeordneten Desinfektionsmaßnahmen gemäß §18 des Infektionsschutzgesetzes jedoch nur Mittel und Verfahren verwendet werden, die vom RKI auf Wirksamkeit und vom Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte bzw. vom Umweltbundesamt auf Unbedenklichkeit für Gesundheit und Umwelt geprüft und in eine vom RKI veröffentlichte Liste aufgenommen worden sind (RKI, 2017). Für den Krankenhausbereich geeignete Desinfektionsmittel und -verfahren sind in verschiedenen Listen der Fachgremien und Behörden aufgeführt. Die Liste des Robert-Koch-Instituts für vom RKI geprüften und anerkannten Desinfektionsmittel und -verfahren gilt als verbindlich für den Seuchenfall (RKI, 2017).

Desinfektionsmittel haben keine standardisierte Inhaltszusammensetzung. Da der Hauptanteil des Wirkstoffverbrauchs auf alkoholische Hautdesinfektionsmittel zurückzuführen ist und diese zum großen Teil verdunsten, können sie als kaum abwasserrelevant angesehen werden (Gartiser und Stiene, 1999). Dazu gehören alkoholbasierte Desinfektionsmittel mit Ethanol, n-Propanol und Isopropanol. Neben diesen Alkoholen werden zur Wirkungsverstärkung eine Reihe weiterer Alkohole als Kombinationspartner in Händedesinfektionsmitteln eingesetzt (z.B. Butan-1-ol und Propan-1-2-diol). Mitunter werden alkoholbasierten Formulierungen antiseptischer Wirkstoffe mit der Zielsetzung einer nachhaltigen Wirkung (Remanenz) zugesetzt, z.B. Chlorhexidin (Wassergefährdungsklasse (WGK 3) und quaternäre Ammoniumverbindungen (QAV) (WGK 2) (RKI, 2016; Umweltbundesamt, 2022c). Die folgenden Auswahl an bioziden Wirkstoffen kommt, zusätzlich zum Alkohol, in Händedesinfektionsmittel häufig zum Einsatz: Benzalkoniumchlorid, CHG, Mecetroniumetilsulfat, Octenidindihydrochlorid oder ortho-Phenylphenol (Kampf, 2018; Kampf et al., 2017). Für die routinemäßige Flächendesinfektion werden häufig Präparate auf Basis QAV wie Benzalkoniumchlorid oder DDAC eingesetzt (RKI, 2020).

Nach Einschätzung der Wirtschaftskammer Österreichs (WKÖ) sind derzeit geschätzte 90 % der österreichischen Desinfektionsmittel auf Ethanolbasis (70 – 80 Gew%) (WKO, 2020).

Bei Eindringen von Ethanol in Wasser beträgt die Halbwertszeit weniger als 10 Tage. Die Halbwertszeit bei einem Entweichen in die Atmosphäre beträgt weniger als 5 Tage, wobei eine Beseitigung durch nasse Deposition überwiegt. Die biologische Abbaubarkeit und Verflüchtigung sind erwartungsgemäß wichtige Transport- und Verbleibprozesse (s. Abbildung 26) (ChemicalBook, 2017). Ethanol ist nach der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) schwach wassergefährdend (WGK 1) (Umweltbundesamt, 2022c).

Der vermehrte Eintrag von Desinfektionsmitteln kann unter Umständen die Funktion von Kläranlagen entscheidend stören und die Reinigungsleistung der Kläranlagen verringern, woraus ein Schadstoffeintrag in Flüsse und Seen resultiert. Bei Eindringen einer großen (unverdünnten Menge) an Desinfektionsmittel besteht zudem in der Kanalisation Explosionsgefahr (KemRisk, 2021). Ein Teil der Wirkstoffe verdunstet bereits während der Anwendung (Alkohole, Aldehyde) oder reagiert mit anderen Abwasserinhaltsstoffen. Oft sind die bei unvollständigem biologischem Abbau gebildeten Metabolite problematischer als die Wirkstoffe selbst, da sie eine höhere Persistenz aufweisen können oder aufgrund ihrer oftmals besseren Wasserlöslichkeit als die der Ursprungssubstanz in angeschlossene Gewässer eingetragen werden. Darüber hinaus können weitere Stoffe, die neben den Wirkstoffen in den Biozidprodukten enthalten sind (Beistoffe), die Umwelt zusätzlich belasten (Pieper et al., 2014). So ist bekannt, dass QAV mit anionischen Tensiden ein Ionenpaar bilden und dabei inaktiviert werden. QAV, Aldehyde und andere Wirkstoffe reagieren zudem mit Zellproteinen zu schwerlöslichen Verbindungen (Kahle und Nöh, 2009). QAV können auf Kläranlagen zu Nitrifikationshemmung, wie auch einer Beeinflussung des Kohlenstoffabbaus mit zunehmender Konzentration führen (Gans et al., 2005).

Vor allem auch die vermehrte Verwendung von chlorbasierten Desinfektionsmitteln im Outdoor und Indoor-Bereich als auch bei der Desinfektion von (Ab-)Wasser vor allem zu Beginn der COVID-19-Pandemie wurden in mehreren Studien problematisch beschrieben (Poch et al., 2020; Chu et al., 2021). In der Studie von Chu et al. (2021) wird bei Beginn der Pandemie 2020 eine Erhöhung der Chlor-Dosis auf ARA als Vorsorgemaßnahme um das 3-fache tituliert. Zu den Rückständen der chlorbasierten Desinfektionsmittel kommt die unbeabsichtigte Entstehung von potenziell schädlichen DBP, die mit dem gereinigten Abwasser in die Flüsse gelangen. Die Studie von Li et al. (2021) zeigte jedoch, dass der gestiegene Verbrauch an Desinfektionsmitteln keinen signifikanten Anstieg der Konzentration an DBP zur Folge hatte.

	Daphnien	Fische	Bakterien	biol. Abbau
Alkohole	0	0	0-1	+++
Aldehyde	0-2	0-2	0-2	+++
Org. Säuren	0-1	0-1	0-1	++ - +++
Phenole	2	1-3	1	++
Isothiazoline	3	3	3	+
Alkylamine/Derivate	3	3	1-2	+-++
QAV	3	1-2	1-3	+-++
Guanidine	3	3	2-3	+
Halogenabspalter	2	2	1-3	++
Peroxide	2-3	1	2	++

Die Einstufung der Ökotoxizität erfolgte in Anlehnung an die Vorgaben der GefahrstoffVO:

Bewertungszahl	Bewertung	LC_{50} bzw. EC_{50}
0	Unschädlich	>100 mg/l
1	Schädlich	10-100 mg/l
2	Giftig	1-10 mg/l
3	Sehr giftig	<1 mg/l

Die Einstufung der biologischen Abbaubarkeit erfolgte nach den folgenden Kriterien:

+++	leichte biol. Endabbaubarkeit nachgewiesen
++	biologisch abbaubar
+	biologisch schwer abbaubar oder widersprüchliche Ergebnisse

Abbildung 26 Summarische Bewertung der Ökotoxizität und Abbaubarkeit von Desinfektionsmitteln (Gartiser und Stiene, 1999)

Laut Gartiser und Stiene (1999) ist eine Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit kommunaler Kläranlagen durch Desinfektionsmittel aus dem Krankenhausbereich i.d.R. nicht zu erwarten, da sowohl die Ökotoxizität als auch gentoxische Effekte der Desinfektionsmittel in der ARA abgebaut werden. Bei kleineren ARA kann dies unter ungünstigen Bedingungen (Stoßbelastung) aber nicht ausgeschlossen werden. Die Aussagen von Anlagenbetreiber*innen bei den Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften im ÖWAV (KAN) am 27.05.2020 bestätigten, dass keine Beeinträchtigung der biologischen Stufe durch Desinfektionsmittel beobachtet werden konnte (KAN, 2020).

4.4 Material – Detailanalyse 2 (Stoffstromanalyse)

Für bestimmte siedlungswasserwirtschaftlich-relevante Parameter werden nun in einer Stoffstromanalyse die Input- und Outputströme in Masseneinheiten quantifiziert. Dabei wird darauf geachtet, dass die Masseerhaltung erfüllt ist, d. h. der Massenzufluss dem Massenabfluss entspricht. Abbildung 27 zeigt den Weg der Stoffe über das Abwassersystem bzw. die Gewässer. In Kapitel 5 werden exemplarisch einzelne Spurenstoffe anhand einer SFA ausgewertet.

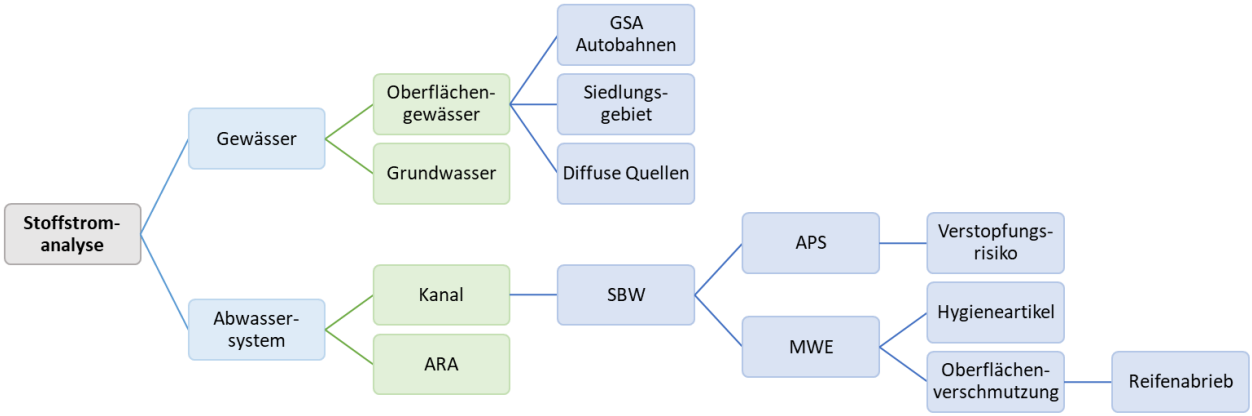

Abbildung 27 Systemanalyse über SFA als Fließbild (Detailanalyse) (Abk.: GSA: Gewässerschutzanlage, SBW: Sonderbauwerk, MWE: Mischwasserentlastung, APS: Abwasserpumpstation) (Eigene Darstellung)

4.4.1 Systemdefinition

Dieser Entwurfsvorgang beinhaltet die Festlegung der Struktur des Systems. Dabei wird die Basis für eine frachtbasierte Darstellung des Austrags unterschiedlicher Parameter aus der Siedlungswasserwirtschaft, aufgeschlüsselt nach deren Austragspfaden, dargestellt. Die Verfügbarkeit und Qualität der Daten war mitentscheidend für die Struktur und den Detaillierungsgrad des Systems. Die Umsetzung erfolgte anhand eines Systemverständnisses, wie in Abbildung 28 veranschaulicht, und umfasst folgende Annahmen zur Systemgrenze, zu den Stoffen und zu den Prozessen.

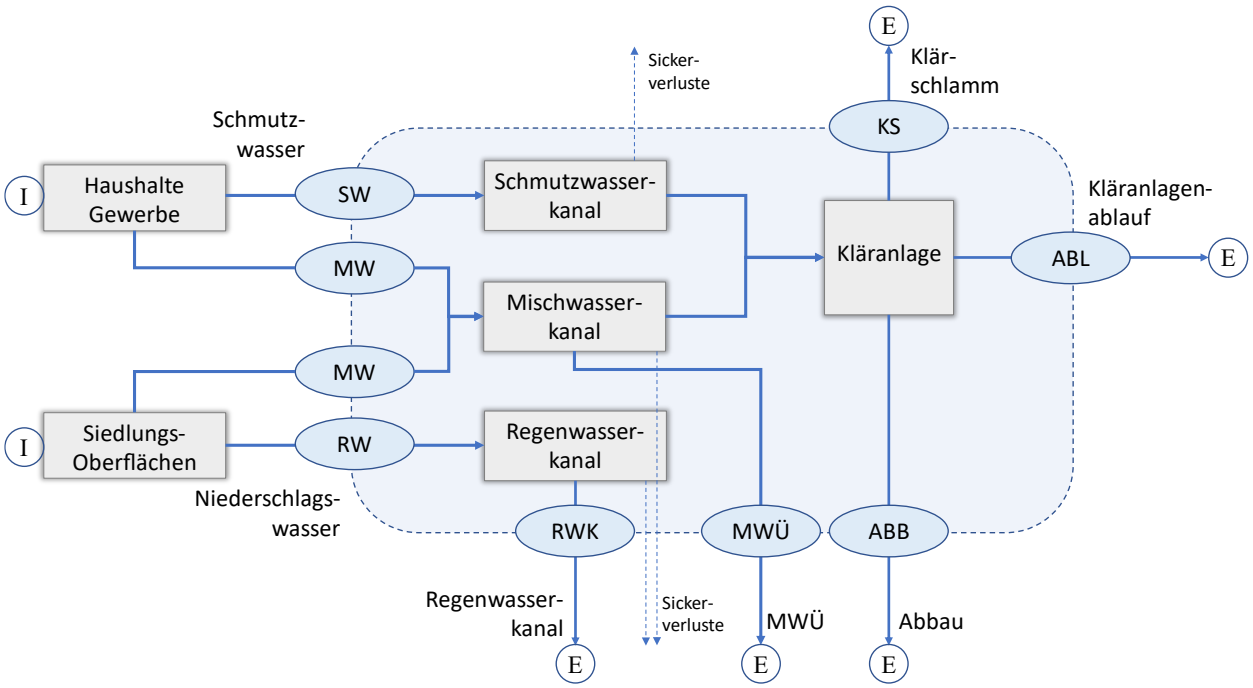

Abbildung 28 Konzeptuelles Stoffflussmodel von Stoffeinträgen in die Siedlungswasserwirtschaft und der Austragspfade aus der Siedlungswasserwirtschaft (verändert nach Zessner et al., 2022)

Definition der Systemgrenzen (räumlich und zeitlich)

Das System wird auf der einen Seite durch den Ort der Abwassererzeugung (Haushalt / Gewerbe und Siedlungsoberflächen) und auf der anderen Seite durch den Ablauf der ARA begrenzt. Beim Ausfluss aus der ARA teilt sich die Stoffmenge in die Transformation zu Klärschlamm, Abbau oder in den Ablauf in die Gewässer. Auch ein direkter Abfluss in die Gewässer über den Regenwasserkanal bzw. die Mischwasserentlastung ist möglich. Es werden alle in der Kanalisation gesammelten Abwässer betrachtet.

Die zeitliche Systemgrenze ist auf den Zeitraum von einem Jahr festgelegt, wobei immer berechnet wird, welche Änderungen ein Lockdown für den jeweiligen Stoff bringen würde. Es werden jeweils eine 10 %-ige, 30 %-ige und eine 50 %-ige Abnahme des jeweiligen Stoffes im Input berechnet. Bei der Annahme, dass innerhalb des Modellzeitraums ein Lockdown von insgesamt drei Monaten stattfand, ist folgend mit einer Abnahme von 2,5 %, 7,5 % bzw. 12,5 % über ein Jahr gesehen, zu rechnen.

Definition der Prozesse und Güter

Dabei wird, anlehnend an das SiWaWi-Projekt (Zessner et al., 2022), davon ausgegangen, dass ein Stoff einerseits aus Verbrauchsprodukten in Haushalten oder aus Gewerbe und Industrie und dem damit verbundenen Eintrag in das kommunale Schmutzwasser und andererseits über den Eintrag durch atmosphärische Deposition, Korrosion oder Ähnlichem über den Oberflächenabfluss ins Niederschlagswasser gelangt. Weiters wird der Stoff über den Mischwasserkanal oder im Schmutzwasserkanal zur Kläranlage transportiert bzw. gelangt er über den Mischwasserüberlauf oder Regenwasserkanalisation in die Umwelt. Je nach Eigenschaft wir der Stoff in der Kläranlage abgebaut, im Klärschlamm gebunden oder im Kläranlagenablauf emittiert.

Innerhalb dieses definierten Systems gibt es den Prozess der Abwasserableitung durch die Kanalisation und die ARA. Dabei ist der Importfluss der „Zulauf“, eine zuströmende Abwassermenge, welche eine gewisse Spurenstoffkonzentration enthält, in den Kanal. Hier wird je nach Trenn- und Mischsystem zwischen Schmutzwasser- , Regenwasser- und Mischwasserkanal unterschieden. Der Prozess besitzt fünf Outputströme. Fluss 1 „Ablauf“ enthält die Spurenstoffmenge, die in den Prozess „Gewässer“ gelangt. Damit wird angegeben, wie hoch die Fracht der betrachteten Spurenstoffe ist, die in den Vorfluter der Kläranlage gelangt. Fluss 2 „Klärschlamm“ endet in dem Prozess „Abfallwirtschaft“ und gibt die Fracht des jeweiligen Spurenstoffs an, welche über den Klärschlamm ausgetragen wird. Der Fluss 3 „Abbau“ zeigt an, wie viel der Spurenstofffracht bereits im Prozess abgebaut bzw. transformiert wird. Die Outputflüsse 4 „Regenwasserabfluss“ und Fluss 5 „Mischwasserüberlauf“ zeigen an, wie viel über den jeweiligen Kanal direkt im Prozess „Gewässer“ enden. Weitere Flüsse, wie Sickereinträge, werden nicht bilanziert, existieren jedoch in der Realität. Die definierten Prozesse werden über die Input- und Outputgüter miteinander verknüpft.

Optimalerweise wird ein Stoff in der ARA abgebaut bzw. in CO_2 und H_2O mineralisiert. Ein weiteres Szenario ist, dass der Stoff als Metabolit die Kläranlage verlässt. Dieser Fall konnte im Zuge dieser Studie, wie auch schon in der Studie von Zessner et al. (2022), nicht weiter behandelt werden. Wenn in weiterer Folge von „Abbau“ die Rede ist, kann nicht ausgeschlossen werden, dass eine Metabolisierung vorliegt.

Auswahl der Stoffe

Die Auswahl der Spurenstoffe aus dem Verkehrssektor erfolgt anhand der Zuordnung zum Haupteintragspfad „Straßenabwasser“ von Clara et al. (2014) bzw. aus der Auflistung der Stoffquellen und Stoffemissionen durch den Kraftfahrzeugverkehr von Ertl et al. (2016) und der Studie von Hillenbrand et al. (2005). Für den in Tabelle 6 exemplarischen Anteil der Parameter wurde jeweils eine Ebene mit deren jährlichen Fracht erstellt und eine SFA durchgeführt.

Tabelle 6 Ausgewählte Parameter für die weitergehenden Auswertungen, Zuordnung in Stoffgruppen sowie eindeutige Identifizierung durch CAS-Nummer (Abk. Mischt: gemischter Eintrag über Schmutz- und Niederschlagswasser) (Zessner et al., 2022)

Parameter	CAS-Nr.	Gruppe	Herkunft	Abbaubarkeit	Adsorption	Hauptaustragspfad
Cadmium	7440-43-9	Schwermetall	Mischt	schlecht	gut	Klärschlamm
Benzo(a)pyren	50-32-8	PAK	Niederschlag	schlecht	gut	Klärschlamm
Chrom	7440-47-3	Schwermetall	Mischt	schlecht	gut	Klärschlamm
Fluoranthen	206-44-0	PAK	Niederschlag	schlecht	gut	Klärschlamm
Benzo(k)fluoranthen	207-08-9	PAK	Niederschlag	schlecht	gut	Klärschlamm
Benzo(b)fluoranthen	205-99-2	PAK	Niederschlag	schlecht	gut	Klärschlamm
Dibenzo(a,h)anthracen	53-70-3	PAK	Niederschlag	schlecht	gut	Klärschlamm
Dibutylzinn	1002-53-5	Industrie Chemikalie	Mischt	mittel	gut	Klärschlamm

4.4.2 Verwendetes Datenmaterial und Datenaufbereitung

Die Berechnung der Massenbilanz für die Stoffstromanalyse erfolgte mittels Tabellenkalkulationssoftware Microsoft Excel.

Als Referenz wurde pro Spurenstoff jeweils ein Modell für den sog. „Referenzzustand“ (Zeitraum vor Ausbruch der Corona-Pandemie) erstellt und auf Basis von diesem Modell jeweils die Stoffströme bei einer Verkehrsreduktion von 10 %, 30 % und 50 % über drei Monate gegenüber dem Referenzzustand berechnet.

4.4.2.1 Güterflüsse

Für die Berechnung der Frachten in den unterschiedlichen Eintrags- und Austragspfaden aus der Siedlungswasserwirtschaft wurde die Wasserbilanz typischer siedlungswasserwirtschaftlicher Systeme zu Grunde gelegt. Da die Analyse möglichst repräsentativ für Österreich gestaltet werden sollte, wurde die Stoffflussanalyse für jeweils ein urbanes siedlungswasserwirtschaftliches System mit überwiegend Mischkanalisation (z.B. Tulln, AT) und für ein urbanes siedlungswasserwirtschaftliches System mit überwiegend Trennkanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT) durchgeführt. Der Fokus lag auf urban geprägte Systeme, da der überwiegende Teil der EW in Österreich über urbane Systeme entsorgt wird und die vorhandenen Konzentrationsdaten überwiegend aus urbanen Gebieten stammen sowie ein Transfer auf ländliche Gebiete problematisch erscheint (Zessner et al., 2022). Die Abschätzungen der Wasserbilanz für alle österreichischen Kläranlagen >2.000 EW sind aus dem Projekt SCHTURM bekannt (Clara et al., 2014). Dieser Datenbank wurden die Eingangsdaten für die SFA entnommen, wobei die ARA Tulln als Beispiel für ein städtisches Gebiet mit überwiegend Mischkanalisation (s. Abbildung 29) und die ARA Klosterneuburg als Beispiel für ein städtisches System mit überwiegend Trennkanalisation gewählt wurde (s. Abbildung 30).

Die Kenndaten der Einzugsgebiete umfassen die Daten zu Dachflächen, Straßenflächen, dem jeweiligen Anteil an Mischwasser- bzw. Trennkanalisation, Jahresniederschlag, Ausbaugrad der angeschlossenen ARA und den Jahresschmutzwasseranfall. In Tabelle 7 sind die in der folgenden Analyse verwendeten Kenndaten aufgelistet.

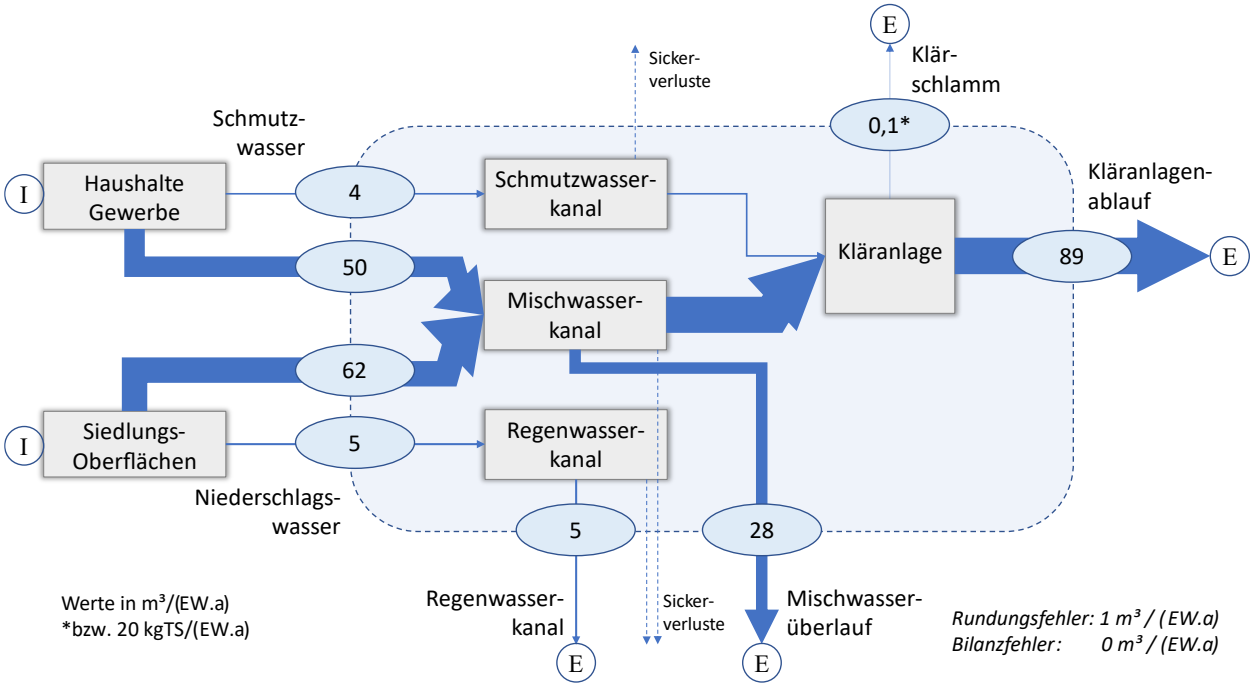

Abbildung 29 Mittlere Jahreswasserbilanz des Einzugsgebietes der ARA Tulln (urbanes siedlungswasserwirtschaftliches Gebiet mit überwiegend Mischkanalisation) bezogen auf EW (verändert nach Zessner et al., 2022)

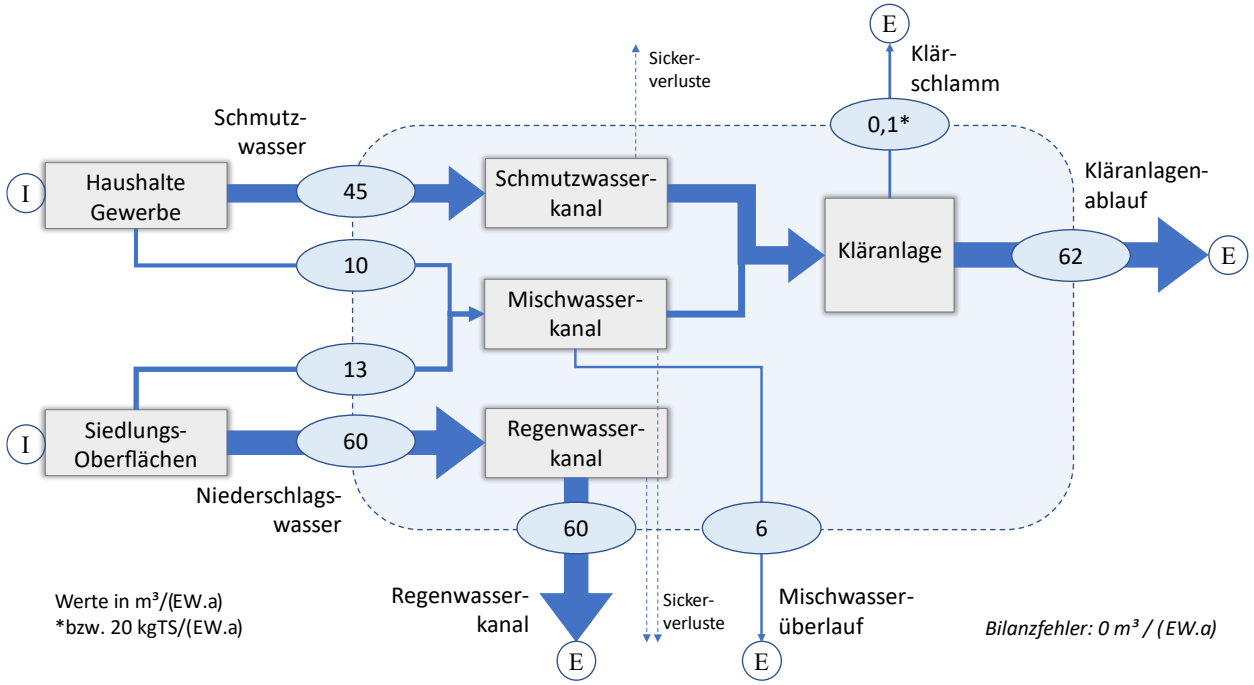

Abbildung 30 Mittlere Jahreswasserbilanz des Einzugsgebietes der ARA Klosterneuburg (urbanes siedlungswasserwirtschaftliches Gebiet mit überwiegend Trennkanalisation) bezogen auf EW (verändert nach Zessner et al., 2022)

Tabelle 7 Kenndaten der Einzugsgebiete (Zessner et al., 2022)

		Tulln	Klosterneuburg
Anteil Mischsystem	(%)	92	18
Anteil Trennsystem	(%)	8	82
Jahresniederschlag im EZG	(m³/a)	1 387 054	2 495 529
Jahresschmutzwasseranfall im EZG	(m³/a)	1 085 528	1 655 804
Versickerung	(m³/a)	52 514	287 709
Anteil angeschlossene Straßenflächen	(%)	37	45
Ausbaugrad ARA	(EW)	45 000	47 500

4.4.2.2 Stoffkonzentrationen

Ausgehend von der Annahme einer typischen Entsorgungssituation in Österreich wurden die Werte für die Konzentrationen in den verschiedenen Pfaden aus entsprechenden Datensätzen genommen. Die Grundlage der Spurenstoffkonzentrationen bot dabei die für das Projekt SiWaWi erstellte BOKU Datenbank (Zessner et al., 2022). Diese Datenbank enthält u.a. die Messwerte aller hier analysierten Spurenstoffkonzentrationen zusammengetragen aus diversen Literaturquellen. Die Werte sind in µg / L angegeben. Der Schlamm wird in mg / (kg TS) angeführt.

Die mittleren Konzentrationen in Schmutzwasser (bei Trockenwetterbedingungen) und im Niederschlagswasser aus Zessner et al. (2022) wurden verwendet, um über die Wassermengen im jeweiligen urbanen System die Frachten in Schmutzwasser-, Niederschlagswasser- und Mischwasserkanälen zu berechnen. Für die Berechnung der spezifischen Fracht in mg / (EW.a) wurde die Fracht durch den jeweiligen EW dividiert. Der Anteil des jeweiligen Eintragspfades wurde über den Gesamteintragspfad aus Schmutzwasser und Niederschlagswasser berechnet. Die Mittelwerte der Konzentrationsauswertung wurden auch verwendet, um über die Wasserbilanz die Frachten im Regenwasserkanal, Mischwasserüberlauf, dem Klärschlamm sowie die Ablaufmengen aus der Kläranlage zu ermitteln. Für die Berechnung der Schlammenge wurde ein Ansatz mit 20 kg TS / EW.a gewählt.

Eine Quantifizierung der Emissionen von Kfz, mit ihren potentiell relevanten Eintragspfaden (Reifenabrieb, Bremsabrieb, Fahrbahnabrieb, Karosserieemissionen ect.) kann über fahrzeugkilometerbezogene Emissionsfaktoren vorgenommen werden (Clara et al., 2020). Die gefahrenen Kilometer pro Jahr müssten dann in den Gebieten nach Fahrzeugtypen aufgeschlüsselt werden. Eine detaillierte Aufschlüsselung konnte mangels verfügbarer Daten auf Ebene der Untersuchungsgebiete jedoch nicht durchgeführt werden. Deshalb wurde eine Abschätzung der jeweiligen Spurenstoffreduktion mit einer Verkehrsreduktion von 10 %, 30 % und 50 % vorgenommen. Zusätzlich erforderte die Betrachtung der Straßenabwässer eine Unterteilung des Eintragspfades Niederschlagwasser in Ablauf von Straßenoberflächen und Dachflächen. Die Konzentration von den Straßenabwässern wurde dem SCHTURM-Projekt (Clara et al., 2014) entnommen.

Für die Berechnung der Spurenstoffreduktion, aufgrund der Abnahme des Verkehrsaufkommens während eines Lockdowns, wurden mehrere Annahmen getroffen. Zum einen wurde angenommen, dass der Spurenstoffeintrag bei einer Verkehrsreduktion über drei Monate linear übers gesamte Jahr verteilt, gleichmäßig geringer ist. Weiter wurde zur vereinfachten Berechnung festgelegt, dass der Mischwasserüberlauf gleichmäßig über das ganze Jahr anspringt. Zudem wurde davon ausgegangen, dass der Spurenstoffeintrag linear mit der Verkehrsreduktion abnimmt.

Die prozentuelle Gegenüberstellung der Anteile von Stoffen an den jeweiligen Ein- und Austragspfaden von Zessner et al. (2022) diente der Plausibilitätskontrolle, über welchen Pfad ein Stoff überwiegend ein- bzw. ausgetragen wird. Im Anschluss wurden die Input- und Outputsummen verglichen, um im Sinne einer Stoffbilanz die Datenlage zu überprüfen. Bei allen untersuchten Stoffen wurde davon ausgegangen, dass kein Abbau im System erfolgt.

5. Ergebnisse und Diskussion

5.1 Ursache-Wirkungs-Analyse

Eine Übersicht der methodischen Grobanalyse gibt das in Abbildung 31 dargestellte Ursache-Wirkungs-Diagramm. Dabei entsprechen die gesellschaftlichen Veränderungen den möglichen „Ursachen“ für die „Auswirkungen“ auf die relevanten Kompartimente des Systems (Industrie, Gewerbe, Ausgangsbeschränkungen („Quarantäne“) und Gesundheitswesen). Das Diagramm dient als Grundlage für das im nächsten Schritt entwickelte konzeptuelle Modell.

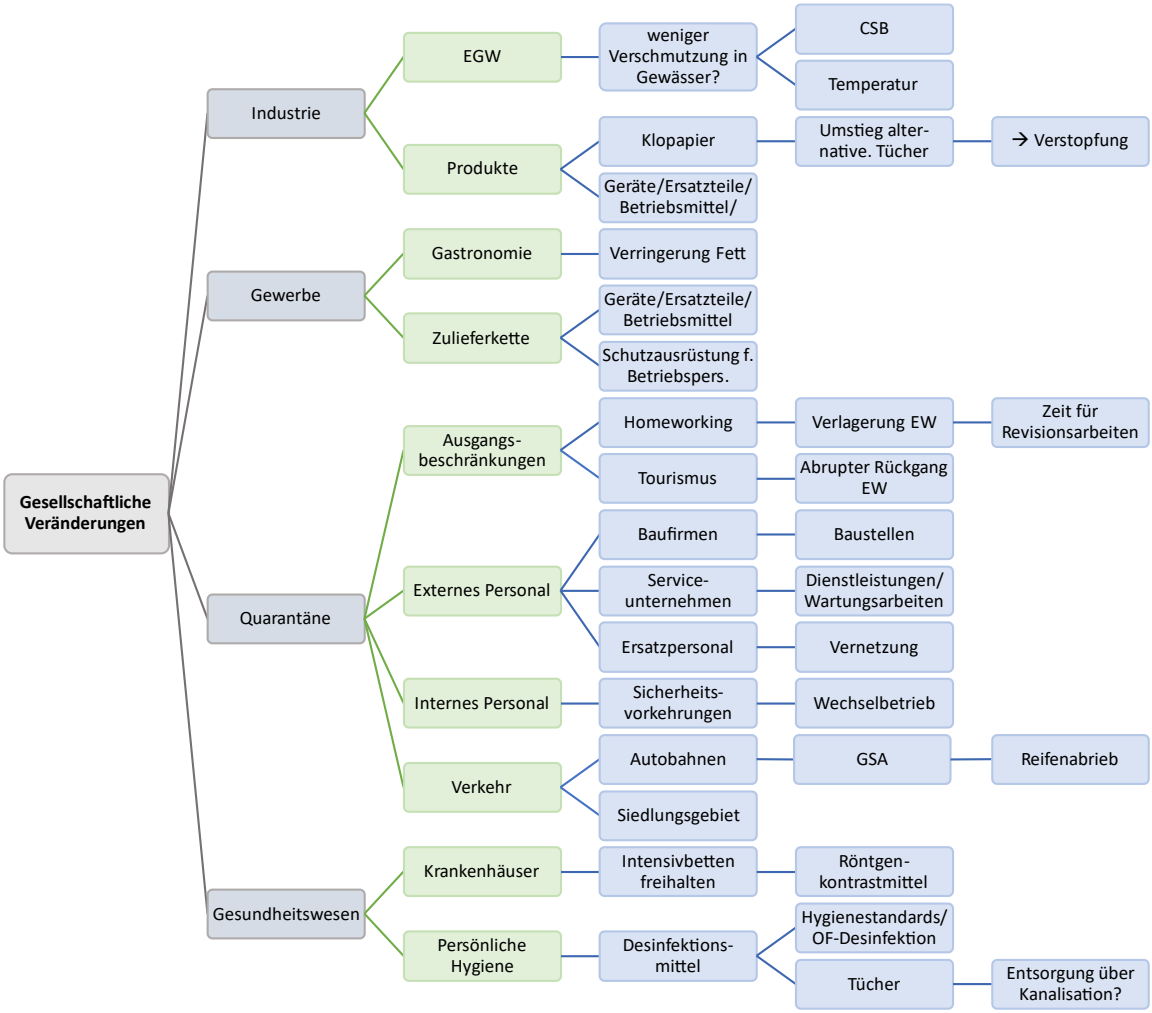

Abbildung 31 Ursache-Wirkungs-Diagramm der gesellschaftlichen Veränderungen im Pandemiefall (Eigene Darstellung)

5.2 Konzeptuelles Modell (Kausalschleifen-Diagramm)

Aus der Beantwortung der ersten Forschungsfrage resultiert das in Abbildung 32 dargestellte CLD. Es dient der Visualisierung und dem Verständnis der komplexen Zusammenhänge der in Kapitel 4.3 beschriebenen Flüsse. Dargestellt und lokalisiert werden die verstärkenden und reduzierenden Effekte des dynamischen Systems.

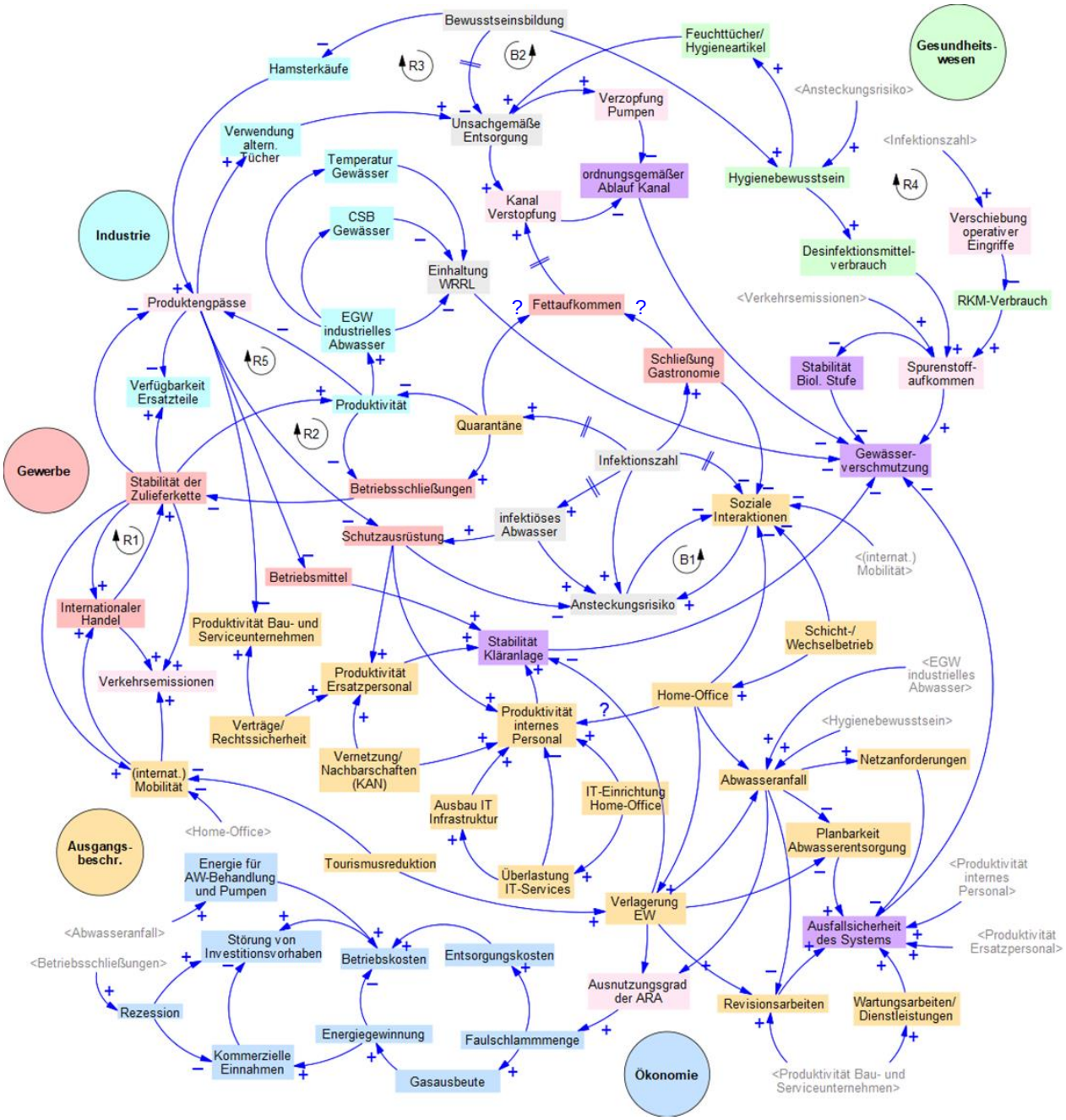

Abbildung 32 CLD für das System „Auswirkungen einer Pandemie auf die Abwasserwirtschaft und den Gewässerschutz“ (Eigene Darstellung)

Das CLD in Abbildung 32 gibt die wichtigsten zusammenhängenden Muster und Rückkopplungen zwischen den wesentlichen Bestandteilen des Systems wieder. Dabei ist zu beachten, dass dieses Diagramm nur einen stark vereinfachten Ausschnitt der Wirklichkeit wiedergibt. Die Farben kennzeichnen die Zugehörigkeit zu einem der Kompartimente Industrie (türkis), Gewerbe (rot), Ausgangsbeschränkungen (orange) oder Gesundheitswesen (grün). Zusätzlich sind auch die wirtschaftlichen Auswirkungen (blau) dargestellt. Falls keine eindeutige Zugehörigkeit zu einem Sektor bestand, wurde der Parameter grau eingefärbt.

Die Flüsse, für die bei der Analyse keine klare Zuweisung zu einer positiven bzw. negativen Beeinflussung gefunden werden konnte, wurden mit einem Fragezeichen „?“ versehen. Diese Ströme bedürfen einer weitergehenden Untersuchung.

Das von der Regierung verhängte Maßnahmenpaket, das unter anderem Quarantäne- und Reisebeschränkungen, Kampagnen zur Kontaktreduzierung oder auch Einschränkungen des Gewerbes und der Industrie beinhaltetet, wirkt initiierend für die meisten Veränderungen im System. Jede dieser Maßnahmen hat einen Einfluss, ausgleichend oder verstärkend, auf andere Aspekte des Systems. Um nur ein Beispiel herauszugreifen wird in dem CLD deutlich, dass die Regelungen zur Kontaktbeschränkung einen signifikanten und unmittelbaren Einfluss auf den Betrieb einer ARA haben, wobei diese möglicherweise langfristige ökologische, ökonomische und soziale Konsequenzen nach sich ziehen können. Dabei ist der Arbeitsbetrieb direkt betroffen und eine Umstellung auf Schicht- oder Wechselbetrieb wird nötig. Zusätzlich müssen Home-Office-Plätze für die Arbeitnehmer*innen mit IT- und Kommunikationsinfrastruktur eingerichtet werden. Für die Setzung von Maßnahmen für Anlagenbetreiber*innen ist es entscheidend auch die Stellen im System zu erkennen, welche verzögert wirksam werden. An diesen Stellen braucht es eine gewisse Zeit von der Initiierung bis zur Auswirkung auf das System. Das prominenteste Beispiel dafür ist wohl die Zeit zwischen der Infektion einer Person und dem Auftreten der Symptome, die Inkubationszeit, und somit die Absonderung der Person. Während die Kontaktreduktion und die persönliche Hygiene effektive Maßnahmen zur Vermeidung der Übertragung des Virus sind, ist es eine Herausforderung für die Bevölkerung ihr Verhalten innerhalb kurzer Zeit zu verändern und zusätzlich noch über einen langen Zeitraum beizubehalten. Auch diese Maßnahmen brauchen eine gewisse Zeit, bis sie von der Bevölkerung umgesetzt werden.

Die Rückkopplungsschleifen markieren die wechselseitige Beziehung zweier Komponenten. Wenn die Zulieferkette stabil ist, floriert der internationale Handel, womit wiederum eine funktionierende Zulieferkette sichergestellt wird. Bei einem Einbruch des internationalen Handels bricht auch die Zulieferkette zusammen und damit ist wiederum der internationale Handel gestört (R1). Anhand der Rückkopplungsschleifen kann identifiziert werden, ob eine Maßnahmensetzung eine systemweite Veränderung hervorruft oder ob es die Notwendigkeit gibt etwas zu verbessern bzw. eine neue Lösung zu finden. Dem Auftreten von positiven Rückkopplungsschleifen (R) soll besondere Beachtung geschenkt werden. Diese haben einen verstärkenden Effekt und weisen auf die Auslöser von Wachstum bzw. Beeinträchtigung und Defekten hin, welche ein Eingreifen von Entscheidungsträger*innen erfordern (Sahin et al., 2020).

Die Unsicherheit in der Bevölkerung und nicht zuletzt die Empfehlung der Vorratshaltung von Seiten der Regierung (BMI, 2022) führte außerdem zu Hamsterkäufen (Toilettenpapier, Seife, Desinfektionsmittel etc.) (R3). Der daraus hervorgehende Mangel an Toilettenpapier lässt einen erhöhten Einsatz von alternativen Tüchern (Küchenrollen, Feuchttücher ect.) vermuten, der, aufgrund der schlechteren Zersetzung der alternativen Tücher, möglicherweise eine Verstopfung im Kanal, zur Folge haben könnte. Die Bewusstseinsbildung in der Bevölkerung fördert auch ein gesteigertes Hygienebewusstsein (B2) und dadurch einen höheren Verbrauch von Desinfektionsmittel, -tüchern und Wasser. Diese resultierenden Probleme (Verzopfungen, Verstopfungen ect) entstehen durch den Einfluss falscher oder fehlender Informationen, welche eine eingeschränkte Rationalität und Ängste in der Gesellschaft auslösen (Sahin et al., 2020).

Die positive Rückkopplungsschleife R3 (Hamsterkäufe) spiegelt die zunehmenden sozialen Belange wider. Das Management der sozialen Interaktionen stellt eine große politische Herausforderung dar. Das Abwägen der Maßnahmen ist ein Balanceakt: Kontaktbeschränkungen beizubehalten ist die effektivste Maßnahme, um die Übertragung eines Virus zu unterbinden, hat jedoch auch die größten Auswirkungen auf das soziale, ökonomische und ökologische System. In kürzester Zeit führte im Rahmen der Lockdowns während der COVID-19 Pandemie die Zunahme an Maßnahmen zu ökonomischen Konsequenzen in einem beispiellosen Ausmaß (McKibbin und Fernando, 2020). Die Kontaktbeschränkungen während der COVID-19-Pandemie führten zur Schließung mancher Betriebe. Dadurch konnte die Zulieferkette nicht mehr sichergestellt werden, was wiederum eine negative Auswirkung auf die wirtschaftliche Produktivität der einzelnen Betriebe hatte, infolgedessen wiederum Betriebe geschlossen werden mussten. Die inter- und transnationalen Reisebeschränkungen waren mitverantwortlich für die Aktienmarkt-Volatilität und Störungen in beinahe dem gesamten industriellen Sektor. Dadurch verhinderten diese Beschränkungen den internationalen Handel und die Mobilität (R1 und R2).

Ausgleichend wirkt sich im Allgemeinen hingehen der Effekt von Kontaktbeschränkungen auf das Ansteckungsrisiko aus (B1). Die Anzahl der sozialen Interaktionen ist im Pandemiefall abhängig vom Ansteckungsrisiko und dem Bewusstsein in der Bevölkerung. Eine höhere Anzahl an bestätigten Fällen führte im Fall der COVID-19-Pandemie zu einer höheren Auslastung des Gesundheitssystems, wodurch mehr Intensivbetten freigehalten werden mussten (R3). Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl an bestätigten Fällen nicht immer die aktuelle Infektionsrate widerspiegelt, da diese abhängig von der Effektivität der Testkampagne ist (Sahin et al., 2020).

In ökologischer und gesundheitlicher Hinsicht zeigten sich positive Auswirkungen durch eine geringere Mobilität. Eine reduzierte Spurenstoffkonzentration, die über Verkehrsemissionen in die Kanalisationen bzw. in die Gewässer gelangt, war zu erwarten. Wobei die verbesserte Luftqualität nicht nur auf den reduzierten Verkehr, sondern auch auf die geringeren sozialen und wirtschaftlichen Aktivitäten zurückzuführen war (Muhammad et al., 2020).

Zusammenfassend lässt sich mit dieser qualitativen Methode nur eine unscharfe Abbildung der Wirklichkeit darstellen. Das Modell stellt keineswegs den Anspruch auf Vollständigkeit. Zur Übersichtlichkeit ist das Modell stark vereinfacht und stellt einen ersten Versuch dar, die Auswirkungen der Pandemie auf die Abwasserwirtschaft und den Gewässerschutz zu umreißen. Es gelingt aber, auf einen Blick die u.U. weitreichende Auswirkungen von einzelnen Maßnahmensetzungen zu erhalten und ein Gefühl für die Komplexität der Thematik zu bekommen. Für Entscheidungsträger*innen kann das Modell als Unterstützung im ersten Schritt dienen. Die Methode eignet sich dazu, einen guten Überblick über die Zusammenhänge der gesellschaftlichen Veränderungen im Zuge einer Pandemie zu bekommen und die Verflechtungen des ökologischen, ökonomischen und sozialen Gefüges sowie die Auswirkungen auf die Siedlungswasserwirtschaft zu begreifen, wobei zu beachten ist, dass die Realität deutlich komplexer ist, als im Modell dargestellt.

5.3 Veränderung der abwasserrelevanten Stoffströme aufgrund der COVID-19-Maßnahmen

Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage werden in folgendem Kapitel die Ergebnisse der in Kapitel 4.3 untersuchten, möglichen Veränderungen abwasserrelevanter Stoffströme in Folge der Lockdown-Maßnahmen dargestellt.

5.3.1 Veränderung der Abwasserquantität, Anlagenbelastung und Temperatur

Aus den vorhergehenden Kapiteln geht hervor, dass unterschiedliche Faktoren dazu geführt haben, dass der Wasserverbrauch durch die Pandemie teils gestiegen und teils gesunken ist. Aus dem CLD können die Schlüsselstellen herausgelesen werden. Eine entscheidende Rolle bei der Zu- bzw. Abnahme der Anlagenbelastung (EW) spielen dabei die Veränderungen des kommunalen Abwassers aufgrund der Ausgangsbeschränkungen. Diese führten zu vermehrtem Home-Office und Fernunterricht für Schüler*innen und Student*innen sowie Änderungen der industriellen Abwassermengen aufgrund von Betriebsschließungen.

Folgend wurden die Betriebsdaten der ARA Strass des Abwasserverbands AIZ (167.000 EW Ausbaugröße) und der ARA Mürz I – Langenwang, Wasserverband Mürzverband (24.000 EW Ausbaugröße) ausgewertet. In Abbildung 33 und Abbildung 34 sind jeweils die Zulaufmengen des Abwassers zur Kläranlage für die Pandemiejahre 2020 und 2021 im Vergleich zu den Vorjahren als Drei-Tages-Mittel dargestellt. Zudem wurde für den Zeitraum Januar bis Mai (Zeitraum inkludiert den ersten Lockdown) der Mittelwert für alle betrachteten Jahre berechnet. Für die ARA Strass (s. Abbildung 33) wurde im 1. Quartal 2020 nur 85 % und 2021 nur 74 % der Abwassermenge gegenüber dem Jahr 2019 gemessen. Zu Beginn des 1. Lockdowns am 15.05.2020, gekennzeichnet durch eine schwarze Linie, ist der abrupte Rückgang der Zulaufmengen deutlich zu erkennen. Auffällig sind auch die Zulaufspitzen im Herbst 2020 und die geringe Zulaufmenge im Frühjahr 2021. Auch die ARA Mürz I-Langenwang (s. Abbildung 34) verzeichnetet im 1. Quartal 2020 und 2021 mit 80 % bzw. 88 % einen deutlichen Rückgang der Zulaufmengen im Vergleich zu 2019.

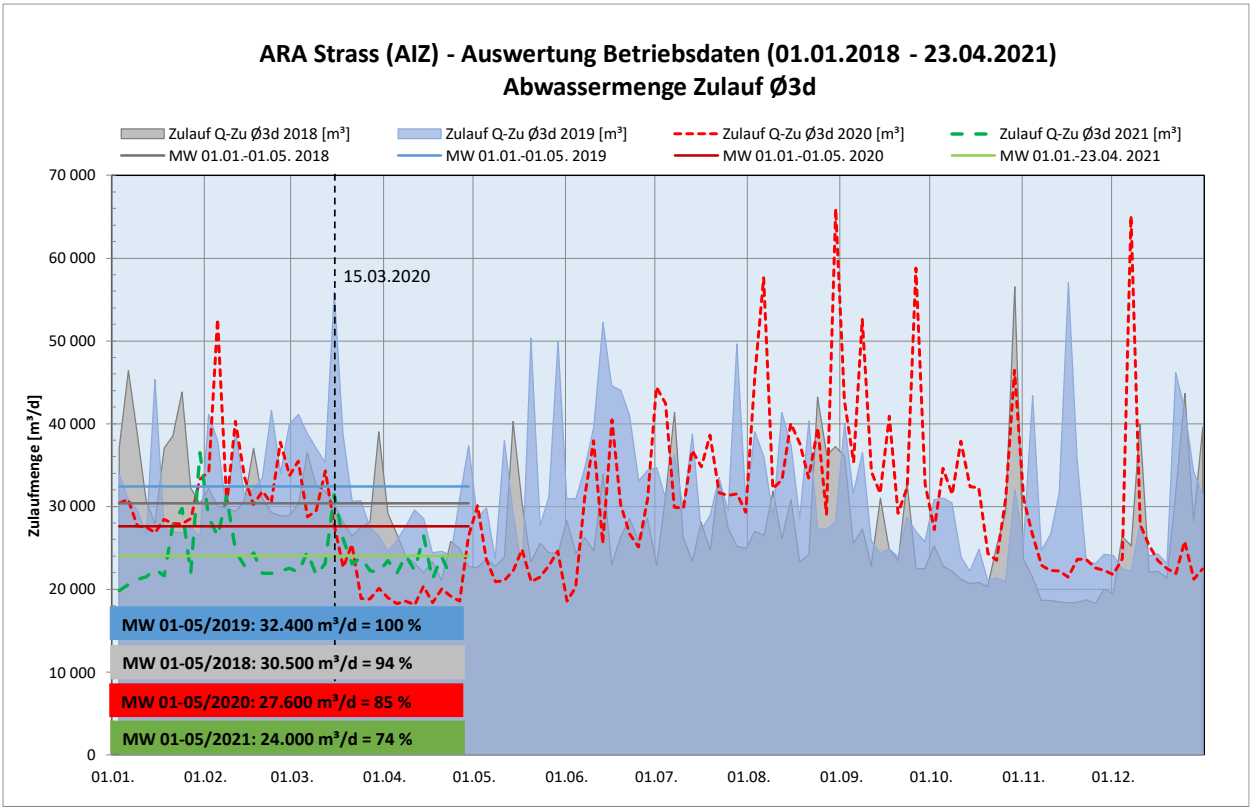

Abbildung 33 Abwassermenge Zulauf ARA Strass (2018 – Ende April 2021) (verändert nach Fimml, 2020)

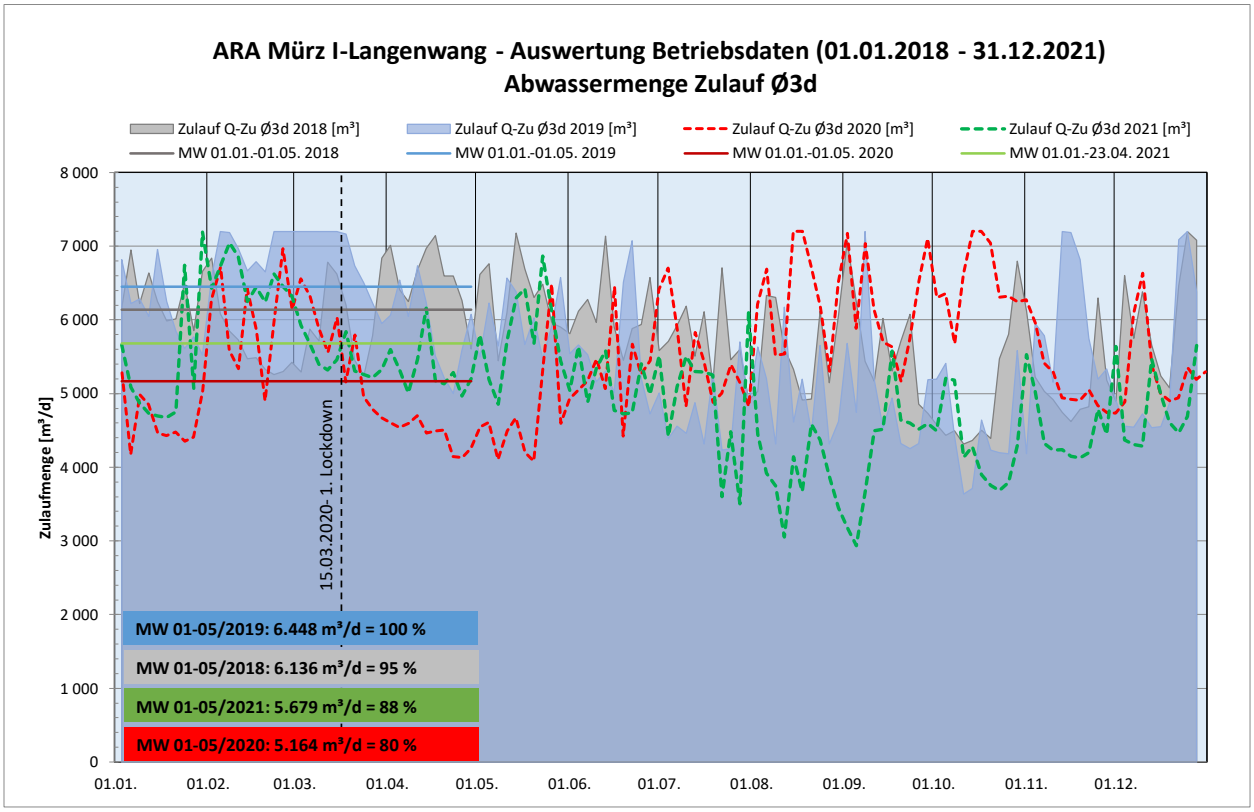

Abbildung 34 Abwassermenge Zulauf ARA Mürz I-Langenwang (2018 - 2021)

Zu beachten ist, dass auch in den Jahren vor Ausbruch der Pandemie jährliche Schwankungen aufgetreten sind. Im vorliegenden Fall schwankten die Abflussmengen zwischen den Jahren 2018 und 2019 um 5 % bis 6 %. Damit präsentierten sich die Schwankungen jedoch deutlich geringer als verglichen mit den Pandemiejahren 2020 und 2021 mit bis zu 26 % geringerem Abfluss im Vergleich zur Abflussmenge im Jahr 2019.

In Abbildung 35 bis Abbildung 38 werden die Abwassermengen bzw. die Anlagenbelastung nach CSB EW(120) im 1. Quartal (Januar bis Mai) 2020 mit dem 1. Quartal im Jahr 2019 verglichen. Der Beginn des 1. Lockdowns am 15.03.2020 ist gekennzeichnet. Der Mittelwert der Abwassermengen für die sechs Wochen vor Lockdownbeginn ist für die ARA Strass um 36 % höher als der Mittelwert der Abwassermengen im Zulauf der Kläranlage in den sechs Wochen nach Lockdownbeginn. Auch im Referenzjahr 2019 ist aufgrund von jahreszeitlichen Schwankungen eine rückläufige Wassermenge sichtbar, hier beträgt der rückläufige Sprung jedoch nur 17 %. Das gleiche gilt für die ARA Mürz I-Langenwang mit 15 % im Jahr 2020 und nur 8 % Rückgang im Jahr 2019.

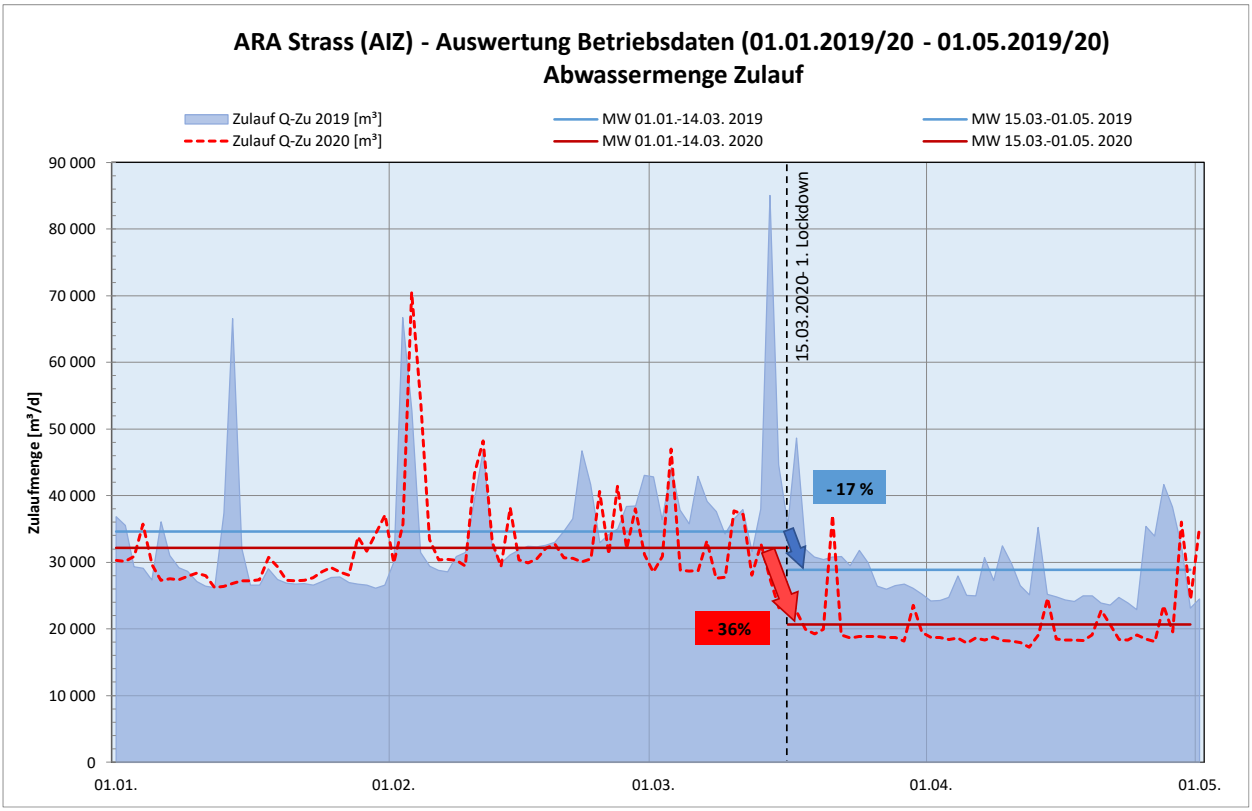

Abbildung 35 Abwassermenge ARA Strass im Zulauf zwischen Januar bis Mai 2019 und 2020 (verändert nach Fimml, 2020)

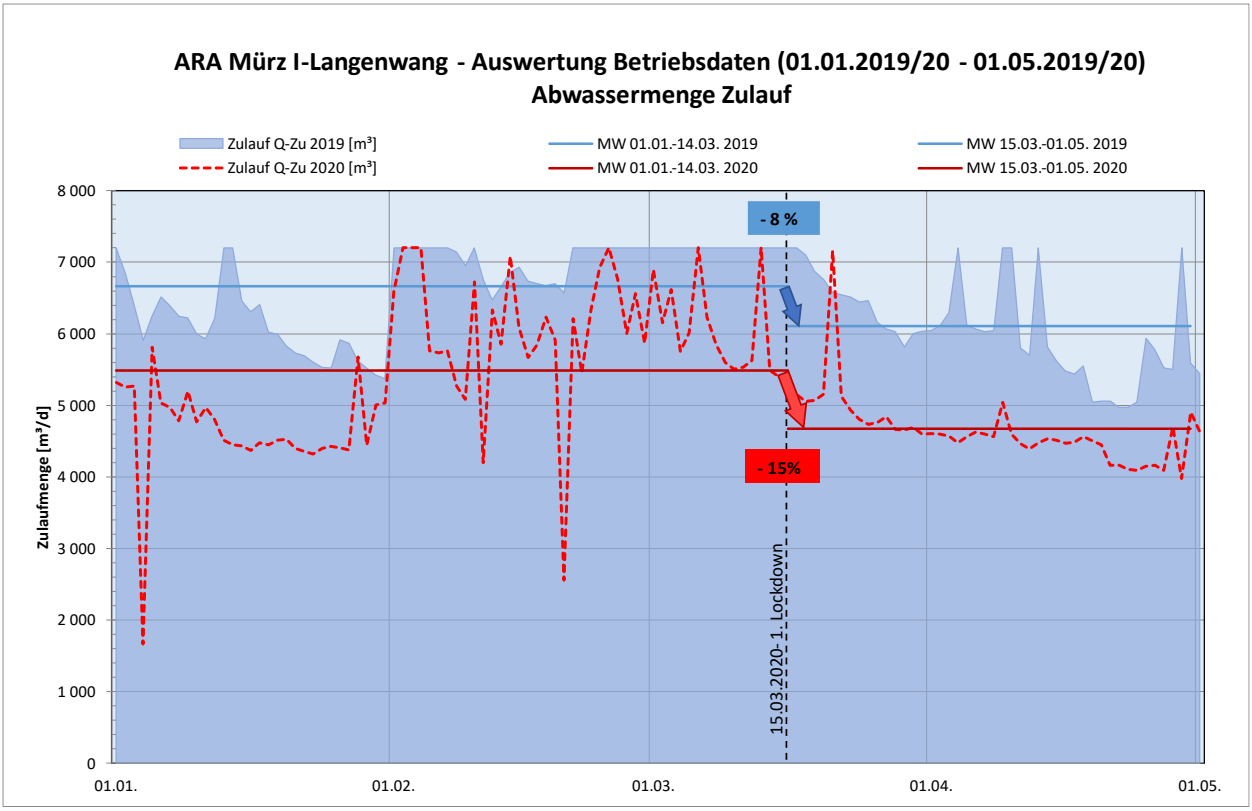

Abbildung 36 Abwassermenge ARA Mürz I-Langenwang im Zulauf zwischen Januar bis Mai 2019 und 2020

Dieser Rückgang zeichnet sich auch in der Anlagenbelastung ab (s. Abbildung 37 und Abbildung 38). Die Belastung nach CSB EW(120) der ARA Strass ist im Zeitraum nach dem 1. Lockdown um 46 % geringer. Im Vergleichsjahr 2019 beträgt dieser Rückgang nur 21 %. Die ARA Mürz I-Langenwang verzeichnete 2019 einen kleinen Anstieg der Anlagenbelastung von 2 % wohingegen die Anlagenbelastung im Jahr 2020 im gleichen Zeitraum um 7 % abnahm.

Abbildung 39 und Abbildung 40 zeigen die Anlagenbelastungen der beiden ARA nach CSB EW(120) für die Jahre 2019 bis 2021. Dabei ist die epidemiologische Kurve aus dem Jahr 2020 mit der Anzahl der infizierten Personen (orange Kurve) und den Eckdaten der von der Bundesregierung verhängten Maßnahmen hinterlegt (orange und rote Balken). Es wird jeweils der Drei-Tages-Mittelwert (3d) dargestellt. Das Jahr wurde jeweils in vier ähnlich große Zeitabschnitte eingeteilt und dafür der Mittelwert berechnet. Anschließend wurden die Mittelwerte des jeweiligen Zeitabschnittes kalkuliert und die Jahre untereinander verglichen. In hellgrün ist die Veränderung der Mittelwerte zwischen den jeweiligen Jahren dargestellt. Zu sehen ist, dass ab Lockdownbeginn im Jahr 2020 die Anlagenbelastung zurückging, jedoch im Jahr 2021 im Vergleich zum Vorjahr teilweise wieder zunahm. In der ARA Strass ist zudem der Winterlockdown 2020 / 2021 mit stark eingeschränktem Tourismusbetrieb deutlich zu erkennen. Außerdem ist auch anzumerken, dass der erste Lockdown die gravierendsten Auswirkungen hatte und ein so deutlicher Abfall der Anlagenbelastung in den folgenden Lockdowns nicht mehr so deutlich ausfiel (mit Ausnahme der Anlagen, die stark vom (Winter-)Tourismus beeinflusst sind). Zudem kann den Diagrammen entnommen werden, dass die Anlagenbelastung, im Vergleich zu anderen Pandemiemaßnahmen (orange Balken), am sensibelsten auf einen gesamten Lockdown (rote Balken) reagiert. Ein direkter, offensichtlicher Zusammenhang zwischen Pandemiemaßnahmen, Lockdown ausgenommen, mit der Anlagenbelastung konnte nicht festgestellt werden.

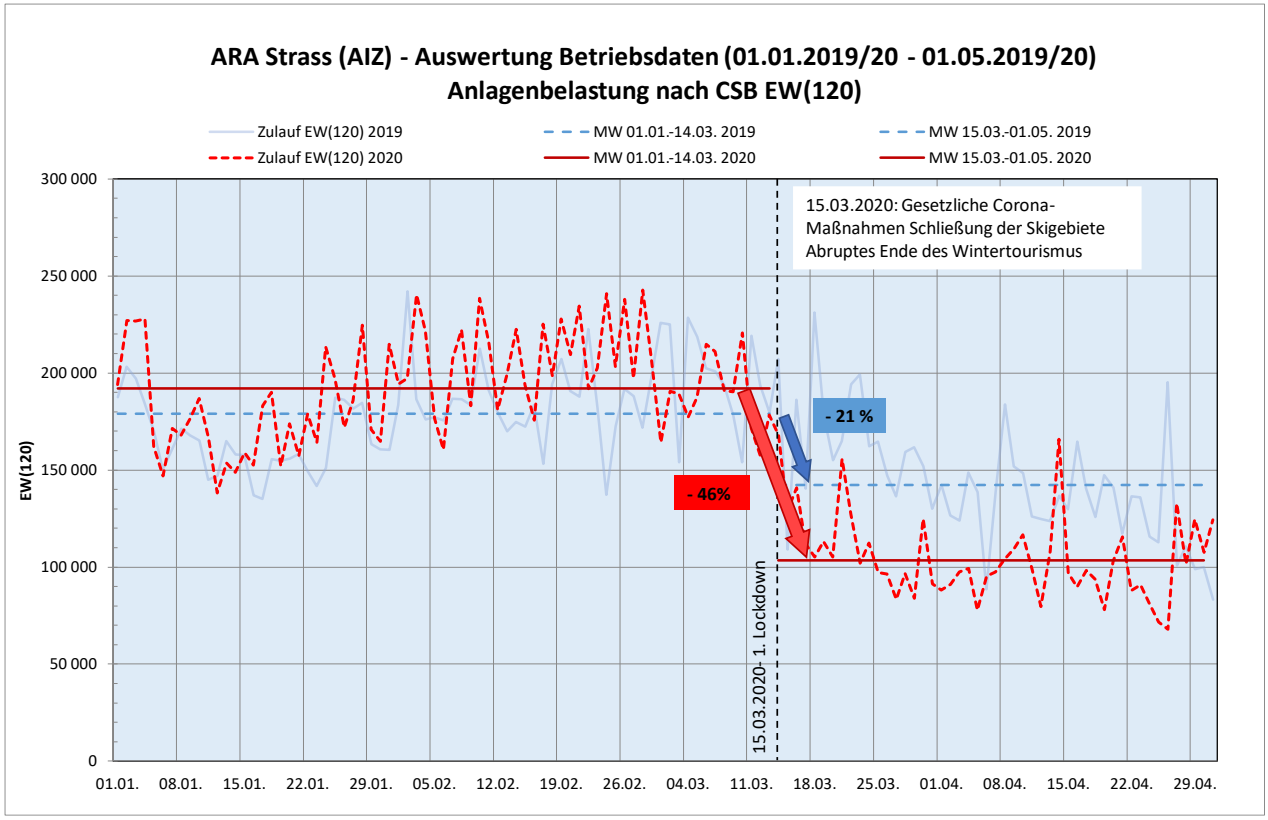

Abbildung 37 Anlagenbelastung ARA Strass nach CSB EW(120) (verändert nach Fimml, 2020)

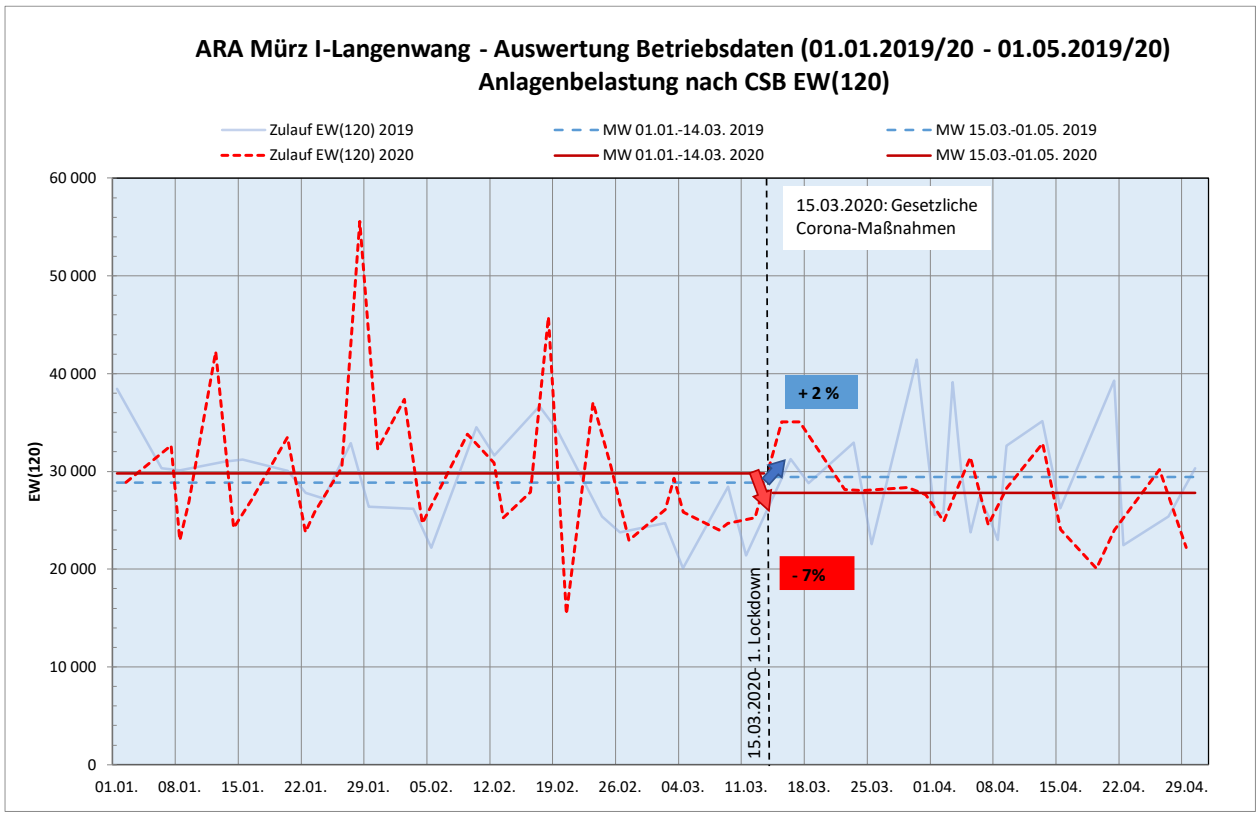

Abbildung 38 Anlagenbelastung Mürz I-Langenwang nach CSB EW(120)

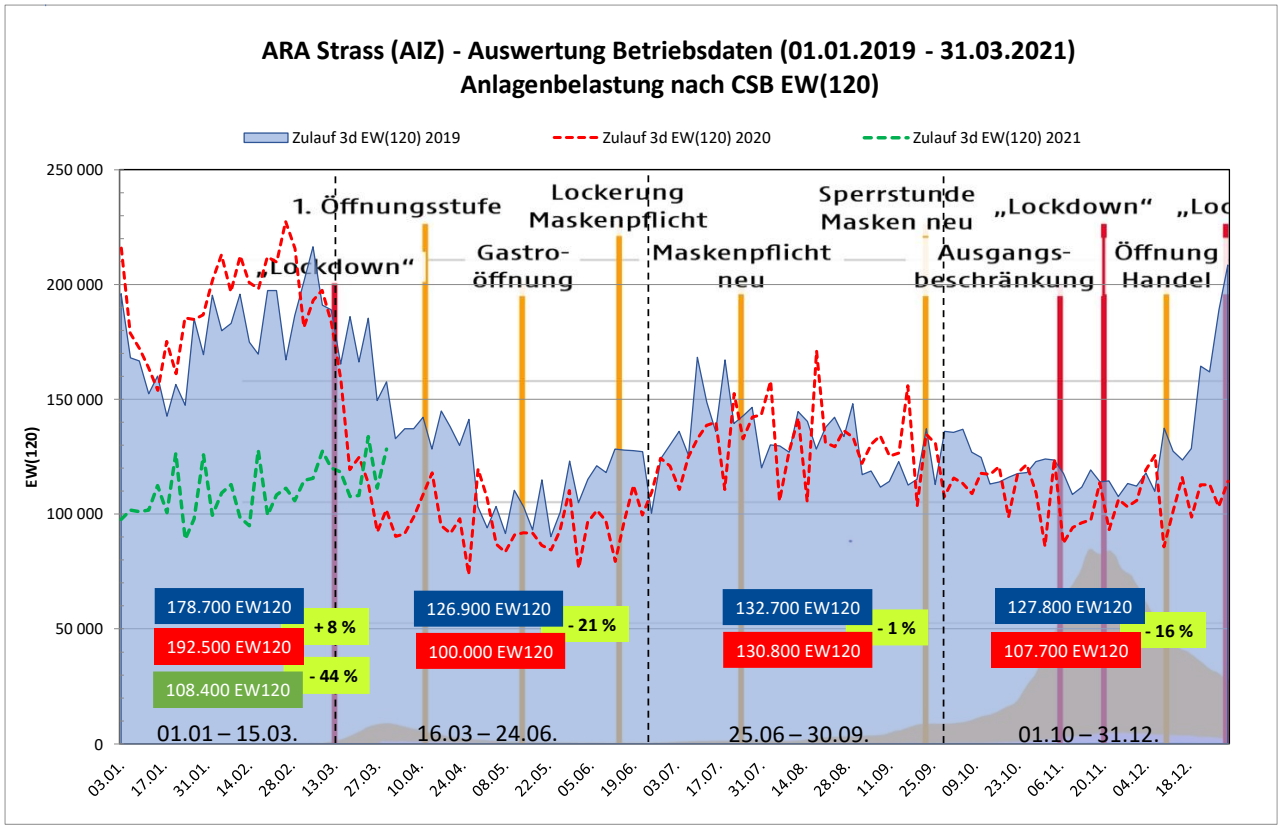

Abbildung 39 Anlagenbelastung ARA Strass nach CSB EW(120) mit hinterlegter epidemiologischer Kurve

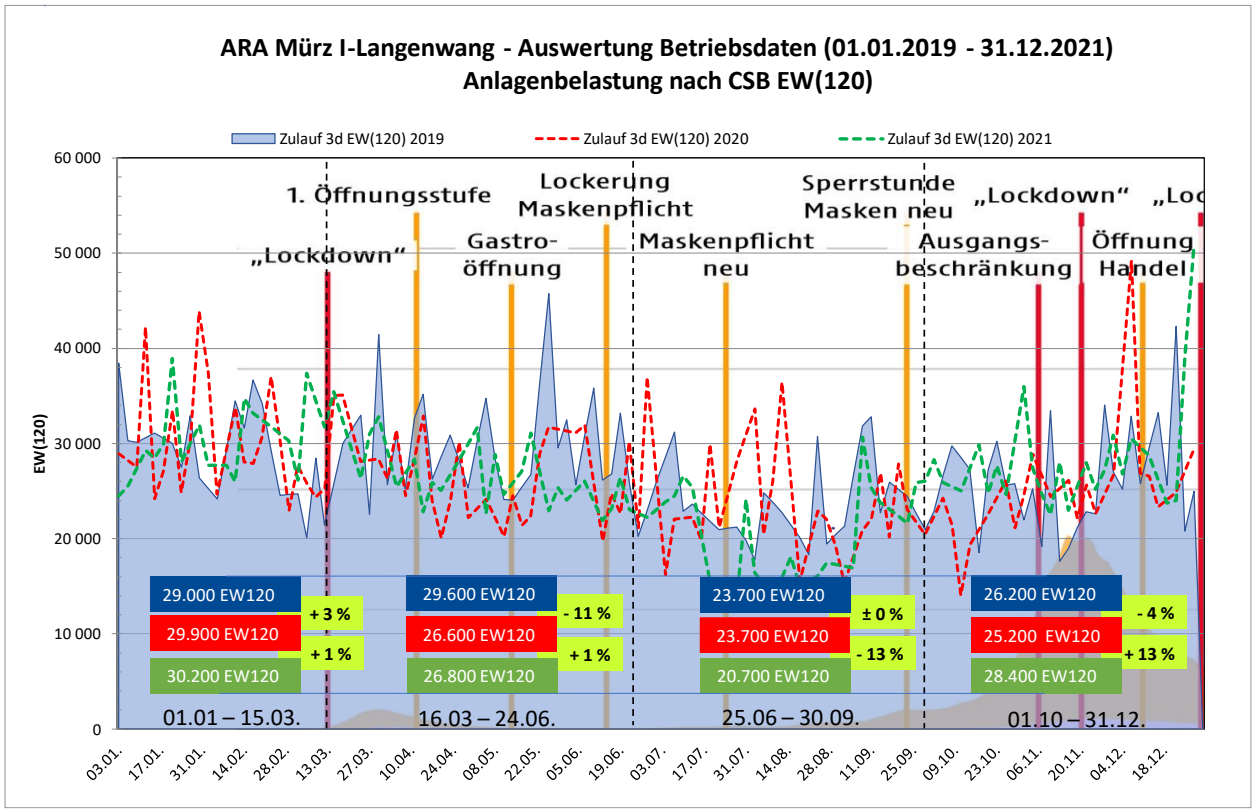

Abbildung 40 Anlagenbelastung ARA Mürz I-Langenwang nach CSB EW(120) mit hinterlegter epidemiologischer Kurve

In Abbildung 41 sind die Verläufe der Abwassertemperatur im Zulauf der ARA Mürz I-Langenwang für die Jahre 2018 bis 2021 mit den jeweiligen Jahresmittelwerten dargestellt. Einzelne Ausreißer sind sichtbar und werden als Messungenauigkeiten registriert. Die Zulauftemperatur im Abwasser der ARA Mürz I-Langenwang war in den Jahren 2020 und 2021 im Mittel ca. 0,6°C geringer als in den beiden Jahren davor. Es wurde also eine gering rückläufige Temperatur nach Ausbruch der COVID-19-Pandemie verzeichnet. Unklar bleibt, ob diese geringfügige Änderung der Abwassertemperatur mit der COVID-19-Pandemie im Zusammenhang steht. Dafür wäre eine differenziertere Betrachtung mit einem größeren Stichprobenumfang nötig.

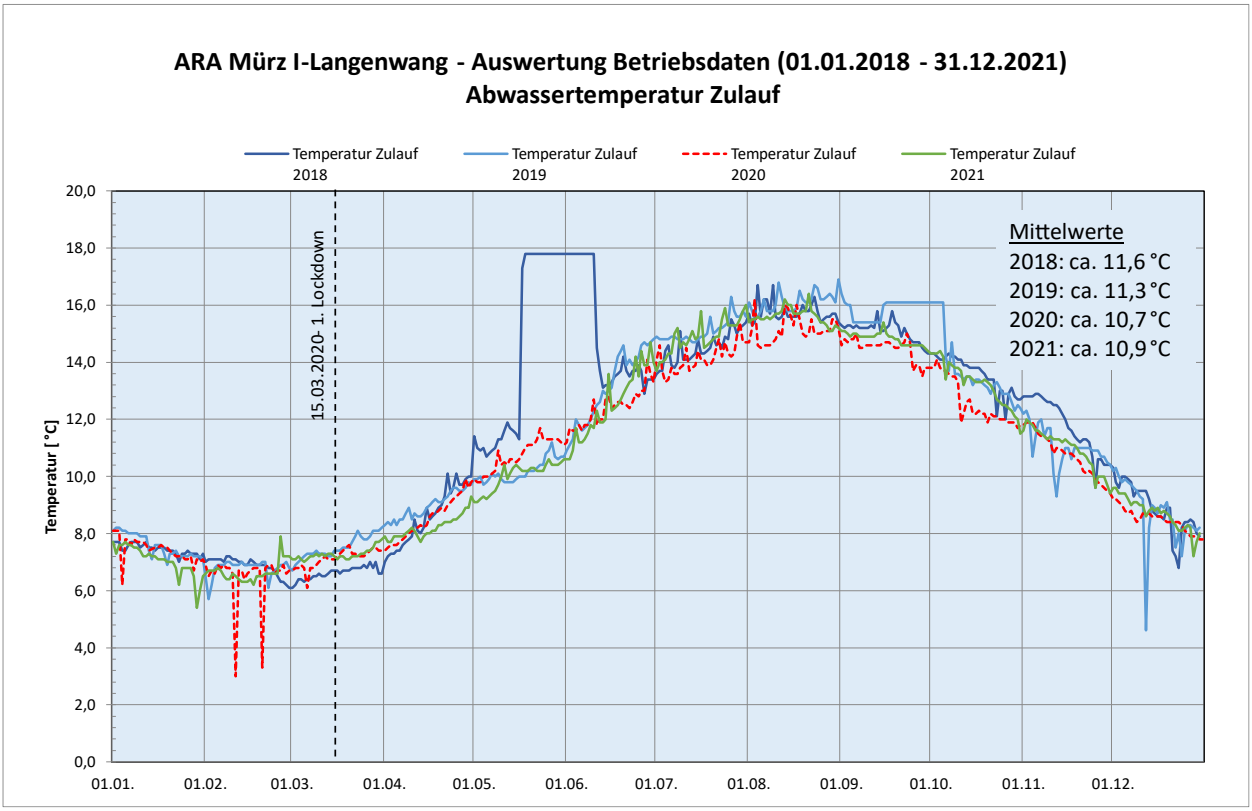

Abbildung 41 Abwassertemperatur im Zulauf ARA Mürz I-Langenwang (2018 - 2021)

Da jede kommunale ARA unterschiedlich industriell beeinflusst ist, kann keine pauschalisierte Antwort gegeben werden, wie sich die Anlagenbelastung allein durch Veränderungen des industriellen Abwassers mit der Pandemie und den damit einhergehenden Maßnahmen verändert. Zu Beginn des 1. Lockdowns betrug der Rückgang des Umsatzindex der Industrie laut Statistisches Bundesamt (Destatis) (2022a) ca. 30 %. Bei einer fiktiven ARA mit 45.000 und 15.000 EGW aus industriellen Indirekteinleitern (ähnlich der ARA Kapfenberg, Mürzverband) würde die Anlagenbelastung um 10 % sinken, wenn 30 % der Indirekteinleiter ihre Zulauffracht um 100 % reduzieren. Entscheidend dabei ist, dass sich vor allem die Abwasserzusammensetzung dadurch verändert, da je nach Branche das industrielle Abwasser eine hohe BSB_5-, CSB-, Stickstoff- und / oder Phosphorkonzentration als auch Spurenstoffkonzentration aufweist.

Durch die Einschränkungen zur Eindämmung der Pandemie veränderte sich die Anlagenbelastung durch Ausgangs- und Reisebeschränkungen als auch durch das Herunterfahren der gesamten Wirtschaft. Dabei wurden eine rückläufige Zulaufmenge als auch eine geringere Anlagenbelastung für die ARA Strass und die ARA Mürz I-Langenwang verzeichnet, wobei der größte Einbruch zu Beginn des 1. Lockdowns und durch das Ausbleiben der Tourist*innen auch im Winter 2020 / 2021 beobachtet werden konnte. Im Bereich der Zulauftemperatur konnte keine signifikante Änderung für die ARA Mürz I-Langenwang festgestellt werden. Damit die Anforderungen an die Reinigungsleistung, trotz der veränderten Abwasserzulaufmengen, erfüllt werden können, werden in Kapitel 5.4 die damit einhergehenden betrieblichen Herausforderungen beschrieben.

5.3.2 Stoffflüsse und Emissionen in das siedlungswasserwirtschaftliche System

Ein Ziel der vorliegenden Arbeit war die Darstellung der veränderten Spurenstofffrachten, die während einer Pandemie, respektive während eines Lockdowns der COVID-19-Pandemie, aus der kommunalen Siedlungswasserwirtschaft zu erwarten sind.

Eine Frachtberechnung in allen vier Austragspfaden aus der Siedlungswasserwirtschaft erfolgte für acht Stoffe mit ausreichender Datenlage, die hauptsächlich über Straßenabwässer in die Kanalisation gelangen. Die Zuordnung zu dem Haupteintragspfad „Straßenabwasser" erfolgte, wenn der Mittelwert der Planungsräume für den Eintragspfad über 50 % der Gesamtfracht aus den Straßenabwassereinleitungen betrug (Clara et al., 2014). Die Ergebnisse der Konzentrationsauswertung wurden der SiWaWi-Studie von Zessner et al. (2022) entnommen und sind dort als Mittelwerte aus unterschiedlichen Studien zusammengefasst. Wie auch in Zessner et al. (2022) wurden über die Konzentrationsauswertungen zu den Pfaden der Siedlungswasserwirtschaft mithilfe der in Kapitel 4.4.2.1 dargestellten Wasserbilanzen Frachten für ein siedlungswasserwirtschaftliches System mit überwiegend Mischkanalisation (Beispiel ARA Tulln) und eines mit überwiegend Trennkanalisation (Beispiel ARA Klosterneuburg) berechnet.

Zusätzlich zu der Auswertung von Zessner et al. (2022) wurde in der vorliegenden SFA bei der Frachtberechnung das niederschlagsbürtige Abwasser in Straßenabfluss und Dachabfluss untereilt, um das Spurenstoffaufkommen über diesen Eintragspfad detailliert betrachten zu können. Die Stoffkonzentrationen für den straßenbürtigen Eintrag wurden der Studie SCHTURM (Clara et al., 2014) entnommen. Diese Konzentrationen sind mit einer Unsicherheit behaftet, da diese einer großen Schwankungsbreite unterliegen. Es wurde mit dem angegebenen Mittelwert gerechnet.

Infolge der großen Unsicherheitsbereiche bei den Konzentrationen gegenüber geringeren Unsicherheiten bei den Transferkoeffizienten, sind die Stoffflüsse ebenfalls mit einer Unsicherheit behaftet. Wie auch in den Auswertungen von Zessner et al. (2022) war auch hier eine volle Bilanzierung der Spurenstoffe in vielen Fällen aufgrund der unterschiedlichen Herkunft der Daten zu Einträgen und Austägen aus dem siedlungswasserwirtschaftlichen System nicht umsetzbar. Eine Gegenüberstellung der Inputs und Outputs zeigt für einige Parameter einen deutlichen Bilanzfehler. Ein Abbau der untersuchten Stoffe ist nicht plausibel, weshalb der Bilanzfehler bestehen bleibt und für den Abbau 0 angegeben wird. Die tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse ist dem Anhang 1 zu entnehmen.

Folgend sind die mittleren Ergebnisse der Stoffstrombilanzierung für ausgewählte Parameter dargestellt. Die Diagramme der SFA aller untersuchten Parameter finden sich im Anhang 2. Dabei bietet die Methodik der SFA die Möglichkeit einer größenmäßigen Darstellung zur Unterstützung eines besseren Systemverständnisses und weniger die einer exakten Darstellung der Schwankungsbreiten. In der Farbe rot ist jeweils die Differenz zwischen dem Referenzzustand (vor der Pandemie; schwarz) und dem Lockdown- Zustand dargestellt. Ein negatives Vorzeichen bedeutet eine Abnahme der Stofffracht an der jeweiligen Stelle im siedlungswasserwirtschaftlichen System.

In Abbildung 42 ist die mittlere Stoffbilanz der Siedlungswasserwirtschaft für das Schwermetall Cadmium in einem urbanen System mit überwiegend Mischkanalisation dargestellt. Das Schwermetall Cadmium gehört zu jenen Parametern, die bei der Einhaltung der Grenzwerte für einen guten chemischen Zustand stehen. Die Grenzwerte dazu finden sich im Anhang D und E der Umweltqualitätsnorm QVZ Chemie OG. Cadmium gelangt sowohl über Schmutz- als auch Niederschlagswasser in die Kanalisation und ist der einzige hier untersuchte Stoff, der seinen Haupteintragspfad über Niederschlagswasser aus Trennkanalisation hat und nicht über Straßenabwässer. Das Schwermetall ist nicht abbaubar. Im Wesentlichen erfolgt ein Rückhalt im Klärschlamm und ein Austrag über den Mischwasserüberlauf. Der Austrag aus dem Kläranlagenablauf und dem Regenwasserkanal findet nur in einem unwesentlichen Ausmaß statt. Der Bilanzfehler ist mit 1 mg / (EW.a) äußerst gering. Ein Rückgang des Stoffeintrags durch eine Verkehrsreduktion von 50 % über drei Monate konnte mit bis zu 4 % gegenüber dem Referenzzustand ausgemacht werden. In dem System mit überwiegend Trennkanalisation (s. Abbildung 43) wurde eine maximale Differenz von 5 % berechnet.

Die Bilanz ist nicht geschlossen, da der Bilanzfehler mit 7 mg / (EW.a) rund 1/3 des Inputs in die Kläranlage ausmacht. Der Verbleib kann nicht ausgemacht werden. Entweder werden die Input-Konzentrationen unterschätzt oder die Output-Konzentrationen überschätzt. Im Vergleich zu der prozentualen Gegenüberstellung der Anteile von Stoffen an den Eintrags- und Austragspfaden von Zessner et al. (2022) kann darauf geschlossen werden, dass der Austrag aus dem Regenwasserkanal (wie auch der Eintrag über das Niederschlagewasser) deutlich überschätzt wird, wobei der Eintrag über das Schmutzwasser deutlich unterschätzt wird.

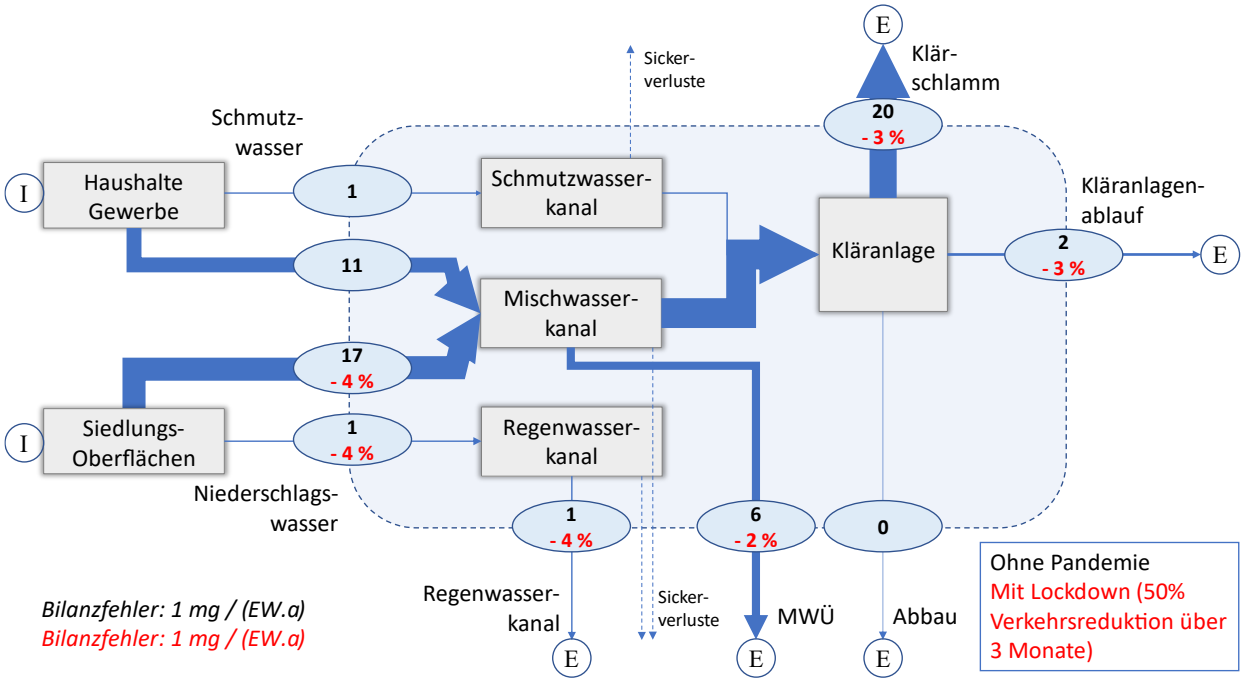

Abbildung 42 Mittlere Stoffbilanz für Cadmium in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend Mischkanalisation (z.B. Tulln, AT)

Abbildung 44 zeigt die Stoffstrombilanz des PAK Benzo(a)pyren in einem urbanen System mit überwiegend Trennkanalisation. Dieser Stoff gelangt laut Clara et al. (2014) über den Haupteintragspfad Straßenabwasser, also überwiegend über Oberflächen mit dem Niederschlagswasser in das System und ist nach Zessner et al. (2022) als schlecht abbaubar und gut adsorbierbar bewertet. Der dominierende Eintragspfad verläuft über das Niederschlagswasser in den Regenwasserkanal. Neben dem Austrag über den Regenwasserkanal ist der Austrag über den Klärschlamm ein weiterer erwähnenswerter Austragspfad. Für Benzo(a)pyren kann die mittlere Bilanz für die Kläranlage auf Basis der verwendeten Daten nicht geschlossen werden kann. Da auch bei diesem Stoff nicht davon ausgegangen wird, dass er in der Kläranlage abgebaut wird, besteht ein Bilanzfehler. Der Verbleib der Differenzmenge kann durch die Auswertungen nicht geklärt werden und macht mehr als die Hälfte des Inputs in die Kläranlage aus.

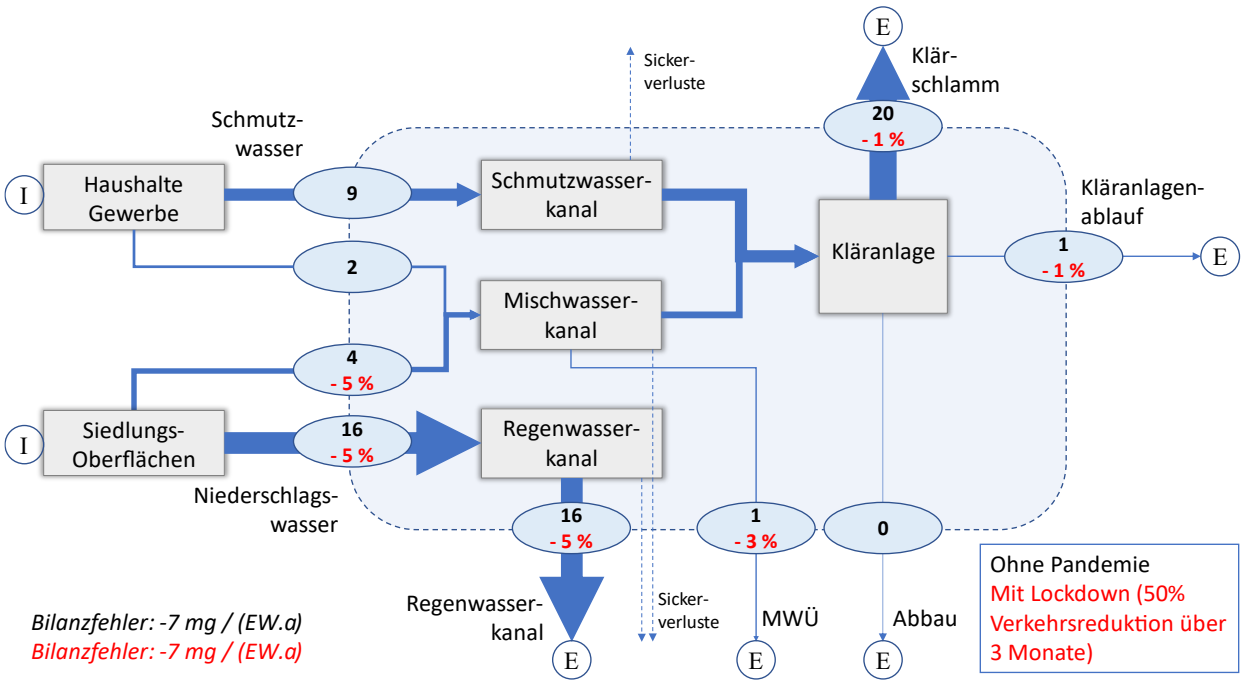

Abbildung 43 Mittlere Stoffbilanz für Cadmium in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend Trennkanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT)

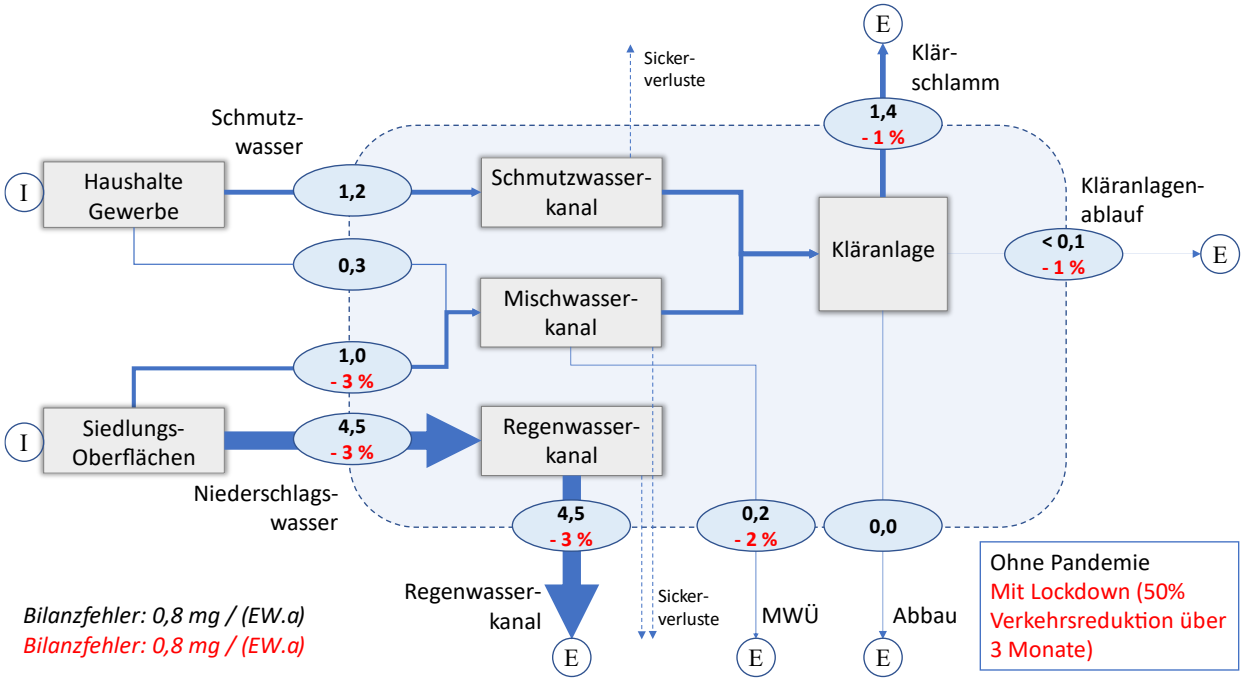

Abbildung 44 Mittlere Stoffbilanz für Benzo(a)pyren in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend Trennkanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT)

Abbildung 45 zeigt die mittlere Stoffbilanz für Dibutylzinn in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend Trennkanalisation. Dibutylzinn-Verbindungen gehören zu den Industriechemikalien und ist der Spurenstoff, der von allen untersuchten Stoffen die höchsten Differenzen zwischen Referenz- und Lockdownzustand aufweist. Bis zu 9 % beträgt die Spurenstoffreduktion gegenüber dem Referenzzustand. Wobei vor allem ein deutlicher Rückgang des Spurenstoffs im Austrag des Regenwasserkanals festgestellt werden kann. Der größte Anteil des Austrags findet über den Klärschlamm bzw. zu einem etwas geringeren Anteil über den Regenwasserkanal statt. Der Austrag über den Mischwasserüberlauf und den Ablauf der Kläranlage ist zu vernachlässigen. Die Bilanz kann nicht geschlossen werden, da der Bilanzfehler fast die Hälfte des Inputs in die Kläranlage ausmacht.

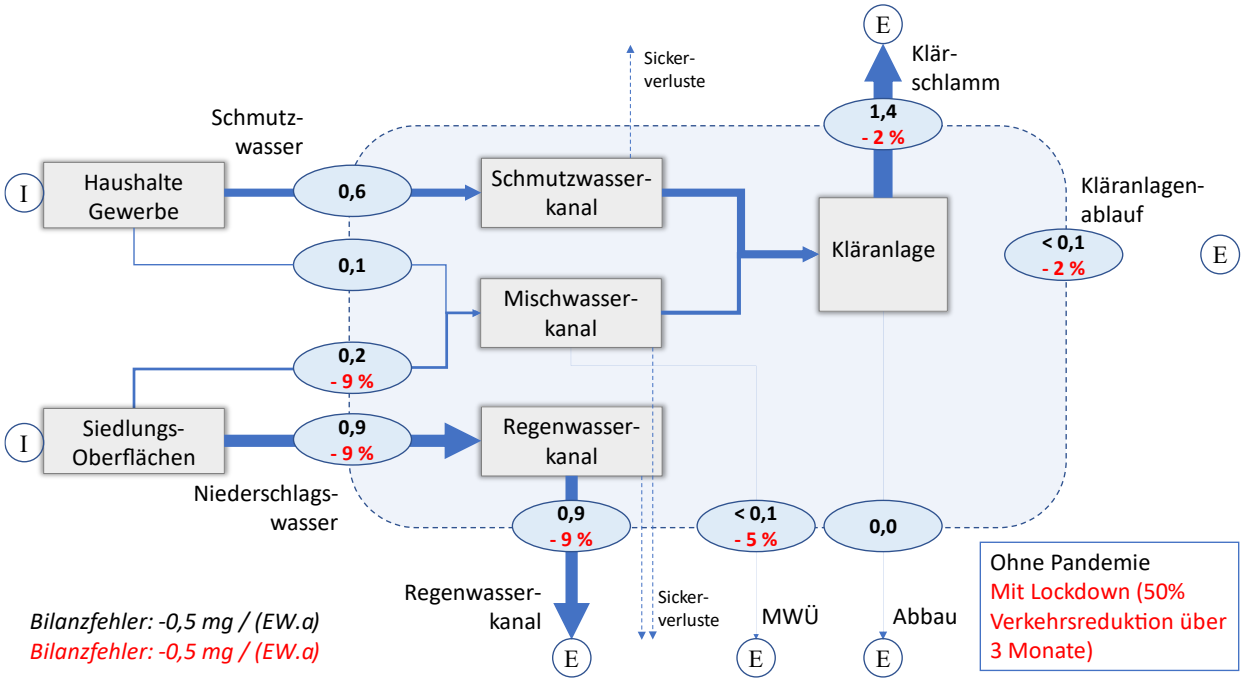

Abbildung 45 Mittlere Stoffbilanz für Dibutylzinn in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend Trennkanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT)

Zusammenfassend lassen sich über diesen Ansatz das Spurenstoffverhalten aufgrund einer Verkehrsreduktion anschaulich darstellen. Die Veränderung des Spurenstoffeintrags- bzw. -austrags beträgt im vorliegenden Untersuchungsfall (Lockdown mit 50 % Verkehrsdeduktion über drei Monate) für alle untersuchten Parameter maximal 9 % an allen Stellen im siedlungswasserwirtschaftlichen System. Die teilweise großen Bilanzfehler zeigen aber auch, dass eine gewisse Nachschärfung im quantitativen Bereich erforderlich ist. Diese Fehler ergeben sich durch die geringe Anzahl an repräsentativen Messwerten und die großen Schwankungsbreiten der Stichproben. Zudem ergeben sich für einige Parameter auch Unsicherheiten aufgrund eines hohen Anteils an Messergebnissen unter der Bestimmungsgrenze, aber auch in der Auswahl und der Definition der Kennzahlen zu Abbau und Adsorption, die Zessner et al. (2022) entnommen wurden. Zu diskutieren sind die Ergebnisse der Analyse vor allem aufgrund von vereinfachten Annahmen. Für die Messungen der Konzentrationen sind teilweise nur wenige Werte verfügbar. Wobei aufgrund der Datenerhebung in unterschiedlichen Messkampagnen Messfehler oder unterschiedliche Messmethoden der Grund für Abweichungen sein können und die Vergleichbarkeit infrage gestellt werden muss. Zudem ist eine teilweise große Unsicherheit der Daten aufgrund der hohen Standardabweichung gegeben.

5.4 Betriebliche Herausforderungen und Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb mit Empfehlungen

Die in den vorherigen Kapiteln geschilderten, mit einer Pandemie, z.B. der COVID-19-Pandemie, einhergehenden Veränderungen auf die Siedlungswasserwirtschaft, bringen Herausforderungen für den Betrieb von Kläranlagen und das Kanalmanagement mit sich. Einige der Auswirkungen und damit verbundenen, möglichen Probleme sind bereits in den Notfallplänen der Anlagen für andere Störfälle (z.B. Blackout) erfasst. Es geht folgend vorranging darum, die neuartig auftretenden Probleme herauszuarbeiten. Folgend werden stichpunktartig der Handlungsbedarf für künftige Krisensituationen mit pandemischem Ursprung aufgezeigt sowie überblicksmäßig Empfehlungen und Maßnahmen zur Bewältigung künftiger Epidemien und Pandemien zur Vorsorge vorgeschlagen.

Abwasserquantität und -qualität

Das Abwasseraufkommen auf einer ARA schwankt im tageszeitlichen und jahreszeitlichen Verlauf. Im Pandemiefall muss jedoch mit einer Veränderung gegenüber dem Normalzustand gerechnet werden. Dabei sind mit der COVID-19-Pandemie drei (Stör-)Fälle im Zusammenhang mit der Abwasserquantität aufgetreten, welche folgend in Bezug auf den Anlagenbetrieb betrachtet werden: Ein erhöhtes Abwasseraufkommen, ein geringeres Abwasseraufkommen und eine abrupte Reduktion der Abwasserquantität.

Eine Belastungszunahme oder -abnahme im Kläranlagenzulauf ist keine pandemie-spezifische Eigenschaft. Auch im Zuge eines demographischen Wachstums, einem Wegfall von Indirekteinleitern oder bei Hitzeperioden ist die Zulaufmenge Schwankungen unterworfen. Somit gehören moderate Schwankungen zum Alltag im Betrieb einer Anlage. Vor allem für kleine Kläranlagen können jedoch große Belastungszu- bzw. abnahmen zu Problemen führen. Besondere Beachtung verdient jedoch das Ereignis eines abrupten Rückgangs der Anlagenbelastung in Folge kurzfristigen Inkrafttretens von Maßnahmen zur Pandemiebekämpfung. Dazu gehören die Schließungen von Grenzen, Gastronomie und Freizeiteinrichtungen bzw. Ausgangsbeschränkungen im Allgemeinen, die beispielsweise zu einer plötzlichen Abreise beinahe aller Tourist*innen führen können. Bei dem Kanalnachbarschaftstreffen am 27.05.2020 (KAN, 2020) sprach der Betriebsleiter einer stark touristisch geprägten Anlage von einem Rückgang im ersten Lockdown von 190.000 EW auf 100.000 EW innerhalb eines Tages. Dies entspricht einem Belastungsrückgang von 48 %. Diesen vergleichsweisen abrupten Rückgang von Tourist*innen gibt es jedoch beispielsweise auch in pandemiefreien Wintern (planbar) jährlich zum Ende der Skisaison. Dieses Phänomen ist also schon bekannt und die betroffenen Kläranlagen in Wintersportregionen haben Strategien entwickelt, um darauf zu reagieren. In diesem Fall gilt es sich mit betroffenen Kläranlagenbetreiber*innen über den Umgang mit dieser Problematik auszutauschen.

Der Rückgang von Zulaufmengen hat eine Konzentrationserhöhung der Abwässer und eine Abnahme des Abflusses im System mit einer Reduktion der Fließgeschwindigkeit im Kanal zur Folge, wodurch es zu einer möglichen Ablagerung von Feststoffen im Kanal, Geruchsemissionen, Korrosionsproblemen oder auch der Beschädigung von Pumpen kommen kann. Ein Betrieb außerhalb der Bemessungsgrundlage kann zu einer ineffizienten und möglicherweise ineffektiven Abwasserreinigung führen (Poch et al., 2020). Zudem ist beim Betrieb der Anlagen zu beachten, dass bei geringerem Einfluss des kommunalen Abwassers der industrielle Einfluss größer wird und es dadurch zu einer veränderten Abwasserzusammensetzung kommen kann bzw. bei der Einleitung von stark belasteten Abwässern die Verdünnung dadurch geringer wird. Mögliche weitere Folgen sind eine Verschiebung des CSB/N-Verhältnis, ein veränderter Sauerstoffbedarf, eine Änderung der Abwassertemperatur, des pH-Wertes und damit eine Veränderung des NH_4/NH_3-Gleichgewichts, der Schlammaufenthaltsdauer, Faulschlammmenge, der Faulgasproduktion oder auch auftretender Blähschlamm. Der Sauerstoffsollwert kann bei geringer Last angehoben werden, wenn die Leistungsanforderung der Gebläse zu gering ist, um zu verhindern, dass die Biologie bei langen Schwachlastphasen durch zu niedrige Sauerstoffeinträge geschwächt wird (Roskosch et al., 2015).

Aufgrund der vielfältigen gesellschaftlichen Veränderungen, hervorgerufen durch die COVID-19-Pandemie, ist anzunehmen, dass auch die Spurenstoffeinträge einer Veränderung unterworfen waren. Aus Angst vor Falschinformationen und als Vorsorgemaßnahme wurde beispielsweise der Einsatz von Chlor in der Abwasserreinigung erhöht, damit einhergehend ist eine erhöhte Wahrscheinlichkeit der Bildung von DBP (Gonzalez, 2020; Tempest, 2020; Nghiem et al., 2020; zit. bei Poch et al., 2020). Auch durch den vermehrten Gebrauch von Desinfektionsmitteln in Haushalten, aber auch zur Flächendesinfektion in öffentlichen Einrichtungen und Plätzen ist mit DBP zu rechnen. Dabei ist eine Beeinträchtigung der Mikroorganismen in der biologischen Stufe der ARA nicht auszuschließen. Desinfektionsmittel werden dafür eingesetzt, die Keimbelastung durch Bakterien, Viren und Pilze zu reduzieren, d.h. sie töten nicht spezifisch. Die Leistungsfähigkeit einer ARA, im speziellen die Biologische Reinigungsstufe, ist jedoch von dem Zusammenwirken eines Spektrums von Mikroorganismen abhängig. Gleichzeitig wird, im Fall von nicht oder schlecht abbaubaren Inhaltsstoffen, der Eintrag von Wirksubstanzen aus den Desinfektionsmitteln in die Oberflächengewässer begünstigt.

Maßnahmen zur Verminderung und Vermeidung des Eintrags von relevanten Spurenstoffen in die Gewässer sind an der Quelle als auch im Emissionspfad möglich. Die Erweiterung der Kläranlage um eine 4. Reinigungsstufe bietet eine geeignete Möglichkeit auch im Krisenfall, wie einer Pandemie, den Gewässerschutz durch Reduktion und Elimination von Spurenstoffen sicherzustellen. Handlungsoptionen bestehen in folgenden Bereichen (IKSR, 2010):

- Maßnahmen an der Quelle,
- Information der Öffentlichkeit,
- Behandlung von Abwasserteilströmen,
- Zentrale Maßnahmen bei Kläranlagen,
- Anpassung von Messprogrammen und
- Erhebung von Anwendungsbereichen und Verbrauchsmengen.

Zusätzlich ist anzuführen, dass die Zeit geringer Zulauffrachten für Revisionsarbeiten genutzt werden können. Anlagen, die mindestens 2-straßig fahren haben dabei den Vorteil, dass in diesem Fall eine Straße stillgelegt werden kann. In Bezug auf Neuplanungen und Sanierungen von Anlagen ist dieser Vorteil von mehrstraßigen Systemen jedenfalls mitzudenken. Um auf diese Veränderung im Pandemiefall zu reagieren, haben sich zudem die vorhandenen Fernwirksysteme bewährt (Lindtner und Neunteufel, 2020).

Schutzausrüstung und Geräte

Lindtner und Neunteufel (2020) berichten von unterschiedlichen Beschaffungsstrategien von Schutzausrüstung der Anlagenbetreiber*innen, die bei Ausbruch der COVID-19-Pandemie 2020 zum Einsatz kamen, da kein Notfallplan dafür existierte. Die Beschaffung könnte für Abwasserentsorger, Wasserversorger und Abfallwirtschaftsverbände gemeinsam über den behördlichen Katastrophenschutz erfolgen oder über die Landeswarnzentrale bzw. am freien Markt bestellt werden. Im Sommer 2020 war wieder ausreichend Schutzausrüstung verfügbar. Zur Schutzausrüstung gehören Masken, Anzüge, Handschuhe und Mittel zur Desinfektionsmittelherstellung. Es stellt sich für die Anlagenbetreiber*innen jedoch die Frage, wie viel und was tatsächlich auf Lager vorrätig sein soll bzw. muss. Die Wünsche und Bedürfnisse der befragten Verantwortlichen für Abwasseranlagen sind in dieser Frage sehr unterschiedlich. Eine österreichweit einheitliche Regelung, wie viel und was tatsächlich auf Lager gelegt werden soll, wurde mehrfach von ABU angeregt (Lindtner und Neunteufel, 2020). Die Lehre aus der ersten Welle der COVID-19-Pandemie ist die Notwendigkeit der Einlagerung von ausreichend Schutzausrüstung und Rohstoffen zum Anmischen von Desinfektionsmitteln und einer verbesserten Vernetzung unter den Betrieben zum Austausch von Erfahrung, Knowhow, Personal und Ersatzgeräten. Es wird empfohlen einzelne Geräte, spezifische Anlagenteile wie UV-Desinfektion, Drucksteigerung und Notstromaggregate einzulagern und Fernwirkanlagen einzurichten, falls nicht vorhanden. Nicht nur die Produktion, sondern auch die Lieferketten könnten durch den Pandemiefall beeinträchtigt werden.

Aufgrund von potenziellen Produktionsschwierigkeiten und Lieferengpässen sollte demnach eine entsprechende Ressourcenplanung hinsichtlich persönlicher Schutzausrüstung, Geräten, aber auch Betriebsmittel und Desinfektionsmittel erfolgen.

Um aus der KAN profitieren zu können, würde sich die Anfertigung einer Liste der lagernden Ersatzteile anbieten, um im Notfall sehr selten gebrauchte Ersatzteile aus den Kanal- und Kläranlagennachbarschaften erhalten zu können.

Betriebsmittel und Chemikalien

Um die Schlammeindickung und die Entwässerung sicherzustellen, ist die Verfügbarkeit von Polymeren essenziell. Bei einem Ausfall von Fällmittel-Lieferungen kann der Kläranlagenbetrieb, abgesehen von der Einhaltung der Einleitegrenzwerte für Phosphor, ohne Einschränkungen weiter aufrechterhalten werden (Lindtner und Neunteufel, 2020). Laut einer Umfrage von Lindtner und Neunteufel (2020) hatte keiner der befragten Abwasserbetriebe eine Vereinbarung für eine bevorzugte Belieferung mit Chemikalien in Krisenzeiten getroffen. Um unabhängig von kurz- bis mittelfristigen Lieferschwierigkeiten zu sein, empfiehlt es sich die Lager für Chemikalien, Fäll- und Flockungsmittel vorsorglich gut gefüllt zu haben, Reserven einzulagern und Verträge mit Lieferant*innen für Krisenzeiten zu vereinbaren. Denn auch die Energiekrise 2022 brachte in Bezug auf Betriebsmittel Herausforderungen für den Anlagenbetrieb mit sich. Aus der rückläufigen, sehr energieaufwändigen Herstellung von Salzsäure, die für die Herstellung von Aluminium- und Eisensalzes notwendig ist, resultierte laut einer Presseaussendung des DWA (2022a) eine akute Fällmittel-Knappheit in Deutschland. Es fehlten insbesondere Eisensalze, die als Nebenprodukte bei der Herstellung von z.B. Titandioxid für Farben und Lacke anfallen. Eine deutlich verminderte Nachfrage nach diesen Produkten sowie unterbrochene Lieferketten und Preisexplosionen u.a. bei Salzsäure führten infolge der COVID-19-Pandemie und der Energiekrise zu extremen Lieferengpässen für Eisensalze. Der DWA forderte vom Bund die Forcierung eines verstärkten Bezugs von alternativen Fällmitteln über den Weltmarkt, beziehungsweise eine finanzielle Unterstützung. Dies könnte auch in einem zukünftigen Pandemiefall eine Rolle spielen und die Verfügbarkeit von Betriebsmitteln sicherstellen. Eine „Nachbarschaftshilfe“ unter den Kläranlagen ist auch hierfür anzustreben. Diese kann aber nur mit entsprechender Unterstützung durch die Behörden funktionieren. Insbesondere der Transport muss fachgerecht erfolgen. Auch der verstärkte Einsatz von Bio-P-Verfahren ist zu prüfen (DWA, 2022a).

Fett

Die Schließung gastronomischer Betriebe infolge der Lockdowns während der COVID-19-Pandemie warf die Frage auf, ob durch das vermehrte Kochen in privaten Haushalten, welche keine Fettabscheider besitzen, mehr Fett in die Kanalisation eingebracht wurde. Die Frage konnte nicht abschließend eindeutig werden (s. Kap. 4.3.2.1). Das Problem jedoch von fetthaltigen Abwässern ist die Anhaftung der Fette an den Innenwänden von Kanalrohren und Pumpen. In weiterer Folge kann dies zu Geruchsbelästigung, Rückstau und zu Verstopfungen führen (Bölke, 2013). Zusätzlich können fetthaltige Abwässer, infolge von erhöhtem Sauerstoffverbrauch, Schwimm- und Blähschlammbildung oder schlechteren Absetzeigenschaften Probleme in Kläranlagen verursachen (Kroiss, 2007).

Um diesen Problemen vorzubeugen ist ein regelmäßiges Monitoring zu betreiben. Zusätzlich dazu ist eine Bewusstseinsbildung in der Bevölkerung zur sachgemäßen Entsorgung von Fett und fetthaltigen Abwässern als Präventionsmaßnahme dienlich.

Feuchttücher

Unterschiedliche Quellen berichteten zu Beginn der COVID-19-Pandemie von einem erhöhten Aufkommen von heruntergespültem Material im Abwasser (ORF, 2020a). Zu den Feuchttüchern, die schon vor der COVID-19-Pandemie ein Problem darstellten, kamen noch Schutzmasken dazu (Efe, 2020; Reviejo, 2020; zit. bei Poch et al., 2020).

Dieses Material kann zur Entstehung großer Feststoffmassen führen, die das Kanalnetz verstopfen und durch Verzopfung Pumpstationen außer Kraft setzen könnten (Kessler, 2016; Korilin, 2018; zit. bei Poch et al., 2020). In Bezug auf diese Thematik ist anzumerken, dass Notüberläufe bei Pumpen nicht mehr genehmigt werden, was jedoch im Notfall bzw. Krisenfall von Bedeutung wäre.

Das Gesundheitsministerium und der ÖWAV informieren und sensibilisieren die Bevölkerung zu abwasserrelevanten Themen, um dem Problem entgegenzuwirken. Anhand von Kampagnen informieren v.a. Abwasserverbände die Bevölkerung über die Problematik von Feuchttüchern und Müll in der Kanalisation und in der ARA. Ein Beispiel dafür ist der Folder „Tatort:WC - Feuchttücher killen Pumpen und erhöhen Ihre Abwassergebühren“ des ÖWAV aus dem Jahr 2017 (ÖWAV, 2017), der Hinweise zur richtigen Entsorgung von Feuchttüchern gibt.

Bauvorhaben - Rechtssicherheit

Da es beim Stilllegen von Baustellen während des ersten Lockdowns zu Unklarheiten betreffend der Mehrkostenforderungen von den ausführenden Baufirmen an die Anlagenbetreiber*innen bei Einstellung und Wiederhochfahren von Baustellen von Seiten eines WVU kam, sollte das pandemische Risiko in Neuausschreibungen mit aufgenommen werden. Sowohl die Zeiten der Umsetzung von Maßnahmen als auch der Umgang bei einem möglichen erneuten Lockdown bei der Vergabe von Bauvorhaben in der darauffolgenden Zeit sollte dabei berücksichtigt werden (Lindtner und Neunteufel, 2020).

Personal

Die strikte Einhaltung der allgemeinen Arbeitsschutzregeln und der betrieblichen Hygienemaßnahmen ist zur Aufrechterhaltung der Betriebe im Pandemiefall maßgebend. Die Vorsorge- und Schutzmaßnahmen sind im ÖWAV-Regelblatt 405 (Arbeitshygienische und arbeitsmedizinische Richtlinien für Abwasseranlagen) verankert (ÖWAV 2016).

Um das Personalkontingent stabil aufrecht zu halten, ist die Vermeidung der Ansteckung innerhalb des Teams erforderlich. Dafür müssen Maßnahmen getroffen werden, wobei das ÖWAV-Kernteam COVID-19 und Abwasser bei der Umsetzung bzw. Prüfung der angeführten Maßnahmen darauf plädiert, dass die Betriebe kritisch und individuell handeln. Dabei fordert der ÖWAV eigenverantwortlich zu handeln, wenn keine ausdrücklichen individuell oder generell anzuwendenden rechtlichen Vorgaben definiert sind (Farnleitner und Ertl, 2022).

Um das Personal zu schützen und sichere Arbeitsbedingungen zu schaffen, werden zusätzlich folgende (Vorsorge-)Maßnahmen im Pandemiefall empfohlen (Farnleitner und Ertl, 2022):

- Kontakte im Betrieb (und auch im Privaten) auf ein notwendiges Maß reduzieren und die allgemeinen Verhaltensregeln (Abstand halten , Händewaschen ect.) einhalten
- Entsprechende Planung von Schicht- bzw. Bereitschaftsdiensten, wobei der Kontakt zwischen den Teams dabei möglichst vermieden werden soll (z.B. wechselweiser Dienst zur Kontaktvermeidung, fernmündliche Dienstübergaben, Reinigung bzw. Desinfektion von Arbeitsplätzen, keine gemeinsamen Pausen); Personal in Belegschaft und Home-Office / Bereitschaft einteilen
- Präventive Planung bei personellen Engpässen:
    - Welche Aufgaben sind auch im Notbetrieb zu leisten?
    - Wer steht zur Verfügung?
    - Welche Funktionen können über die Fernwartung gesichert werden?
    - Welche Kommunikationswege stehen bei eingeschränkter Mobilität (verordnete Ausgangssperren u.Ä.) zur Verfügung?
- Kommunikationsplan und -möglichkeiten entwickeln und etablieren

- Vernetzung, Austausch und Aushilfe mit anderen Abwasserentsorgungsunternehmen forcieren (Kontakte in den KAN nutzen)
- Ausnahmeregelungen für sog. Schlüsselpersonal: Ausstellen einer Bestätigung durch den*die Betreiber*innen (Gemeinde, Abwasserverband etc.) für jene Mitarbeiter*innen, die für den Betrieb und der Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit von Einrichtungen der Daseinsvorsorge, wie insbesondere der Abwasserentsorgung, im Einsatz sind
- Hohe Priorität auf Fortbildungen und Ausbildungen der Mitarbeiter*innen
- Einweisung des internen Personals in die COVID-19-Vorsorgemaßnahmen (Schutzausrüstung, Abstand halten, Hygienemaßnahmen, Fernbleiben und Testen bei Krankheitssymptomen) und Aufklärung sowie Bewusstseinsschaffung von wesentlichen Regeln zur Vermeidung von Ansteckung (Abstand halten, Maske tragen ect.)
- Aufklärung der Mitarbeiter*innen über die Inhalte des Pandemie-Plans (Home-Office-Regelungen, Pflegefreistellung, Gehalt, Benefits ect.)
- Strukturen schaffen, die flexible Arbeitsbedingungen (Arbeitsort und -zeit) ermöglichen
- Entwicklung flexibler Freistellungsmaßnahmen für Mitarbeiter*innen zur Verrichtung von familiärer Sorgearbeit (Pflegefreistellung) und Entwicklung eines Leitfadens zur Familienplanung im Pandemiefall (Verweis auf einschlägige Literatur und die Betriebsanweisungen, da dies auch bei anderen Störfällen (z.B. Blackout) relevant ist)
- Zur Gesundheitsvorsorge am Arbeitsplatz Hygieneartikel und Schutzausrüstung auf Vorrat einlagern und großzügig am Arbeitsplatz zur Verfügung stellen; Sicherheitsvorkehrungen für das Arbeiten in den Abwasserbetrieben in Abhängigkeit von dem Ansteckungspotential des Virus über das Abwasser treffen (WHO und UNICEF, 2020)
- Präventiv über Impfmöglichkeiten für Schlüsselpersonal aufklären
- Fernwirksysteme einrichten, um einen externen Zugriff auf die Betriebssoftware zu ermöglichen für den Fall, dass ein Teil des Personals nicht auf dem Betriebsgelände erscheinen kann
- Bei Bedarf feste Schlafplätze auf der Anlage einrichten für eine Quarantäne im Krisenfall

Auch für externes Personal gilt es (Vorsorge-)Maßnahmen für den Pandemiefall zu treffen:

- Nur absolut notwenige Baustellenbesuche während der Entwurfsplanung
- Fernüberwachung ermöglichen, z.B. Video live Übertragung einer Standortbegutachtung für die Entwurfsplanung (Renukappa et al., 2021)
- Regelungen mit Firmen für die Rechtssicherheit im Pandemiefall schaffen, um technischen Support / Fachkräfte für Baustellen / Wartungsarbeiten sicher zu stellen
- Vereinbarungen mit systemwichtigen Lieferant*innen und Dienstleister*innen zur Sicherstellung der Lieferungen und Leistungen auch in Krisenzeiten
- Materialvorräte prüfen und evtl. mit anderen Kläranlagen absprechen (KAN)
- Vernetzung und Einschulungen für den Einsatz von externem Aushilfspersonal

Regelungen und Kommunikation mit Bund und Land

Die Abwasserentsorgung zählt zur Daseinsvorsorge, jedoch nicht zur kritischen Infrastruktur. Zu Beginn der COVID-19-Pandemie brachte dies Probleme bei der Kommunikation zwischen Betreiber*innen und Bund / Länder mit sich. Einerseits besteht der Wunsch seitens der ABU als kritische Infrastruktur gesehen zu werden, mit dem Hintergrund eine höhere Wertschätzung seitens

des Bundes zu erfahren. Zudem würde damit die Finanzierung von Forschungsprojekten in diesem Bereich erleichtert.

Andererseits sprachen sich Stimmen gegen eine Zugehörigkeit zur kritischen Infrastruktur aus, da damit auch mehr Pflichten und ein erhöhter bürokratischer Aufwand einhergehen (KAN, 2020).

Die Unsicherheiten und Zuständigkeiten zu Beginn der Pandemie ließen viel Entscheidungsspielraum für die Betreiber*innen offen. Dies wurde seitens der ABU positiv gewertet. Eine klarere, aktuellere und einfachere Kommunikation vom Bund ist dennoch wesentlich. Eine bessere Zusammenarbeit mit der AGES und dem Gesundheitsministerium, sowie praxisbezogene Information vom Bund und konkrete Vorgaben zur Umsetzung und mehr und aktuellere Unterstützung vom Land wurden von den ABU gefordert (KAN, 2020).

Zusammenfassung

Der Ausbruch der COVID-19-Pandemie brachte viele Herausforderungen für den Betrieb von ARA mit sich. Einige Herausforderungen konnten gut gemeistert werden, andere wurden im Zuge des 1. Lockdowns adaptiert. Andere Probleme trafen die ABU unvorbereitet (Lindtner und Neunteufel, 2020). Laut einer Umfrage der American Water Works Association (AWWA) bei AWWA-Mitgliedern zufolge waren ein Ausfall bzw. die Kontinuität des Betriebs, der Einfluss auf Außendiensttätigkeiten (Zählerablesungen, Reparaturen), Unterbrechungen in der Lieferkette für Betriebsmittel und persönlicher Schutzausrüstung die größten Herausforderungen im Sektor (Kataki et al., 2021). Um nach mehr als zwei Jahren Pandemie noch einen besseren Überblick über die aktuell bestehenden betrieblichen Herausforderungen zu bekommen, würde sich eine erneute Umfrage bei ABU und WVU anbieten.

Die zu treffenden (Vorsorge-)Maßnahmen betreffen im besonderen Maße das Personalmanagement, die Handhabung eines abrupten Abfalls der Anlagenbelastung bzw. einer veränderten Abwasserzusammensetzung und die Vorratshaltung wichtiger Geräte, Ersatzteile und Schutzausrüstung. Zusätzlich dazu sind Notfall- / Stör- und Krisenmanagementpläne individuell auszuarbeiten, aktuell zu halten und ggf. zu adaptieren, wobei Schulungen und Übungen für das Personal nötig sind. Außerdem ist es notwendig Fernwirksysteme und Telearbeitsplätze einzurichten.

Bei all diesen Maßnahmen soll es immer darum gehen die Abwasserentsorgung und den Gewässerschutz sicherzustellen und die Resilienz des existierenden Systems zu erhöhen.

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Zielsetzungen und die Aufgabenstellung gilt es nun abschließend zu bewerten. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist, einen Beitrag zur systemischen Analyse der Auswirkungen einer Pandemie, wie z.B. der COVID-19-Pandemie, auf die Abwasserwirtschaft und den Gewässerschutz zu leisten.

Aus der **Forschungsfrage 1** zur Wahl der Methode dieser systemischen Analyse, kann gefolgert werden, dass das CLD ein gemeinsames Problembewusstsein schafft. Es ist jedoch nur ein erster Versuch die vollständige Komplexität der Thematik zu erfassen. Die Methode bewährt sich gut in der Darstellung der vielschichtigen Auswirkungen der COVID-19-Pandemie mit den umfassenden Veränderungen in den Bereichen Gewerbe, Industrie, Quarantäne und Gesundheitswesen auf die Siedlungswasserwirtschaft. Dabei ist das konzeptuelle Modell sehr stark vereinfacht, aber schafft einen Überblick und eignet sich vor allem die Zusammenhänge zu verstehen und die Vernetzungen im Blick zu behalten.

Der große Benefit dieser Darstellung im Gegensatz zu einem einfachen Ursachen-Wirkungs-Diagramm ist zudem, dass es die Darstellung von Rückkopplungen ermöglicht. An manchen Punkten braucht es noch zusätzliche Daten, die über eine Umfrage bei ABU und WVU eingeholt werden könnten. Das CLD ermöglicht Entscheidungsträger*innen das Gesamtbild zu verstehen und die facettenreichen Konsequenzen zu identifizieren, um in Folge die effektivsten Strategien zur Bewältigung der pandemisch bedingten Störungen anzuwenden. Dabei schafft die Methode Vernetzungen, Schlüsselstellen und Rückkopplungen zwischen ökonomischen, sozialen, gesundheitlichen, industriellen und gewerblichen Aspekten sichtbar zu machen. Entscheidend dabei ist folgend die richtige Maßnahme zum besten Zeitpunkt an der richtigen Stelle zu setzen, wobei der Kosten-Nutzen-Faktor davon, also die Implementierung und Umsetzbarkeit dieser Maßnahme, in dem CLD nicht abgebildet werden kann. Die Reichweite einer Maßnahmensetzung hingegen wird deutlich sichtbar mit dieser Methode. Um die Limitierung des Models aufzuheben, bedarf es einer Weiterentwicklung zu einem dynamischen Modell, das fähig ist, das System zu quantifizieren. Zudem darf bei der Verwendung des CLD nicht vergessen werden, dass es nur einen Teil der Wirklichkeit abbildet. Die COVID-19-Pandemie hat viele dieser Zusammenhänge erst sichtbar gemacht, was die Notwendigkeit bedingt aus der Lektion zu lernen und das System dadurch resilienter zu gestalten. Einen weiterführenden Blickwinkel auf dieses Modell bietet zusätzlich der Ansatz der sog. „sewer sociology“. Nach Enfinger und Stevens (2021) bezeichnet dieser „die Wissenschaft der Gesellschaft, sozialer Institutionen und sozialer Beziehungen, betrachtet durch die Augen eines Kanals - genauer ist es eine systematische Studie der Entwicklung, Struktur, Interaktion und gemeinschaftlichen Verwendung der Abwasserkanäle durch organisierte Gruppen von Menschen“.

Die SFA ermöglicht die Darstellung von Spurenstoffaufkommen an verschiedenen Stellen in der Siedlungswasserwirtschaft. Die Einträge und Austräge aus dem System werden sichtbar gemacht. Infolgedessen können Maßnahmen getroffen werden, um die Einträge an der Quelle zu reduzieren bzw. die Eliminierung dieser Spurenstoffe in der ARA zu forcieren.

Zur Beantwortung der **Forschungsfrage 2** wurden mögliche Veränderungen abwasserrelevanter Stoffströme und des Gewässerzustandes in Folge der Lockdown-Maßnahmen untersucht. Die SFA leistet einen Beitrag dazu quantitative Ergebnisse zu erhalten. Im Hinblick auf die Frage, ob die Abwasserwirtschaft und der Gewässerschutz während der COVID-19-Pandemie sichergestellt werden konnten, zeigt sich die SFA zumindest in Bezug auf Spurenstoffeinträge als geeignetes Tool. Aufgrund der schlechten Datenlage konnte für einige Spurenstoffe jedoch die Bilanz nicht geschlossen werden. Hierfür wird ein umfangreicheres Monitoring benötigt. Zudem wurden viele Annahmen getroffen, welche die Belastbarkeit der Analyse schwächen. Dabei wurde von einem einmaligen 3-monatigen Lockdown pro Jahr ausgegangen mit einer Verkehrsreduktion von 50 % während des Lockdowns. Zusätzlich wurde angenommen, dass sich das Spurenstoffaufkommen linear dazu verhält. Für eine realitätsnähere Analyse müssten tatsächliche Daten verwendet werden.

Dennoch lässt sich aus den Ergebnissen der SFA ableiten, dass sich selbst bei einem längeren Lockdown und größeren Verkehrsreduktionen das Spurenstoffaufkommen nur geringfügig ändert, da die Konzentrationen gemessen an den Abflussmengen für alle untersuchten Spurenstoffe sehr gering sind. Damit ändern sich die Frachten nur geringfügig, wenn sich an einzelnen Inputstellen des Systems die Konzentration ändert. Die Auswirkungen auf die Siedlungswasserwirtschaft und den Gewässerschutz sind als gering zu bewerten. Wobei zu beachten ist, dass Stoßbelastungen auftreten können, die durchaus Probleme in (v.a. kleinen) Kläranlagen verursachen können. Eine Untersuchung der Spurenstofffrachten in der Kanalisation und in der Kläranlage nach einer großflächigen Oberflächendesinfektion, wäre ein Beispiel, das sich für eine weitere SFA anbieten würde.

Bei einem extremen Anstieg der Desinfektionsmittel-Konzentration im Abwasser, besteht die Gefahr einer toxischen Auswirkung auf die Mikroorganismen der Biologisches Reinigungsstufe und einer Veränderung der Beschaffenheit des Belebtschlamms. Dadurch würde die biologische Reinigungsleistung der ARA deutlich abnehmen. Eine Eliminierung der problematischen Stoffe an der Quelle bzw. eine Reduzierung des Eintrags sollte angestrebt werden. Dies könnte mittels Vor- oder Teilklärung durch UV-Bestrahlung oder Ozonisierung v.a. von Krankenhausabwässern mit einem hohen Anteil an Desinfektionsmitteln und RKM erreicht werden.

Die angefertigte SFA kann als Vorlage dafür dienen, bei ausreichender Datenlage, auch andere Parameter zu untersuchen. Die Basis der Ausarbeitung ermöglicht künftig das gezielte Ansetzen der erforderlichen Nachschärfungen bei den identifizierten Problemen.

Durch die Pandemiesituation 2020 / 2021 haben sich sowohl niederschlagswasserbürtige als auch schmutzwasserbürtige Stoffströme verändert. Die gesamte Siedlungswasserwirtschaft war an allen Stellen des Systems zumindest kurzfristig durch das veränderte sozioökonomische Verhalten der Bevölkerung beeinflusst. Da sich die Belastung der ARA durch die Lockdowns geändert hat, ist es jedoch schwierig kleine Veränderungen von Spurenstofffrachten im siedlungswasserwirtschaftlichen System festzustellen. Da jede Anlage unterschiedlich industriell und gesellschaftlich beeinflusst ist, kam es zum Teil zu widersprüchlichen Aussagen von Anlagenbetreiber*innen. Ein Beispiel ist die unterschiedliche Meinung zu vermehrten Fettaufkommen und Müll in der Kanalisation. Daraus lässt sich das Fazit ziehen, dass die COVID-19-Pandemie auf die Siedlungswasserwirtschaft trotz der Definition einer Pandemie, als eine flächendeckende, über Landesgrenzen hinaus auftretende Infektionskrankheit, regionale, kleinstrukturelle Auswirkungen hat.

Aus den SFA kann aber bereits abgelesen werden, dass die Veränderungen der Spurenstoffeinträge durch die gesellschaftlichen Veränderungen, hervorgerufen durch COVID-19-Pandemie, einen geringen Umfang haben. In dem Zuge ist auch zu beachten, dass aus den Auswertungen in Kapitel 5.3.1 hervorgeht, dass das sozio-ökonomische System schnell in gewohnte Muster zurückfällt. Im ersten Lockdown waren die Veränderungen noch sehr gravierend. In den folgenden Lockdowns ist bereits zu sehen, dass die Bevölkerung rasch in die Gewohnheiten der Vor-Lockdown-Situation zurückgekehrte bzw. Strukturen geschaffen wurden (umfangreiches Testangebot), die eine gewisse Normalität wieder ermöglichten. Wenn also teils mehr, teils weniger eines Spurenstoffes über die Zeit eines Lockdowns in die Gewässer getragen wurde, wird dies nur ein kurzfristiger Effekt sein. Zur langfristigen Veränderung, bestenfalls einer Verbesserung, braucht es gezielte politische Maßnahmen, die die Verhaltens- und Mobilitätsmuster, aber auch Produktionsstrukturen und -regelungen, nachhaltig und anhaltend verändern.

Unklar bleibt, ob die Annahmen der gesellschaftlichen Veränderungen sich im Zustand der Oberflächengewässer niederschlagen, da ein flächendeckendes Monitoring vor allem an den Mischwasserüberläufen fehlt.

Die **Forschungsfrage 3** beschäftigt sich mit dem Umgang der ABU mit den betrieblichen Herausforderungen. Die Pandemie ist, wie im Fall der COVID-19-Pandemie, ein Störfall, der über Jahre hinweg in Wellen auftreten kann. Da auch die Auftretenswahrscheinlichkeit einer Pandemie ansteigt (Marani et al., 2021), ist es wichtig nicht nur kurzfristig auf die Probleme zu reagieren,

sondern langfristige Lösungen zu finden, um den Gewässerschutz und den Anlagenbetrieb permanent aufrecht erhalten zu können.

Blackout und Pandemie sind zwar überregional auftretende Störfälle, jedoch können im Pandemiefall die Auswirkungen regional sehr unterschiedlich sein. D.h. bei einem lokalen Infektionsherd kann eine ARA einen Personalmangel verzeichnen, wohingegen in der Nachbarkläranlage zur gleichen Zeit durch geringe Infektionszahlen hohe personelle Kapazitäten zur Verfügung stehen können und im Notfall womöglich eine Aushilfe gestellt werden kann.

Die rechtlichen Grundlagen und Störfallkonzepte zur Pandemie waren bei Ausbruch der COVID-19-Pandemie für ABU dürftig. Wobei einige der Probleme bereits aus anderen Störfällen bekannt waren. Die Ausarbeitung und Adaptierung von Notfallplänen v.a. in Bezug auf Personalmanagement, Kommunikation, Ersatzteillager und Schutzausrüstung war notwendig. Ein Testen dieser Notfallpläne lässt Konflikte und Probleme im Krisenfall in Zukunft vermeiden. Bewusstseinsbildung und Aufklärung schafft zudem Sicherheit in der Bevölkerung.

Die COVID-19-Pandemie brachte zwar einige Herausforderungen mit sich, machte aber auch viele Zusammenhänge und Probleme erst sichtbar, führte also auch dazu Chancen zu erkennen und Potenziale auszuschöpfen. So führten die Herausforderungen zu Umstrukturierungen, Prozessoptimierungen und einem Digitalisierungsschub. Die COVID-19-Pandemie bewirkte jedoch nicht nur betriebliche Veränderungen, sondern schaffte auch ein Bewusstsein dafür, betriebliche Strukturen und die Infrastruktur zu verbessern und umzustrukturieren, mit dem Ziel, das ganze System resilienter zu gestalten. Dazu braucht es vor allem ein kontinuierliches Monitoring, das insbesondere über Fernwirksysteme ansteuerbar ist. Nur ein gutes Datenmanagement ermöglicht ein kurzfristiges Reagieren auf Veränderungen im System. Vorhersagemodelle und Digitalisierung sind dabei wichtige Bausteine zur nachhaltigen Entwicklung (Poch et al., 2020). Durch die Untersuchung des Abwassers auf Viren kann der Infektionsgrad in der Bevölkerung festgestellt werden und somit das Monitoring als Frühwarnsystem dienen, was auch für die Siedlungswasserwirtschaft von Nutzen ist. Bei ansteigendem Infektionsgrad kann so frühzeitig die Vorbereitung der Abwassersektors auf die in der vorliegenden Studie herausgearbeiteten möglichen Auswirkungen einer Pandemie auf den Anlagenbetrieb erfolgen.

Wichtig ist in diesem Schritt anzumerken, dass die Schaffung von Resilienzen im System nur so weit erfolgreich sein können, insofern es möglich ist, die Auswirkungen zu begrenzen, zu bewältigen, sich anzupassen und aus der Krise zu lernen. Die COVID-19-Pandemie hat die Siedlungswasserwirtschaft vor große Herausforderungen gestellt und die Resilienz des Systems getestet. Für die Erstellung eines Stimmungsbildes der Siedlungswasserwirtschaft zur Bewältigung der Coronakrise 2020 wurden von Lindtner und Neunteufel (2020) bereits bestehende Informationen von ÖVGW und ÖWAV herangezogen und Interviews mit WVU, ABU und mit Bediensteten der Ämter der Landesregierungen durchgeführt. Für die Schließung von Daten- und Wissenslücken, einer guten Vorbereitung und einer schnellen Reaktion auf den Störfall „Pandemie“ ist eine erneute detaillierte Umfrage bei ABU und WVU sinnvoll. Anhand der Umfrageergebnisse könnten somit umfangreichere und aktuellere Bedürfnisse und Herausforderungen der jeweiligen Betriebe zusammengetragen werden.

Die Entwicklung eines Bewertungssystems mit einem breiten Spektrum an Indikatoren zur Identifizierung von relativen Stärken und Schwächen könnte, ähnlich dem „Resilience-Dashboard“ der EU (EU Science Hub, 2022), welches eine ganzheitliche Bewertung der Resilienz in der EU und den Mitgliedstaaten im Hinblick auf die laufenden gesellschaftlichen Veränderungen im Rahmen der COVID-19-Pandemie, aber etwa auch dem Klimawandel liefert, helfen, Bereiche für weitere Analysen und potenzielle politische Maßnahmen für die Siedlungswasserwirtschaft zu ermitteln.

7. Zusammenfassung

Der Ausbruch der COVID-19-Pandemie im Frühjahr 2020 stellte weltweit das sozio-ökonomische Gefüge vor erhebliche Herausforderungen. Der Umgang mit der Situation konnte nicht nach einem vorbereiteten Störfallszenario abgehandelt werden, da der Pandemiefall als solcher in den meisten Notfallplänen nicht ausgearbeitet war und zusätzlich auf keinen Erfahrungsschatz zurückgegriffen werden konnte.

Weltweit wurde zeitnah zum Ausbruch der Pandemie verstärkt an einem RNA-Nachweis von SARS-CoV-2 im Abwasser geforscht, um Rückschlüsse auf das Infektionsgeschehen in der Bevölkerung ziehen zu können (Mao et al., 2020; zit. bei Sahin et al., 2020; Ahmed et al., 2021). Die Veränderungen im Abwasser durch die COVID-19-Pandemie gehen jedoch weit über die Detektion der viralen RNA hinaus. Soziale, ökonomische und industrielle Konsequenzen, wie ein gesteigerter Wasserverbrauch, personelle Ausfälle oder Lieferengpässe, waren die Folge. Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war es, einen Beitrag zur systemischen Analyse der Auswirkungen einer Pandemie, wie z.B. der COVID-19 Pandemie, auf die Abwasserwirtschaft und den Gewässerschutz zu leisten. Dabei sollte die Analyse dazu dienen die Herausforderungen und Wissenslücken herauszuarbeiten, um in Zukunft besser auf ähnliche Situationen vorbereitet zu sein und Maßnahmen gezielter, rascher und effizienter setzen zu können. Das Bestreben lag darin, eine Übersicht der Einflüsse der Lockdown-Maßnahmen auf die Abwasserwirtschaft und den Gewässerschutz zu erhalten.

Es konnten Kenntnisse darüber gewonnen werden, inwiefern und in welchem Ausmaß die Abwasserwirtschaft und der Gewässerschutz von den Lockdown-Maßnahmen, während der COVID-19-Pandemie zwischen März 2020 und Mai 2021, betroffen waren. Dazu wurde im Rahmen eines konzeptuellen Modells ein CLD erstellt, wobei ein Ursachen-Wirkungs-Diagramm als Grundlage diente. Das Modell visualisiert das Ursachen-Wirkungsgefüge und Vernetzungen, aber auch positive und negative Rückkopplungen aus den Bereichen Gesellschaft, Gesundheitswesen, Industrie und Gewerbe in Bezug auf die Auswirkungen der COVID-19-Pandemie. Dieser methodische Beitrag stelle sich als geeignet heraus, die Komplexität der Thematik zu erfassen und die Wechselwirkungen unterschiedlicher Komponenten sichtbar zu machen sowie die Schlüsselstellen im System zu identifizieren. Dadurch ermöglicht das CLD Entscheidungsträger*innen das Auftreten von weitreichenden, negativen Konsequenzen gering zu halten und das System in seiner Gesamtheit im Überblick zu behalten. Jedoch ist das CLD nur ein sehr vereinfachtes Modell und kann allenfalls einen Ausschnitt der Wirklichkeit abbilden.

Dieses Modell wurde zu einer quantitativen SFA weiterentwickelt. Eine Frachtberechnung in allen vier Austragspfaden aus der Siedlungswasserwirtschaft erfolgte für acht Spurenstoffe mit ausreichender Datenlage, die hauptsächlich über Straßenabwässer in die Kanalisation gelangen, da durch die Ausgangsbeschränkungen im Frühjahr 2020 in Österreich die Mobilität der Bevölkerung stark zurück geging (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2022b). Es wurden die Veränderungen durch eine Verkehrsreduktion von 50 % über einen Zeitraum von drei Monaten gegenüber dem Referenzzustand (vor Ausbruch der COVID-19-Pandemie) betrachtet. Die Ergebnisse der Konzentrationsauswertung wurden der SiWaWi-Studie von Zessner et al. (2022) entnommen und sind dort als Mittelwerte aus unterschiedlichen Studien zusammengefasst. Über die Konzentrationsauswertungen wurden mithilfe der Wasserbilanzen Frachten für ein siedlungswasserwirtschaftliches System mit überwiegend Mischkanalisation (Beispiel ARA Tulln) und eines mit überwiegend Trennkanalisation (Beispiel ARA Klosterneuburg) berechnet.

Die Veränderung des Spurenstoffeintrags- bzw. austrags beträgt im vorliegenden Untersuchungsfall (Lockdown mit 50 % Verkehrsdeduktion über drei Monate) für alle untersuchten Parameter stets unter 10 % an allen Stellen im siedlungswasserwirtschaftlichen System. Die Ergebnisse sind tabellarisch im Anhang 1 zusammengefasst. Die teilweise großen Bilanzfehler zeigen aber, dass eine gewisse Nachschärfung im quantitativen Bereich erforderlich ist.

Dennoch lässt sich aus den Ergebnissen der SFA ableiten, dass sich selbst bei einem längeren Lockdown und größeren Verkehrsreduktionen das Spurenstoffaufkommen nur geringfügig ändert, da die Konzentrationen gemessen an den Abflussmengen sehr gering sind. Damit ändern sich die Frachten nur geringfügig, wenn sich an einzelnen Inputstellen des Systems die Konzentration des Spurenstoffeintrags ändert. Die Auswirkungen auf die Siedlungswasserwirtschaft und auf den Gewässerschutz sind als gering zu bewerten.

Aus einer Umfrage durch Lindtner und Neunteufel (2020) geht hervor, dass der laufende Betrieb der Abwasserableitung und -reinigung während des 1. Lockdowns grundsätzlich eingeschränkt aufrechterhalten werden konnte. Auch wenn es in manchen Bereichen (Kommunikation, Personalmanagement, Vorratshaltung etc.) noch Verbesserungsbedarf im Umgang mit dem Störfall „Pandemie“ gab, stellte sich bei der Untersuchung der betrieblichen Herausforderungen für ABU aber auch heraus, dass die Abwasserwirtschaft grundsätzlich gut durch die Krise kam, was vor allem der Eigeninitiative und -leistung der ABU zu verdanken ist. Neben den betrieblichen Herausforderungen wurden überblickmäßig Maßnahmen herausgearbeitet, die ABU zur Vorsorge einer möglichen nächsten Pandemie setzen können.

Zu beachten ist, dass die Pandemie zwar ähnlich dem Blackout-Szenario flächendeckend auftritt, jedoch u.U. nur lokale Auswirkungen hat. Zudem kommt, dass die Auswirkungen auf die jeweilige ARA sehr unterschiedlich ausfallen kann, wie z.B. ein abrupter Belastungsrückgang in Tourismusregionen oder eine Belastungszunahme in Auspendler*innenregionen. Es gibt jedoch Bereiche, wie das Personalmanagement und die Bevorratung bestimmter Güter, die alle ABU gleichermaßen betreffen.

Neben einigen negativen Auswirkungen hatte die COVID-19-Pandemie auch positive Effekte auf die Abwasserwirtschaft. Das Arbeiten im Home-Office und das Einschränken von persönlichen Meetings beschleunigte die digitale Transformation hin zum aktuellen Stand der Informations- und Kommunikationstechnik im (Ab-)Wassersektor (Renukappa et al., 2021). Neben dem Digitalisierungsschub führten die Herausforderungen zu Umstrukturierungen, Prozessoptimierungen und technischem Fortschritt. Zudem wurden durch die COVID-19-Pandemie viele Zusammenhänge und Probleme erst sichtbar. Um das System robuster zu machen, gilt es jetzt diese Chance zu erkennen und die Potenziale auszuschöpfen. Dazu gehört, das durch die Pandemieerfahrung erworbene Wissen der ABU zu sammeln und in die Betriebsanweisungen und Notfallpläne der Anlagen sowie in die Katastrophenpläne der Länder mitaufzunehmen, um präventiv für einen nächsten Pandemiefall gut vorbereitet zu sein. Dabei hat sich auch hier ein Austausch und die Vernetzung zwischen den ABU im Sinne einer Nachbarschaftshilfe als wichtiges Tool zu einer resilienteren Abwasserwirtschaft herausgestellt.

Dieses Thema bietet noch viel Forschungspotential. Vor allem die langfristigen Auswirkungen einer Pandemie, wie der COVID-19-Pandemie, sind noch weitgehend unklar. Aber auch eine detaillierte Untersuchung der Belastbarkeitsgrenze des Systems in Bezug auf den Pandemiefall kann dazu beitragen, besser auf weitere und ähnliche Störfallszenarien vorbereitet zu sein.

8. Abkürzungsverzeichnis

ABU	*Abwasserbeseitigungsunternehmen*
AEV	*Abwasseremissionsverordnung*
AIZ	*Achental-Inntal-Zillertal*
AOX	*Adsorbierbare Organisch gebundene Halogene*
ARA	*Abwasserreinigungsanlage*
AWWA	*American Water Works Association*
BIT	*Benzisothiazolinon*
BMI	*Bundesministerium für Inneres*
BMLRT	*Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus*
BMSGPK	*Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz*
CLD	*Causal-Loop-Diagram*
CSB	*Chemischer Sauerstoffbedarf*
DBP	*Disinfection by-products*
DDAC	*Didecyldmethylammoniumchlorid*
DWA	*Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V*
EGW	*Einwohnergleichwert*
EW	*Einwohnerwerte*
KAN	*Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften im ÖWAV*
NGP	*Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan*
ÖVGW	*Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach*
ÖWAV	*Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband*
PAK	*polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe*
QAV	*quaternäre Ammoniumverbindungen*
RKI	*Robert Koch-Institut*
RKM	*Röntgenkontrastmittel*
SARS-CoV-2	*Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2*
SFA	*Stoffflussanalyse*
WGK	*Wassergefährdungsklasse*
WHO	*Weltgesundheitsorganisation*, *World Health Organisation*
WISA	*Wasserinformationssystem Austria*
WKÖ	*Wirtschaftskammer Österreich*
WRG	*Wasserrechtsgesetz*
WRRL	*Wasserrahmenrichtlinie*
WVU	*Wasserversorgungsunternehmen*

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Teilbeiträge der Masterarbeit zu einer systemischen Analyse der Auswirkungen einer Pandemie, wie der COVID-19-Pandemie, auf die Abwasserwirtschaft und den Gewässerschutz (Eigene Darstellung) 4

Abbildung 2 Maßnahmen der COVID-19-Schmutzmaßnahmenverordnung für den 2. Lockdown im November 2020 in Wien (BMK, 2020b) 6

Abbildung 3 Wichtige Schritte der pandemischen Maßnahmen in Österreich zwischen März 2020 und Juli 2021 hinterlegt mit der epidemiologischen Kurve (ORF, 2021) 7

Abbildung 4 Ripple Effekt Mapping (REM) zur Darstellung der Konsequenzen der COVID-19-Pandemie auf das betriebliche System des Wassersektors in UK (Lawson et al., 2021) 8

Abbildung 5 CLD zur Demonstration der Komplexität der Auswirkungen der COVID-19-Pandemie mit den Systemkomponenten Umwelt, Gesundheit, Gesellschaft und Wirtschaft (Sahin et al., 2020) 9

Abbildung 6 Quellen- und frachtorientierte Darstellung der Eintragspfade für Stoffe in Oberflächengewässer (Fuchs et al., 2002) 14

Abbildung 7 Eintragspfadorientierte schematische Darstellung der relevanten Eintragspfade in Grund- und Oberflächengewässer (Clara et al., 2014) 14

Abbildung 8 Quantifizierung der berücksichtigten Eintragspfade des Grundszenariums für Gesamtösterreich (Clara et al., 2014) 15

Abbildung 9 Beispiel für ein einfaches Causal-Loop-Diagramm mit Feedback-Systemen (plus und minus) und Rückkopplungsschleifen (R und B) (Eigene Darstellung) 19

Abbildung 10 Methodisches Vorgehen für die Erstellung einer SFA (ÖWAV 2003) 21

Abbildung 11 Industrielle Veränderungen mit möglicher Folgewirkungen während der COVID-19-Pandemie (Eigene Darstellung) 24

Abbildung 12 Produktionsindex Verarbeitendes Gewerbe (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2022a) 25

Abbildung 13 Veränderung der Produktionsmengen entlang der Wertschöpfungskette (Lerch et al., 2020) 26

Abbildung 14 Gewerbliche Veränderungen mit möglichen Folgen während der COVID-19-Pandemie (Eigene Darstellung) 27

Abbildung 15 Umsatzindex im Gastgewerbe pro Quartal (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2022a) 28

Abbildung 16 Zulieferschwierigkeiten nach strukturellen Charakteristika der Betriebe (Lerch et al., 2020) 30

Abbildung 17 Veränderungen durch Ausgangsbeschränkungen mit möglichen Folgewirkungen in verschiedenen Bereichen während der COVID-19-Pandemie (Eigene Darstellung) 31

Abbildung 18 Abwasserganglinie für unterschiedliche Bereiche vor, während und nach dem Lockdown im Frühjahr 2020 (Enfinger und Stevens, 2021) 33

Abbildung 19 Abwasserganglinie für Siedlungsgebiete in Southern California vor und während des 1. Lockdowns (März bis Mai 2020) und Sommer 2021 (Enfinger und Stevens, 2021) 33

Abbildung 20 Pandemische Unsicherheiten das externe Personal betreffend (Eigene Darstellung) 34

Abbildung 21 Maßnahmen, welche erforderlich sind, damit das Personal einsatzfähig bleibt (orange: Notfall-Maßnahmen, lila: Vorsorge-Maßnahmen) (Eigene Darstellung)..... 36

Abbildung 22 Veränderung der Mobilität zwischen 01.01.2020 und 01.11.2021 (in %) gegenüber 2019 in Deutschland (Quelle: Statistisches Bundesamt (Destatis), 2022b) 38

Abbildung 23 Veränderungen im Gesundheitswesen durch die COVID-19-Pandemie mit möglichen Folgewirkungen auf die Siedlungswasserwirtschaft (Eigene Darstellung) 39

Abbildung 24 Abwasserbelastende Stoffe und Abwassersituation in Kliniken - chemische und ökotoxikologische Untersuchungen (Gartiser und Brinker, 1995) 40

Abbildung 25 Schematische Darstellung möglicher Eintragspfade von Biozid-Produkten durch Desinfektionsmittel in die Umwelt (Verändert nach Umweltbundesamt, 2022a) 42

Abbildung 26 Summarische Bewertung der Ökotoxizität und Abbaubarkeit von Desinfektionsmitteln (Gartiser und Stiene, 1999) 44

Abbildung 27 Systemanalyse über SFA als Fließbild (Detailanalyse) (Abk.: GSA: Gewässerschutzanlage, SBW: Sonderbauwerk, MWE: Mischwasserentlastung, APS: Abwasserpumpstation) (Eigene Darstellung) 45

Abbildung 28 Konzeptuelles Stoffflussmodel von Stoffeinträgen in die Siedlungswasserwirtschaft und der Austragspfade aus der Siedlungswasserwirtschaft (verändert nach Zessner et al., 2022)..... 45

Abbildung 29 Mittlere Jahreswasserbilanz des Einzugsgebietes der ARA Tulln (urbanes siedlungswasserwirtschaftliches Gebiet mit überwiegend Mischkanalisation) bezogen auf EW (verändert nach Zessner et al., 2022)..... 48

Abbildung 30 Mittlere Jahreswasserbilanz des Einzugsgebietes der ARA Klosterneuburg (urbanes siedlungswasserwirtschaftliches Gebiet mit überwiegend Trennkanalisation) bezogen auf EW (verändert nach Zessner et al., 2022) 48

Abbildung 31 Ursache-Wirkungs-Diagramm der gesellschaftlichen Veränderungen im Pandemiefall (Eigene Darstellung)..... 50

Abbildung 32 CLD für das System „Auswirkungen einer Pandemie auf die Abwasserwirtschaft und den Gewässerschutz“ (Eigene Darstellung) 51

Abbildung 33 Abwassermenge Zulauf ARA Strass (2018 – Ende April 2021) (verändert nach Fimml, 2020)..... 54

Abbildung 34 Abwassermenge Zulauf ARA Mürz I-Langenwang (2018 - 2021)..... 54

Abbildung 35 Abwassermenge ARA Strass im Zulauf zwischen Januar bis Mai 2019 und 2020 (verändert nach Fimml, 2020) 55

Abbildung 36 Abwassermenge ARA Mürz I-Langenwang im Zulauf zwischen Januar bis Mai 2019 und 2020..... 56

Abbildung 37 Anlagenbelastung ARA Strass nach CSB EW(120) (verändert nach Fimml, 2020) 57

Abbildung 38 Anlagenbelastung Mürz I-Langenwang nach CSB EW(120) 57

Abbildung 39 Anlagenbelastung ARA Strass nach CSB EW(120) mit hinterlegter epidemiologischer Kurve..... 58

Abbildung 40 Anlagenbelastung ARA Mürz I-Langenwang nach CSB EW(120) mit hinterlegter epidemiologischer Kurve..... 58

Abbildung 41 Abwassertemperatur im Zulauf ARA Mürz I-Langenwang (2018 - 2021)..... 59

Abbildung 42 Mittlere Stoffbilanz für Cadmium in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend Mischkanalisation (z.B. Tulln, AT)..... 61

Abbildung 43 Mittlere Stoffbilanz für Cadmium in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend Trennkanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT) 62

Abbildung 44 Mittlere Stoffbilanz für Benzo(a)pyren in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend Trennkanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT) 62

Abbildung 45 Mittlere Stoffbilanz für Dibutylzinn in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend Trennkanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT) 63

Abbildung 46 Mittlere Stoffbilanz für **Cadmium** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Misch**kanalisation (z.B. Tulln, AT) 93

Abbildung 47 Mittlere Stoffbilanz für **Cadmium** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Trenn**kanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT) 93

Abbildung 48 Mittlere Stoffbilanz für **Benzo(a)pyren** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Misch**kanalisation (z.B. Tulln, AT) 94

Abbildung 49 Mittlere Stoffbilanz für **Benzo(a)pyren** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Trenn**kanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT) 94

Abbildung 50 Mittlere Stoffbilanz für **Chrom** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Misch**kanalisation (z.B. Tulln, AT) 95

Abbildung 51 Mittlere Stoffbilanz für **Chrom** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Trenn**kanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT) 95

Abbildung 52 Mittlere Stoffbilanz für **Dibutylzinn** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Misch**kanalisation (z.B. Tulln, AT) 96

Abbildung 53 Mittlere Stoffbilanz für **Dibutylzinn** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Trenn**kanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT) 96

Abbildung 54 Mittlere Stoffbilanz für **Fluoranthen** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Misch**kanalisation (z.B. Tulln, AT) 97

Abbildung 55 Mittlere Stoffbilanz für **Fluoranthen** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Trenn**kanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT) 97

Abbildung 56 Mittlere Stoffbilanz für **Benzo(b)fluoranthen** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Misch**kanalisation (z.B. Tulln, AT) 98

Abbildung 57 Mittlere Stoffbilanz für **Benzo(b)fluoranthen** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Trenn**kanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT) 98

Abbildung 58 Mittlere Stoffbilanz für **Benzo(k)fluoranthen** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Misch**kanalisation (z.B. Tulln, AT) 99

Abbildung 59 Mittlere Stoffbilanz für **Benzo(k)fluoranthen** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Trenn**kanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT) 99

Abbildung 60 Mittlere Stoffbilanz für **Dibenzo(a,h)anthracen** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Misch**kanalisation (z.B. Tulln, AT) 100

Abbildung 61 Mittlere Stoffbilanz für **Dibenzo(a,h)anthracen** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Trenn**kanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT) 100

10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Zusammensetzung und Herkunft der Fette im Abwasser (verändert nach Dengg und Rostek, 2004) 29

Tabelle 2 Wasserverbrauchsänderungen während des 1. Lockdowns im Frühjahr 2020 (Poch et al., 2020) 34

Tabelle 3 Stoffquellen und Stoffemissionen durch Kraftfahrzeugverkehr (Ertl et al., 2016) 38

Tabelle 4 Zuordnung von Spurenstoffen zu Haupteintragspfaden (Zuordnung von Spurenstoffen zu Haupteintragspfaden erfolgt, wenn der Mittelwert (acht Bundesländer - ohne Wien) eines Eintragspfades über 50 % der Gesamtfracht aus Kläranlagenablauf, Niederschlagswassereinleitungen aus Trennkanalisationen, Mischwasserentlastungen und Straßenabwassereinleitungen beträgt (Clara et al., 2014) 39

Tabelle 5 Röntgenkontrastmittelrückstände in Krankenhausabwasser und kommunalem Abwasser in µg / L (Mauer, 2011) 40

Tabelle 6 Ausgewählte Parameter für die weitergehenden Auswertungen, Zuordnung in Stoffgruppen sowie eindeutige Identifizierung durch CAS-Nummer (Abk. Mischt: gemischter Eintrag über Schmutz- und Niederschlagswasser) (Zessner et al., 2022) 47

Tabelle 7 Kenndaten der Einzugsgebiete (Zessner et al., 2022) 49

Tabelle 8 Zusammenfassung der Ergebnisse für ein urbanes siedlungswasserwirtschaftliches System mit überwiegend Mischsystem (Tulln mit 92 % Mischsystem) 92

Tabelle 9 Zusammenfassung der Ergebnisse für ein urbanes siedlungswasserwirtschaftliches System mit überwiegend Trennsystem (Klosterneuburg mit 82 % Mischsystem) 92

11. Literaturverzeichnis

Abwasserverband AIZ (Hg.) (2007): Fettbelastete Abwässer. Fettabscheidung auf der Kläranlage (KAN 16. Sprechertagung 12.-13.09.2007). Online verfügbar unter https://www.oewav.at/upload/medialibrary/Fimml_Fettbelastete_Abw_sser.pdf, zuletzt geprüft am 11.05.2022.

AGES (Hg.) (2021): Dashboard COVID19. Datenstand des Epidemiologischen Meldesystems. Online verfügbar unter https://covid19-dashboard.ages.at/, zuletzt geprüft am 05.04.2021.

Ahmed, W.; Tscharke, B.; Bertsch, P. M.; Bibby, K.; Bivins, A.; Choi, P. et al. (2021): SARS-CoV-2 RNA monitoring in wastewater as a potential early warning system for COVID-19 transmission in the community: A temporal case study. In: *The Science of the total environment* (761), Artikel 144216. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.144216.

Amor, Walter (2008): Störfallinformation gemäß § 14 (3) Umweltinformationsgesetz, BGBl.-Nr. 495/1993 idgF. für die Abwasserreinigungsanlage ARA-STRASS. Hg. v. AIZ. Zell a. Ziller. Online verfügbar unter http://www.aiz.at/files/Stoerfallinfo_06_2008.pdf, zuletzt geprüft am 10.01.2023.

ASFINAG (2020): Verkehr rund um Ballungsräume wieder auf Niveau vor Beginn des Corona-Lockdowns. Wien. Online verfügbar unter https://www.asfinag.at/ueber-uns/presse/pressemeldungen/2020/verkehr-um-ballungsraeume-wieder-auf-niveau-vor-corona, zuletzt geprüft am 03.08.2020.

Assmann, M.; Haberfellner-Veit, E.; Laber, J.; Lindtner, S.; Tschiesche, U. (2019): Branchenbild der österreichischen Abwasserwirtschaft 2020. Hg. v. ÖWAV. Wien. Online verfügbar unter https://www.oewav.at/upload/medialibrary/oewav_bb_2020_gesamt_DL.pdf, zuletzt geprüft am 05.04.2021.

Bachmayer, W.; Klotz, J. (2021): Homeoffice: Verbreitung, Gestaltung, Meinungsbild und Zukunft. Zusammenfassung der österreichweit ersten integrierten Befragung von Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern sowie Arbeitgeberinnen und Arbeitgebern. Hg. v. BMA. Wien. Online verfügbar unter https://www.bma.gv.at/dam/jcr:bc612283-14a0-42a0-8f58-e932ebffcec2/Homeoffice-Studie%20zur%20Verbreitung,%20Gestaltung,%20Meinungsbild%20und%20Zukunft%20von%20Homeoffice.pdf., zuletzt geprüft am 10.03.2022.

BAFU (Hg.) (2020): Abwasserreinigung auch in Zeiten der SARS-CoV-2-Pandemie gewährleistet. Online verfügbar unter https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wasser/fachinfo-daten/informationsblatt-abwasser-sars-cov-2-pandemie.pdf.download.pdf/informationsblatt-abwasser-sars-cov-2-pandemie.pdf, zuletzt geprüft am 12.12.2022.

Bayrisches Landesamt für Umwelt (Referat 67) (Hg.) (2020): Hinweise für den Betrieb von Abwasseranlagen in Bayern während der SARS-CoV-2 Pandemie (Coronavirus). Online verfügbar unter https://www.lfu.bayern.de/wasser/corona_abwasser/doc/hinweise_zu_betrieb_ueberwachung.pdf, zuletzt geprüft am 08.04.2021.

Biemann, K.; Distelkamp, M.; Dittrich, M.; Dünnebeil, F.; Greiner, B.; Hirschnitz-Garbers, M. et al. (2016): Sicherung der Konsistenz und Harmonisierung von Annahmen bei der kombinierten Modellierung von Ressourceninanspruchnahme und Treibhausgasemissionen (04/2017). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/2017-01-30_dokumentation_04-2017_modellierung_simress.pdf, zuletzt geprüft am 22.09.2021.

Bivins, A.; Greaves, J.; Fischer, R.; Yinda, K. C.; Ahmed, W.; Kitajima, M. et al. (2020): Persistence of SARS-CoV-2 in Water and Wastewater. In: *Environ. Sci. Technol. Lett.* 7 (12), S. 937–942.

BMF (1993): Bundesgesetz über den Zugang zu Informationen über die Umwelt (Umweltinformationsgesetz). UIG. Fundstelle: RIS. Online verfügbar unter https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/1993_495_0/1993_495_0.pdf, zuletzt geprüft am 30.11.2022.

BMI (2022): Allgemeines zum Selbstschutz im Katastrophenfall. Online verfügbar unter https://www.oesterreich.gv.at/themen/gesundheit_und_notfaelle/katastrophenfaelle/1/Seite.29500328.html, zuletzt aktualisiert am 01.01.2022, zuletzt geprüft am 11.06.2022.

BMK (2020a): BMK Infothek. Coronavirus: Aktuelle Informationen, Maßnahmen & Reisehinweise. Update 21. April 2020: Wochenendfahrverbote für Lkw bis 17. Mai ausgesetzt. Online verfügbar unter https://infothek.bmk.gv.at/coronavirus-reisehinweise-aktuelle-informationen/, zuletzt geprüft am 04.11.2022.

BMK (2020b): BMK Infothek. Coronavirus: Aktuelle Informationen, Maßnahmen & Reisehinweise. Update 02.November 2020. Online verfügbar unter https://infothek.bmk.gv.at/coronavirus-reisehinweise-aktuelle-informationen/, zuletzt geprüft am 12.02.2023.

BMLF (2022): Allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen. AAEV, vom 03.12.2022. Fundstelle: RIS. Online verfügbar unter https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010977, zuletzt geprüft am 03.12.2022.

BMLRT (2021): Daten und Zahlen. Durchschnittlicher Pro-Kopf-Wasserverbrauch in österreichischen Haushalten. Online verfügbar unter https://info.bmlrt.gv.at/at.lfrz.duz/pdf.do?fromList=true&id=3428637&lang=de, zuletzt geprüft am 01.10.2021.

BMLRT; BMSGPK; BMI (Hg.) (2020): Klarstellungen zu systemrelevanten Unternehmen im Zusammenhang mit der Lebensmittelproduktion. Online verfügbar unter https://info.bmlrt.gv.at/dam/jcr:350ae6f1-fc78-4721-afca-a52108b4e01d/20200408_Klarstellungen%20zu%20systemrelevanten%20Unternehmen%20im%20Zusammenhang%20mit%20der%20Lebensmittelproduktion.pdf, zuletzt aktualisiert am 08.04.2020, zuletzt geprüft am 07.04.2021.

BMSGPK: Impfdashboard. Corona-Schutzimpfung in Österreich. Online verfügbar unter https://info.gesundheitsministerium.at/, zuletzt geprüft am 05.04.2021.

BMUV (1999): Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe: Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Wasserhaushaltsgesetz über die Einstufung wassergefährdender Stoffe in Wassergefährdungsklassen. VwVwS, vom BAnz. Nr. 98a 1999. Online verfügbar unter https://www.bmuv.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/vwvws.pdf, zuletzt geprüft am 14.03.2022.

Bölke, K.-P. (2013): Kanalinspektion. Zustände erkennen und dokumentieren. 4., aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (VDI-Buch).

Bürgi, D.; Knechtenhofer, L.; Meier, I.; Giger, W. (2009): Priorisierung von bioziden Wirkstoffen aufgrund der potenziellen Gefährdung schweizerischer Oberflächengewässer. In: *Environ Sci Eur* 21, S. 16–26. Online verfügbar unter https://enveurope.springeropen.com/track/pdf/10.1007/s12302-008-0032-2.pdf, zuletzt geprüft am 27.04.2022.

Callegari, C. (2018): Störfallinformation. Hg. v. AWV Hall in Tirol - Fritzens. Fritzens. Online verfügbar unter https://www.abwasserverband.com/klaeranlage/stoerfallinformation/, zuletzt geprüft am 01.10.2021.

ChemicalBook (2017): CAS DataBase. CAS 64-17-5. Online verfügbar unter https://www.chemicalbook.com/CASEN_64-17-5.htm, zuletzt geprüft am 27.04.2022.

Chu, W.; Fang, C.; Deng, Y.; Xu, Z. (2021): Intensified Disinfection Amid COVID-19 Pandemic Poses Potential Risks to Water Quality and Safety. In: *Environmental science & technology* 55 (7), S. 4084–4086.

Clara, M.; Ertl, T.; Giselbrecht, G.; Gruber, G.; Hofer, T.; Humer, F. et al. (2014): SCHTURM - Spurenstoffemissionen aus Siedlungsgebieten und von Verkehrsflächen. Hg. v. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien. Online

verfügbar unter https://www.umweltfoerderung.at/fileadmin/user_upload/umweltfoerderung/betriebe/Wasser_Betriebe/Studien_Wasserwirtschaft/SCHTURM_Spurenstoffemissionen_aus_Siedlungsgebieten_und_von_Verkehrsflaechen.pdf, zuletzt geprüft am 10.02.2023.

Clara, M.; Gruber, G.; Hohenblum, T.; Hofer, Thomas; Kittlaus, S., Lenz, K.; Liebmann, B. et al. (2020): TEMPEST. Erfassung von Emissionen ausgewählter Spurenstoffe aus Kanalsystemen, Handlungsoptionen zu deren Minderung und Optimierung einer alternativen Nachweismethode für Kunststoffpartikel in Wasserproben. Hg. v. BMLRT. Wien. Online verfügbar unter https://www.umweltfoerderung.at/fileadmin/user_upload/media/umweltfoerderung/Dokumente_Betriebe/Wasser_Betriebe/Studien_Wasserwirtschaft/10945_Tempest_20201110.pdf, zuletzt geprüft am 03.12.2021.

Dengg, J.; Rostek, R. (2004): Fett im Abwasser. Brochüre zur Reduzierung des Fetteintrages in das Abwasser. Hg. v. AIZ. Strass im Zillertal. Online verfügbar unter http://www.aiz.at/files/FettBroschuereAIZ_2004.pdf, zuletzt geprüft am 04.11.2022.

DeRiz, R. (2020): Spezialauswertung KFZ-Verkehr (MA46). Wien, 10.08.2020. Email an E. Hampel.

DWA (2020a): Gefährdung durch Coronavirus. Information des DWA-Fachausschusses BIZ-4 "Arbeits- und Gesundheitsschutz". Online verfügbar unter https://de.dwa.de/de/gefaehrdung-durch-coronavirus.html, zuletzt aktualisiert am 20.04.2020, zuletzt geprüft am 12.02.2023.

DWA (2020b): Schutzmaßnahmen Corona-Virus. Information des DWA-Fachausschusses BIZ-4 „Arbeits- und Gesundheitsschutz“. Online verfügbar unter https://de.dwa.de/de/schutzmassnahmen-corona-virus.html, zuletzt aktualisiert am 10.05.2020, zuletzt geprüft am 12.02.2023.

DWA (2022a): Engpass Fällmittel: Gewässerschutz sicherstellen, Sanktionen vermeiden und Alternativen entwickeln. Online verfügbar unter https://de.dwa.de/de/presseinformationen-volltext/engpass-faellmittel-gewaesserschutz-sicherstellen-sanktionen-vermeiden-und-alternativen.html, zuletzt aktualisiert am 21.09.2022, zuletzt geprüft am 17.11.2022.

DWA (2022b): Pandemiemaßnahmen in Abwasserbetrieben. Information des DWA-Fachausschusses BIZ-4 „Arbeits- und Gesundheitsschutz“. Online verfügbar unter https://de.dwa.de/de/pandemiemassnahmen-in-abwasserbetrieben.html, zuletzt aktualisiert am 04.01.2022, zuletzt geprüft am 12.02.2023.

DWA (2022c): Engpass Fällmittel: Gewässerschutz sicherstellen, Sanktionen vermeiden und Alternativen entwickeln. Politik und Wasserwirtschaft in engem Schulterschluss für den Schutz der Gewässer. Online verfügbar unter https://de.dwa.de/de/presseinformationen-volltext/engpass-faellmittel-gewaesserschutz-sicherstellen-sanktionen-vermeiden-und-alternativen.html, zuletzt aktualisiert am 04.11.2022, zuletzt geprüft am 04.11.2022.

ECHA (2021): Produktarten. Helsinki. Online verfügbar unter https://echa.europa.eu/de/regulations/biocidal-products-regulation/product-types, zuletzt aktualisiert am 17.12.2021, zuletzt geprüft am 17.12.2021.

Elsaid, K.; Olabi, V.; Sayed, E. T.; Wilberforce, T.; Abdelkareem, M. A. (2021): Effects of COVID-19 on the environment: An overview on air, water, wastewater, and solid waste. In: *Journal of environmental management* 292 (112694). Online verfügbar unter https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721007568.

Enfinger, K. L.; Stevens, P. L. (2021): Flattening the (Diurnal) Curve. The pandemic and its disruption viewed through the eyes of a sewer. In: *Water Environment and Technology Magazine* (33/1), S. 32–35, zuletzt geprüft am 10.03.2022.

Ertl, T.; Fürhacker, M.; Pitha, U., Allabashi, R.; Scharf, B.; Measho, Haile T. (2016): Straßen Abwasserlösungen für Vegetation und Entwässerung SAVE. WP 1.2.2 Ergebnisse und Erfahrungen aus anderen Projekten. BOKU. Wien.

EU Science Hub (2022): Resilience dashboards. The social and economic, green, digital, and geopolitical resilience dashboards. Hg. v. Europäische Kommission. Online verfügbar unter https://joint-research-centre.ec.europa.eu/resilience/resilience-dashboards_en, zuletzt aktualisiert am 09.12.2022, zuletzt geprüft am 09.12.2022.

Europäische Union (1991): Richtlinie des Rates vom 21.05.1991 - Behandlung von kommunalem Abwasser. 91/271/EWG. Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0271&from=EN, zuletzt geprüft am 24.09.2021.

Europäische Union (2010): Richtlinie über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) vom 24.11.2010. 2010/75/EU. Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0075&qid=1632471573979&from=DE, zuletzt geprüft am 24.09.2021.

Farnleitner, A.; Ertl, T. (2022): News. Coronavirus: Informationen für die Betreiber von Abwasseranlagen. Hg. v. ÖWAV. Online verfügbar unter https://www.oewav.at/Page.aspx?target=391804, zuletzt aktualisiert am 04.01.2022, zuletzt geprüft am 07.01.2022.

Fimml, C. (2020): 29. Sprechertagung - ÖWAV-Kanal- und Kläranlagen Nachbarschaften am 09./10. September 2020. Erfahrungsaustausch COVID-19 Maßnahmen. Auswirkungen und Maßnahmen in einem Abwasserverband. St. Pölten.

Fladischer, S. (2022): Betriebsdaten und Information, 11.04.2022. Telefongespräch an E. Hampel.

Fuchs, S.; Scherer, U.; Hillenbrand, T.; Marscheider-Weidemann, F.; Behrendt, H.; Opitz, D. (2002): Schwermetalleinträge in die Oberflächengewässer Deutschlands. Berlin (Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2225.pdf, zuletzt geprüft am 10.02.2023.

Gans, O.; Uhl, M.; Grullitsch, B.; Fürhacker, M.; Kreuzinger, N. (2005): Grundlagen zur Risikoabschätzung für quaternäre Ammoniumverbindungen. Hg. v. Umweltbundesamt. Wien. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/be271.pdf, zuletzt geprüft am 07.11.2022.

Gantner, C. (2008): Vom Bach zum Bachkanal. Ein Beitrag zur Geschichte der Wiener Kanalisation. 2., erweiterte Auflage. Wien: Bohmann Druck und Verlag Ges.m.b.H. & Co.KG.

Gartiser, S.; Brinker, L. (1995): Abwasserbelastende Stoffe und Abwassersituation in Kliniken - chemische und ökotoxikologische Untersuchungen. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes Berlin in Zusammenarbeit mit der Universität Freiburg. Hg. v. Umweltbundesamt. Berlin (UBA-Texte, 74/95).

Gartiser, S.; Stiene, G. (1999): Umweltverträgliche Desinfektionsmittel im Krankenhausabwasser. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter https://www.hydrotox.de/fileadmin/user_upload/pdfs/forschungen/projekte/UBA_Desinfektionsmittel.pdf, zuletzt geprüft am 27.04.2022.

Gholipour, S.; Mohammadi, F.; Nikaeen, M.; Shamsizadeh, Z.; Khazeni, A.; Sahbaei, Z. et al. (2021): COVID-19 infection risk from exposure to aerosols of wastewater treatment plants. In: *Chemosphere* 273, Artikel 129701.

Hartmann, C.; Lenz, K.; Grabher A.-L. (2020): Untersuchung von Abwasser vor und während der CoVid-19-Pandemie. Non-Target-Analytik als mögliche Methode zur Untersuchung der Auswirkungen der Pandemiemaßnahmen auf die aquatische Umwelt. Hg. v. BMLRT. Wien. Online verfügbar unter https://www.umweltfoerderung.at/fileadmin/user_upload/media/umweltfoerderung/Dokumente_Betriebe/Wasser_Betriebe/Studien_Wasserwirtschaft/KPC_Bericht_Non-Target_Abwasser_CoVid19_final.pdf, zuletzt geprüft am 15.12.2021.

Hefler, F. (2003): Gesetzliche Begrenzung von Abwasseremissionen. Technische Anleitung zur Begrenzung von Abwasseremissionen aus Krankenanstalten, Pflegeanstalten, Kuranstalten und Heilbädern. Hg. v. BMLFUW. Online verfügbar unter https://info.bmlrt.gv.at/dam/jcr:aabfa415-50a2-4dc8-93cf-ef67b0e3d504/AEV_Medizinischer_Bereich.pdf, zuletzt geprüft am 14.03.2022.

Hellweg, S.; Juraske, R.; Rubli, S. (2015): Ökologische Systemanalyse. Materialflussanalyse – Risikoanalyse - Oekobilanz. Vorlesungsskript. ETH Zürich, Zürich. Online verfügbar unter https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/baug/ifu/eco-systems-design-dam/documents/lectures/2015/bachelor/oekologische%20systemanalyse/skript/ifu-esd-bsc-OeSA-gesamtskript_v0.pdf, zuletzt geprüft am 02.11.2022.

Hillenbrand, T.; Toussaint D.; Böhm E.; Fuchs S.; Scherer, U.; Rudolphi, A.; Hoffmann, M. (2005): Einträge von Kupfer, Zink und Blei in Gewässer und Böden. Analyse der Emissionspfade und möglicher Emissionsminderungsmaßnahmen. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2936.pdf, zuletzt geprüft am 02.12.2021.

Hlozek, T. (2022): Fettaufkommen im Kanal. Wien, 19.01.2022. Email an E. Hampel.

IKSR (Hg.) (2010): Auswertungsbericht Röntgenkontrastmittel. IKSR - Bericht Nr. 187. Koblenz. Online verfügbar unter https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/Fachberichte/DE/rp_De_0187.pdf, zuletzt geprüft am 28.02.2022.

IKW (Hg.) (2020): Jahresrückblick: Schönheits- und Haushaltspflege im Corona-Jahr – der Boom der Seife und mehr Zeit für Haushaltspflege. Online verfügbar unter https://www.ikw.org/presse/jahresrueckblick-schoenheits-und-haushaltspflege-im-corona-jahr-der-boom-der-seife-und-mehr-zeit-fuer-haushaltspflege, zuletzt aktualisiert am 06.12.2022, zuletzt geprüft am 06.12.2022.

Kahle, M.; Nöh, I. (2009): Biozide in Gewässern. Eintragspfade und Informationen zur Belastungssituation und deren Auswirkungen. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3811.pdf, zuletzt geprüft am 27.04.2022.

Kampf, G. (2018): Antiseptic Stewardship. Cham: Springer International Publishing. Online verfügbar unter https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-98785-9.pdf, zuletzt geprüft am 15.12.2021.

Kampf, G.; Kramer, A.; Suchomel, M. (2017): Lack of sustained efficacy for alcohol-based surgical hand rubs containing 'residual active ingredients' according to EN 12791. In: *The Journal of hospital infection* 95 (2), S. 163–168.

KAN (2020): Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften im ÖWAV, 27.05.2020. Online Treffen.

Karner, T.; Schuster, S.; Weninger, B.; Rudlof, M. (2021): Verkehrsstatistik 2020. Hg. v. Statistik Austria. Wien. Online verfügbar unter https://www.statistik.at/fileadmin/publications/Verkehrsstatistik_2020.pdf, zuletzt geprüft am 05.12.2022.

Kataki, S.; Chatterjee, S.; Vairale, M. G.; Sharma, S.; Dwivedi, S. K. (2021): Concerns and strategies for wastewater treatment during COVID-19 pandemic to stop plausible transmission. In: *Resources, conservation, and recycling* 164 (105156).

KemRisk (2021): Sicherheitsdatenblatt. Tork Alcohol Liquid Hand Sanitizer. Online verfügbar unter https://tork-images.essity.com/images-c5/471/264471/original/420110-511110-590110-tork-alcohol-liquid-hand-sanitizer-germany.pdf, zuletzt geprüft am 27.04.2022.

Kitajima, M.; Ahmed, W.; Bibby, K.; Carducci, A.; Gerba, C. P.; Hamilton, K. A. et al. (2020): SARS-CoV-2 in wastewater: State of the knowledge and research needs. In: *The Science of the total environment* 739 (139076).

Kolmer, A. (2022): Systemdenken. Online verfügbar unter https://www.kolmer.one/series/systemdenken/, zuletzt geprüft am 02.12.2022.

Krejci, Heinz (2014): Expedition in die Kulturgeschichte des Abwassers. Hg. v. Magistrat der Stadt Wien - MA30 Wien Kanal. Wien.

Kroiss, H. (Hg.) (2007): Betrieb von Kläranlagen. Grundkurs. Technische Universität Wien. Wien: Inst. für Wassergüte Ressourcenwirtschaft und Abfallwirtschaft (Wiener Mitteilungen, 202). Online verfügbar unter https://repositum.tuwien.at/retrieve/1971.

Laimer, P.; Schischeg, C. (2021): Tourismus in Österreich 2020. Ergebnisse der Beherbergungsstatistik. Hg. v. Statistik Austria. Wien. Online verfügbar unter https://www.statistik.at/fileadmin/publications/Tourismus_2020_Barr.pdf, zuletzt geprüft am 04.11.2022.

Laimer, P.; Schischeg, C. (2022): Tourismus in Österreich 2021. Ergebnisse der Beherbergungsstatistik. Hg. v. Statistik Austria. Wien. Online verfügbar unter https://www.statistik.at/fileadmin/publications/tourismus_in_oesterreich_2021.pdf, zuletzt geprüft am 04.11.2022.

Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg; Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hg.) (2010): Handbuch Betriebliche Pandemieplanung. 2., erweiterte und aktualisierte Auflage. Online verfügbar unter https://www.dguv.de/medien/inhalt/praevention/themen_a_z/biologisch/pandemieplanung/handbuch-betriebl_pandemieplanung.pdf, zuletzt geprüft am 08.04.2021.

Lawson, E.; Bunney, S.; Cotterill, S.; Farmani, R.; Melville-Shreeve, P.; Butler, D. (2021): COVID-19 and the UK water sector: Exploring organizational responses through a resilience framework. In: *Water and environment journal* (12737). Online verfügbar unter https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/wej.12737.

Lerch, C.; Jäger, A.; Heimberger, H. (2020): Modernisierung der Produktion: Mitteilung aus der ISI-Erhebung. Produktion in Zeiten der Corona-Krise. Welche Auswirkungen hat die Pandemie heute und zukünftig auf die Industrie? (78). Online verfügbar unter https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/modernisierung-produktion/erhebung2018/PI_78_Produktion_in_Corona_Web.pdf, zuletzt geprüft am 10.08.2021.

Li, Z.; Song, G.; Bi, Y.; Gao, W.; He, A.; Lu, Y. et al. (2021): Occurrence and Distribution of Disinfection Byproducts in Domestic Wastewater Effluent, Tap Water, and Surface Water during the SARS-CoV-2 Pandemic in China. In: *Environmental science & technology* 55, S. 4103–4114.

Lindtner, S.; Neunteufel, R. (2020): Coronakrise 2020. Stimmungsbild zur Krisenbewältigung in der Siedlungswasserwirtschaft. Hg. v. Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus. Wien. Online verfügbar unter https://info.bmlrt.gv.at/service/publikationen/wasser/Coronakrise-2020---Stimmungsbild-zur-Krisenbewaltigung-in-der-Siedlungswasserwirtschaft.html, zuletzt geprüft am 13.10.2020.

Marani, M.; Katul, Gabriel G.; Pan, William K.; Parolari, Anthony J. (2021): Intensity and frequency of extreme novel epidemics. In: *Proc Natl Acad Sci USA* 118 (35).

Mauer, C. (2011): Technische und ökonomische Aspekte der separaten Erfassung und Behandlung von Krankenhausabwasser. Dissertation. Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Aachen. Fakultät für Bauingenieurwesen. Online verfügbar unter https://d-nb.info/1018200487/34, zuletzt geprüft am 14.03.2022.

McKibbin, W.; Fernando, R. (2020): The global macroeconomic impacts of COVID-19: Seven scenarios. In: *CAMA Working Paper* (19). Online verfügbar unter https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3547729, zuletzt geprüft am 11.06.2022.

Milling, P. (Hg.) (1990): Unternehmensstrategien im sozio-ökonomischen Wandel. Produktqualität als Wettbewerbsfaktor in einer dynamischen Unternehmensumwelt. Unter Mitarbeit von Hans Czap. Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialkybernetik; Wissenschaftliche Jahrestagung der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialkybernetik. 15 Bände. Berlin: Duncker &

Humblot (Wissenschaftliche Jahrestagung der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialkybernetik, 1989).

Muhammad, S.; Long, X.; Salman, M. (2020): COVID-19 pandemic and environmental pollution: A blessing in disguise? In: *The Science of the total environment* 728, Artikel 138820.

Oftner, M.; Lenz, K.; Zieritz, I. (2020): Kommunales Abwasser. Österreichischer Bericht 2020. Hg. v. BMLRT. Wien. Online verfügbar unter https://info.bmlrt.gv.at/dam/jcr:40608892-831f-40d1-bc22-106972fb1ef4/Lagebericht_2020.pdf, zuletzt geprüft am 23.09.2021.

ÖNORM S 2096-1 (2005): ÖNORM S 2096-1: Stoffflussanalyse. Teil 1: Anwendung in der Abfallwirtschaft- Begriffe. Austrian Standards, zuletzt geprüft am 02.12.2022.

ÖNORM S 2096-2 (2005): ÖNORM S 2096-2: Stoffflussanalyse. Teil 2: Anwendungen in der Abfallwirtschaft - Methodik. Austrian Standards, zuletzt geprüft am 02.12.2022.

ORF (2020a): Coronavirus: Abwasserentsorger beklagen Müllaufkommen. Online verfügbar unter https://steiermark.orf.at/stories/3045325/, zuletzt aktualisiert am 22.04.2020, zuletzt geprüft am 27.04.2022.

ORF (2020b): Coronavirus: Zwei Fälle in Tirol bestätigt. Online verfügbar unter https://orf.at/stories/3155602/, zuletzt aktualisiert am 25.02.2020, zuletzt geprüft am 05.04.2021.

ORF (2021): Lage in Österreich: Coronavirus in Österreich: Täglich aktuelle Daten, Zahlen, Karten und Grafiken. Online verfügbar unter https://orf.at/corona/daten/oesterreich, zuletzt geprüft am 05.04.2021.

ORF-TVthek (2020): Verunsicherung führt zu Hamsterkäufen. Online verfügbar unter https://tvthek.orf.at/profile/Archiv/7648449/Verunsicherung-fuehrt-zu-Hamsterkaeufen/14064028/Verunsicherung-fuehrt-zu-Hamsterkaeufen/14757026, zuletzt aktualisiert am 03.12.2022, zuletzt geprüft am 03.12.2022.

ÖWAV (2003): Regelblatt 514: Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft. ÖWAV-RB 514. Online verfügbar unter https://www.oewav.at/Publikationen?current=293555&mode=form, zuletzt geprüft am 02.11.2002.

ÖWAV (2016): ÖWAV-Regelblatt 405: Arbeitshygienische und arbeitsmedizinische Richtlinien für Abwasseranlagen. ÖWAV-RB 405. Online verfügbar unter https://www.oewav.at/Publikationen?mode=form&current=293597, zuletzt geprüft am 08.12.2022.

ÖWAV (2017): Tatort:WC – Feuchttücher killen Pumpen und erhöhen Ihre Abwassergebühren“. Hg. v. ÖWACV. Wien. Online verfügbar unter https://www.oewav.at/Downloads/Sonstiges, zuletzt geprüft am 08.12.2022.

ÖWAV (2019): Arbeitsbehelf 59 - Mustergeschäftsordnung für Wasser- und Abwasser-/Reinhaltungsverbände. Online verfügbar unter https://www.oewav.at/Publikationen?current=328274&mode=form.

ÖWAV (2021): ÖWAV-Regelblatt 39: Einleitung von fetthaltigen Betriebsabwässern aus Gastronomie, Küchen und Lebensmittelverarbeitung in öffentliche Abwasseranlagen. ÖWAV-RB 39, vom 2. vollständig überarbeitete Auflage. Online verfügbar unter https://www.oewav.at/Publikationen?current=420750&mode=form, zuletzt geprüft am 24.09.2021.

Pieper, C.; Schwebke, I.; Noeh I.; Uhlenbrock, K.; Hübner, N. O.; Solecki, R. (2014): Antimikrobielle Produkte im Haushalt – eine Betrachtung zu Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt sowie zum Nutzen für den Anwender. In: *Hygiene & Medizin* 39 (3), S. 68–76.

Poch, M.; Garrido-Baserba, M.; Corominas, L.; Perelló-Moragues, A.; Monclús, H.; Cermerón-Romero, M. et al. (2020): When the fourth water and digital revolution encountered COVID-19. In: *The Science of the total environment* 744, Artikel 140980.

Ratjen, G. (2016): Umweltbroschüre. Nachhaltiges Wirtschaften in Hotellerie und Gastronomie. Hg. v. Deutscher Hotel- und Gaststättenverband e.V. (DEHOGA Bundesverband). Berlin.

Online verfügbar unter https://www.dehoga-bundesverband.de/fileadmin/Startseite/05_Themen/Energie/DEHOGA_Umweltbroschu__re_Oktober_2016.pdf, zuletzt geprüft am 05.10.2021.

Rauh, O.; Stickel, E. (2013): Konzeptuelle Datenmodellierung: Vieweg+Teubner Verlag (Teubner Reihe Wirtschaftsinformatik). Online verfügbar unter https://books.google.at/books?id=t-K0BgAAQBAJ.

Reisinger, H.; Schöller, G.; Müller, B.; Obersteiner, E. (2009): RUSCH - Ressourcenpotenzial und Umweltbelastung der Schwermetalle Cadmium, Blei und Quecksilber in Österreich. Hg. v. Umweltbundesamt. Klagenfurt/Wien (REP-0229). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0229.pdf, zuletzt geprüft am 05.10.2021.

Renukappa, S.; Kamunda, A.; Suresh, S. (2021): Impact of COVID-19 on water sector projects and practices. In: *Util policy* 70, Artikel 101194.

RIS (2020): Strafgesetzbuch § 74 (Bundesrecht konsolidiert). Fassung vom14.07.2020. Online verfügbar unter https://www.ris.bka.gv.at/NormDokument.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10002296&FassungVom=2020-07-14&Artikel=&Paragraf=74&Anlage=&Uebergangsrecht=, zuletzt geprüft am 08.04.2021.

RKI (2009): Was ist eine Pandemie? Online verfügbar unter https://www.rki.de/SharedDocs/FAQ/Pandemie/FAQ18.html, zuletzt aktualisiert am 10.06.2009, zuletzt geprüft am 05.04.2021.

RKI (2016): Wirkstoffe der alkoholischen Händedesinfektionsmittel - ein Beitrag zum Internationalen Tag der Händehygiene. In: *Epidemiologisches Bulletin* (17), S. 143–150. DOI: 10.17886/EpiBull-2016-029.

RKI (2017): Liste der vom Robert Koch - Institut geprüften und anerkannten Desinfektionsmittel und -verfahren. In: *Bundesgesundheitsblatt* (60), S. 1274–1297. DOI: 10.1007/BF03044379.

RKI (2020): Aktuelle Daten und Informationen zu Infektionskrankheiten und Public Health. In: *Epidemiologisches Bulletin* (39). Online verfügbar unter https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2020/Ausgaben/39_20.pdf, zuletzt geprüft am 17.12.2021.

RKI (2021): Epidemiologischer Steckbrief zu SARS-CoV-2 und COVID-19. Übertragungswege. Online verfügbar unter https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Steckbrief.html, zuletzt aktualisiert am 18.03.2021, zuletzt geprüft am 05.04.2021.

Roskosch, A.; Maas, M.; Meyer, N. (2015): Interaktive energetische Optimierung einer Abwasserbehandlungsanlage mittel eines Lastprofils. Förderprojekt "Energieoptimierung der Kläranlage Blümeltal" im Umweltinnovationsprogramm. In: *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 62 (9), S. 804–809.

Sahin, O.; Salim, H.; Suprun, E.; Richards, R.; MacAskill, S.; Heilgeist, S. et al. (2020): Developing a Preliminary Causal Loop Diagram for Understanding the Wicked Complexity of the COVID-19 Pandemic. In: *Systems* 8 (2), Artikel 20.

Schmidt, C. (2021): Analysen zum Leistungsgeschehen der Krankenhäuser und zur Ausgleichspauschale in der Corona-Krise. Ergebnisse für den Zeitraum Januar bis Dezember 2020. Im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit. Hg. v. RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung. Online verfügbar unter https://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/3_Downloads/C/Coronavirus/Analyse_Leistungen_Ausgleichszahlungen_2020_Corona-Krise.pdf, zuletzt geprüft am 28.02.2022.

Schmidt, S. (2009): Die Diffusion komplexer Produkte und Systeme. Ein systemdynamischer Ansatz. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler (Gabler Edition Wissenschaft). Online verfügbar unter https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-8349-8196-7.pdf, zuletzt geprüft am 06.10.2021.

Schröder, H.; Osterhorn, S.; Flöser, V. (1999): AOX im Krankenhausabwasser. Eine Studie zu Herkunft, Menge und Substitution. In: *gwf Wasser+Abwasser* (140), S. 20–26.

Schuster, S.; Weninger, B.; Rudlof, M.; Klinghofer, S. (2022): Verkehrsstatistik 2021. Hg. v. Statistik Austria. Wien. Online verfügbar unter https://www.statistik.at/fileadmin/publications/Verkehrsstatistik-2021.pdf, zuletzt geprüft am 05.12.2022.

Schwarz, R.; Ewaldt, J. W.: Über den Beitrag systemdynamischer Modellierung zur Abschätzung technologischer Evolution. In: Technologie-Roadmapping Zukunftsstrategien für Technologieunternehmen, S. 365–382.

Sivakumar, B. (2021): COVID-19 and water. In: *Stochastic environmental research and risk assessment : research journal* 35 (3), S. 531–534.

Statistik Austria (Hg.) (2021a): Energiebilanzen. Energiebilanz 2020. Online verfügbar unter http://www.statistik.gv.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html, zuletzt geprüft am 12.03.2022.

Statistik Austria (Hg.) (2021b): Medizinische Leistungen. Online verfügbar unter https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/gesundheit/stationaere_aufenthalte/medizinische_leistungen/index.html, zuletzt geprüft am 14.03.2022.

Statistik Austria (Hg.) (2022): Pendlerinnen und Pendler. Abgestimmte Erwerbsstatistik 2019. Online verfügbar unter http://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/volkszaehlungen_registerzaehlungen_abgestimmte_erwerbsstatistik/pendlerinnen_und_pendler/index.html, zuletzt geprüft am 11.03.2022.

Statistisches Bundesamt (Destatis) (Hg.): Gastgewerbe in der Corona-Krise. Umsätze seit Ausbruch der Pandemie um fast die Hälfte zurückgegangen. Pressemittleilung vom 22.03.2021. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/03/PD21_N020_45213.html, zuletzt geprüft am 03.12.2022.

Statistisches Bundesamt (Destatis) (Hg.) (2020a): Desinfektionsmittel. Starker Anstieg der ausländischen Nachfrage im Januar 2020. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/04/PD20_N016_51.html, zuletzt geprüft am 14.03.2022.

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2020b): Produktion in Corona-Zeiten. Pressemitteilung Nr. N 075 vom 18.11.2020. Wiesbaden. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/11/PD20_N075_42.html, zuletzt geprüft am 03.12.2022.

Statistisches Bundesamt (Destatis) (Hg.) (2022a): COVID-Monitor: Wirtschaftliche Folgen der COVID19-Pandemie in Europa. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/COVID-19/COVID-19-Artikel.html, zuletzt geprüft am 05.04.2022.

Statistisches Bundesamt (Destatis) (Hg.) (2022b): Experimentelle Daten - Mobilitätsindikatoren mit Mobilfunkdaten. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Service/EXDAT/Datensaetze/mobilitaetsindikatoren-mobilfunkdaten.html#kleinr%C3%A4umige%20Mobilit%C3%A4t, zuletzt geprüft am 25.04.2022.

Steger-Hartmann, T.; Länge, R.; Schweinfurth, H.; Tschampel, M.; Rehmann, I. (2002): Investigations into the environmental fate and effects of iopromide (ultravist), a widely used iodinated X-ray contrast medium. In: *Water Research* 36 (1), S. 266–274.

SVGW (2009): Pandemieplan: Handbuch für die betriebliche Vorbereitung mit spezieller Berücksichtigung des Falles einer Grippepandemie (Influenzapandemie) in Gas- und Wasserversorgungen. Mit spezieller Berücksichtigung des Falles einer Grippepandemie (Influenzapandemie) in Gas-und Wasserversorgungen. GW 1003. Online verfügbar unter

https://www.wasserversorger.at/files/media/downloads/News/Pandemie-plan%20Handuch%20fuer%20betriebliche%20Vorbereitung.pdf.pdf, zuletzt geprüft am 08.04.2021.

Umweltbundesamt (Hg.) (2004): Arzneimittel in der Umwelt - Zu Risiken und Nebenwirkungen fragen Sie das Umweltbundesamt. Umweltrisikobewertung von Arzneimittelwirkstoffen: Beispiele aus der Praxis eines Herstellers. Dessau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2976.pdf, zuletzt geprüft am 28.02.2022.

Umweltbundesamt (2022a): Biozide in der Umwelt. Eintragspfade von Bioziden in die Umwelt. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/daten/chemikalien/biozide-in-der-umwelt#untersuchungen-von-bioziden-in-der-umwelt, zuletzt geprüft am 14.03.2022.

Umweltbundesamt (2022b): H2O Fachdatenbank -„Wassergütedaten auf Knopfdruck“. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter https://wassertest.umweltbundesamt.at/h2odb/index.xhtml, zuletzt geprüft am 01.12.2022.

Umweltbundesamt (2022c): Rigoletto. WGK-Suche. Online verfügbar unter https://webrigoletto.uba.de/Rigoletto/Home/SearchDetail/96, zuletzt geprüft am 06.12.2022.

Umweltbundesamt (2022d): Wassergüte garantiert genau messen. Ringversuche für Trinkwasser, Grund-, Oberflächen- und Abwasser. Wien. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.at/leistungen/dienstleistungen/ringversuche/ringversuche-wasser, zuletzt geprüft am 01.12.2022.

Umweltbundesamt (2022e): Wasserqualität. Untersuchung nach Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV). Wien. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.at/wasser/daten-karten/gewaesserzustandsueberwachung, zuletzt geprüft am 01.12.2022.

VDI ZRE GmbH (Hg.): Stoffstromanalyse. Online verfügbar unter https://www.ressource-deutschland.de/leitfaden-re/methoden/stoffstromanalyse/, zuletzt geprüft am 02.12.2022.

Wegscheider-Pichler, A.; Prettner, C.; Lam, N. (2021): Wie geht´s Österreich? Indikatoren und Analysen von 2000 bis zum COVID-19-Krisenjahr 2020. Bericht 2021. Hg. v. Statistik Austria. Wien. Online verfügbar unter http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wohlstand_und_fortschritt/wie_gehts_oesterreich/index.html, zuletzt geprüft am 12.03.2022.

WHO (2020): WHO erklärt COVID-19-Ausbruch zur Pandemie. Online verfügbar unter https://www.euro.who.int/de/health-topics/health-emergencies/coronavirus-covid-19/news/news/2020/3/who-announces-covid-19-outbreak-a-pandemic, zuletzt geprüft am 08.04.2021.

WHO (2021a): Das Virus. Pandemie der Coronavirus-Krankheit (COVID-19). Online verfügbar unter https://www.euro.who.int/de/health-topics/health-emergencies/coronavirus-covid-19/novel-coronavirus-2019-ncov, zuletzt geprüft am 05.04.2021.

WHO (2021b): WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard. Online verfügbar unter https://covid19.who.int/, zuletzt geprüft am 05.04.2021.

WHO; UNICEF (2020): Water, sanitation, hygiene, and waste management for SARS-CoV-2, the virus that causes COVID-19. Interim guidance - 29.07.2020. Online verfügbar unter https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1292822/retrieve, zuletzt geprüft am 28.03.2022.

Wilkinson, J. L.; Boxall, Alistair B. A.; Kolpin, D. W.; Leung, K. Y.M.; Lai, R. S.W.; Galbán-Malagón, C. et al. (2022): Pharmaceutical pollution of the world's rivers. In: *Proc Natl Acad Sci USA* 119 (8).

WKO (2020): Gemeinsam durch die Corona-Krise. Eine Zwischenbilanz der WKÖ. WKO. Wien. Online verfügbar unter https://oea.wkk.or.at/covid-foerdermassnahmen/wp-content/uploads/sites/19/2020/08/WKO_Corona_Zwischenbilanz.pdf, zuletzt geprüft am 06.12.2022.

Zalengera, C.; Chitawo, Maxon L.; Chitedze, I.; To, L. S.; Mwale, V.; Gondwe, K. T.; Maroyi, T. (2021): Unbending the Winding Path of a Low-Income Country's Energy Sector amid the COVID-19 Pandemic: Perspectives from Malawi. In: *Energies* 14 (21), Artikel 7184.

Zessner, M.; Schaar, H.; Zoboli, O.; Kreuzinger, N.; Kittlaus, S.; Muschalla, D. et al. (2022): Zukünftige stoffliche und mikrobiologische Herausforderungen für die kommunale Siedlungswasserwirtschaft (SIWAWI). Hg. v. Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus. Wien.

12. ANHANG

12.1 Anhang 1: Zusammenfassung der Ergebnisse

Tabelle 8 Zusammenfassung der Ergebnisse für ein urbanes siedlungswasserwirtschaftliches System mit überwiegend Mischsystem (Tulln mit 92 % Mischsystem)

MISCHSYSTEM (92% MS) 12,5% Reduktion pro Jahr		Cadmium		Benzo(a)pyren		Chrom		Dibutylzinn		Fluoranthen		Benzo(b)fluoranthen		Benzo(k)fluoranthen		Dibenzo(a,h)anthracen	
		Red. Fracht mg/EW.a	Differenz in %	Red. Fracht mg/EW.a	Differenz in %	Red. Fracht mg/EW.a	Differenz in %	Red. Fracht mg/EW.a	Differenz in %	Red. Fracht mg/EW.a	Differenz in %	Red. Fracht mg/EW.a	Differenz in %	Red. Fracht mg/EW.a	Differenz in %	Red. Fracht mg/EW.a	Differenz in %
INPUT	Anteil Straße zu MWK	4		0,7		208		0,4		8		0,1		1,0		0,1	
	Anteil Dach zu MWK	12		3,8		611		0,4		11		8,0		1,9		0,9	
	NW zu MWK	16	4%	4,5	2%	819	3%	0,9	7%	19	5%	8,1	0,2%	2,9	5%	1,0	2%
	Anteil Straße zu RWK	0		0,1		18		0,0		1		0,0		0,1		0,0	
	Anteil Dach zu RWK	1		0,3		53		0,0		1		0,7		0,2		0,1	
	NW zu RWK	1	4%	0,4	2%	71	3%	0,1	7%	2	5%	0,7	0,2%	0,3	5%	0,1	2%
	SW zu MWK	11		1,3		273		0,7		4		1,4		0,6		0,3	
	SW zu SWK	1		0,1		24		0,1		0		0,1		0,1		0,0	
OUTPUT	MWÜ	6	2%	0,8	2%	269	3%	0,1	4%	2	5%	1,2	0,2%	0,7	4%	0,2	1%
	RWK	1	4%	0,4	2%	71	3%	0,1	7%	2	5%	0,7	0,2%	0,3	5%	0,1	2%
	Klärschlamm (mg/(kg TS))	19	3%	1,3	2%	744	3%	1,3	4%	3	5%	1,6	0,2%	0,7	5%	0,2	2%
	Ablauf ARA	2	3%	0,1	2%	153	3%	0,0	4%	0	5%	0,1	0,2%	0,0	5%	0,0	2%

Tabelle 9 Zusammenfassung der Ergebnisse für ein urbanes siedlungswasserwirtschaftliches System mit überwiegend Trennsystem (Klosterneuburg mit 82 % Mischsystem)

TRENNSYSTEM (82% MS) 12,5% Reduktion pro Jahr		Cadmium		Benzo(a)pyren		Chrom		Dibutylzinn		Fluoranthen		Benzo(b)fluoranthen		Benzo(k)fluoranthen		Dibenzo(a,h)anthracen	
		Red. Fracht mg/EW.a	Differenz in %	Red. Fracht mg/EW.a	Differenz in %	Red. Fracht mg/EW.a	Differenz in %	Red. Fracht mg/EW.a	Differenz in %	Red. Fracht mg/EW.a	Differenz in %	Red. Fracht mg/EW.a	Differenz in %	Red. Fracht mg/EW.a	Differenz in %	Red. Fracht mg/EW.a	Differenz in %
INPUT	Anteil Straße zu MWK	1		0,2		59		0,1		2		0,0		0,3		0,0	
	Anteil Dach zu MWK	2		0,8		113		0,1		1		1,7		0,3		0,2	
	NW zu MWK	3	5%	1,0	3%	172	5%	0,2	9%	3	9%	1,7	0,2%	0,6	6%	0,2	2%
	Anteil Straße zu RWK	5		0,9		267		0,6		10		0,1		1,3		0,2	
	Anteil Dach zu RWK	10		3,4		515		0,2		5		7,7		1,4		0,8	
	NW zu RWK	16	5%	4,4	3%	782	5%	0,8	9%	15	9%	7,8	0,2%	2,7	6%	1,0	2%
	SW zu MWK	2		0,3		53		0,1		2		0,3		0,1		0,0	
	SW zu SWK	9		1,2		243		0,6		9		1,3		0,6		0,2	
OUTPUT	MWÜ	1	3%	0,2	2%	56	4%	0,0	5%	1	5%	0,3	0,2%	0,1	5%	0,0	2%
	RWK	16	5%	4,4	3%	782	5%	0,8	9%	15	9%	7,8	0,2%	2,7	6%	1,0	2%
	Klärschlamm (mg/(kg TS))	19	1%	1,3	1%	755	2%	1,4	2%	19	2%	1,6	0,1%	0,8	3%	0,2	1%
	Ablauf ARA	1	1%	0,0	1%	108	2%	0,0	2%	1	2%	0,1	0,1%	0,0	3%	0,0	1%

12.2 Anhang 2: SFA aller untersuchten Spurenstoffe

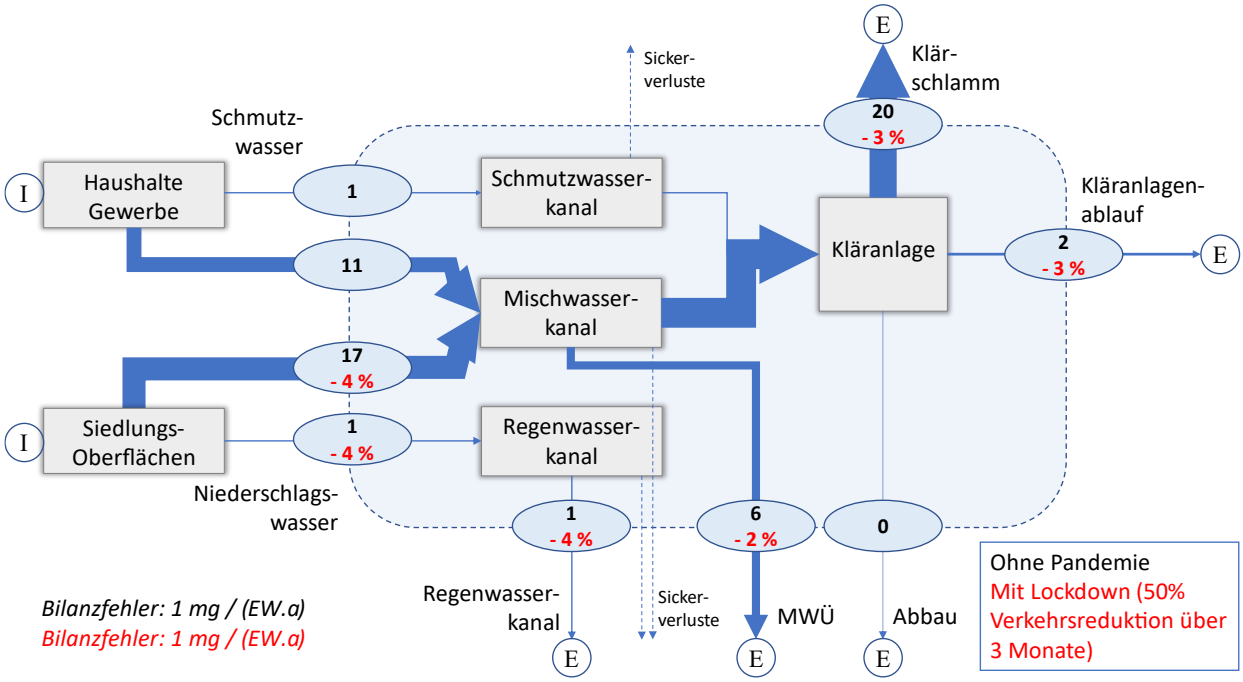

Abbildung 46 Mittlere Stoffbilanz für **Cadmium** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Misch**kanalisation (z.B. Tulln, AT)

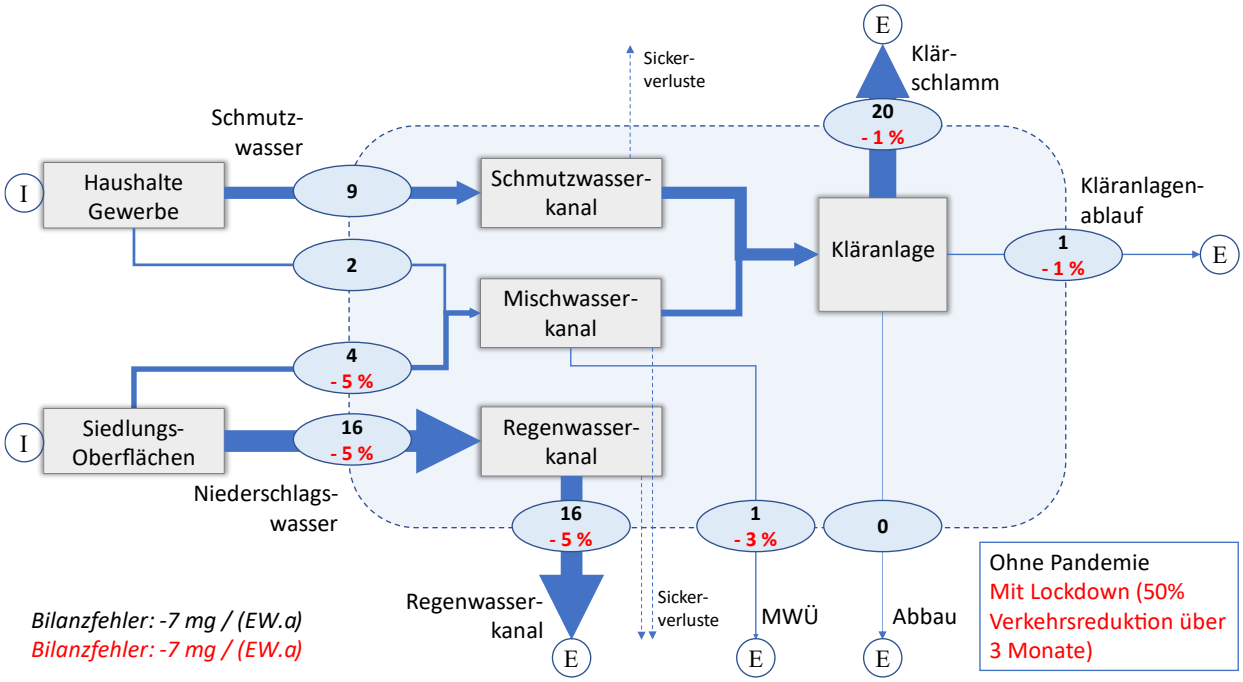

Abbildung 47 Mittlere Stoffbilanz für **Cadmium** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Trenn**kanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT)

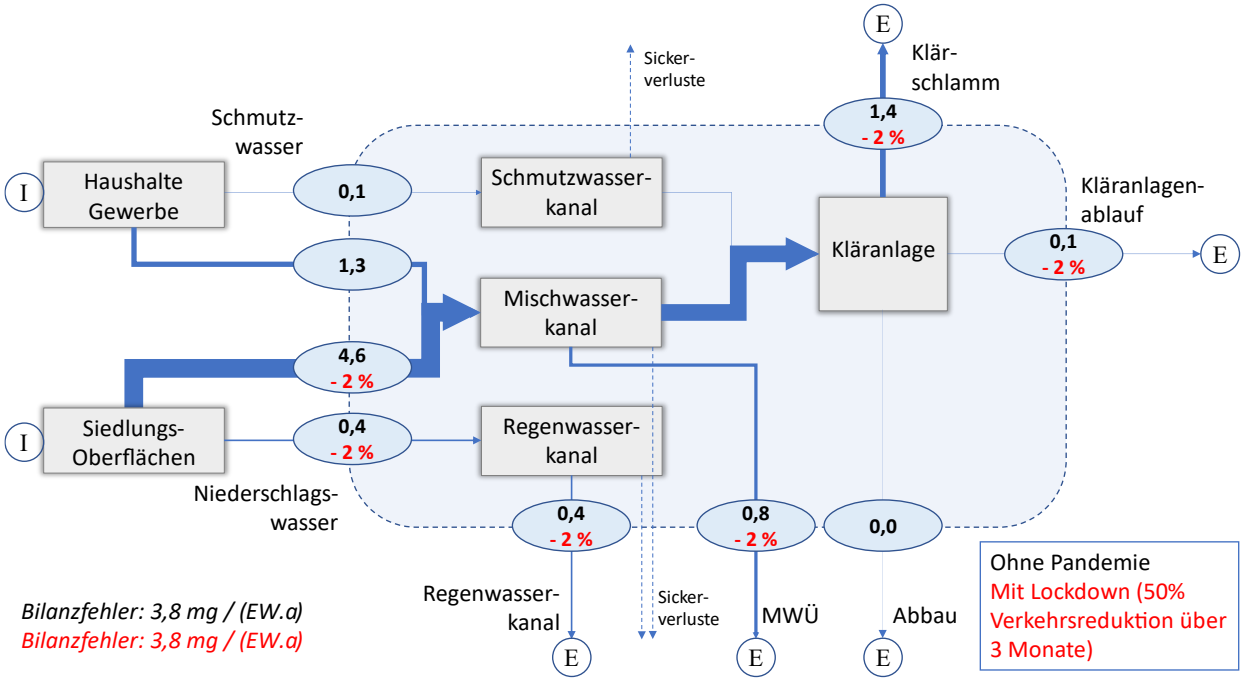

Abbildung 48 Mittlere Stoffbilanz für **Benzo(a)pyren** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Misch**kanalisation (z.B. Tulln, AT)

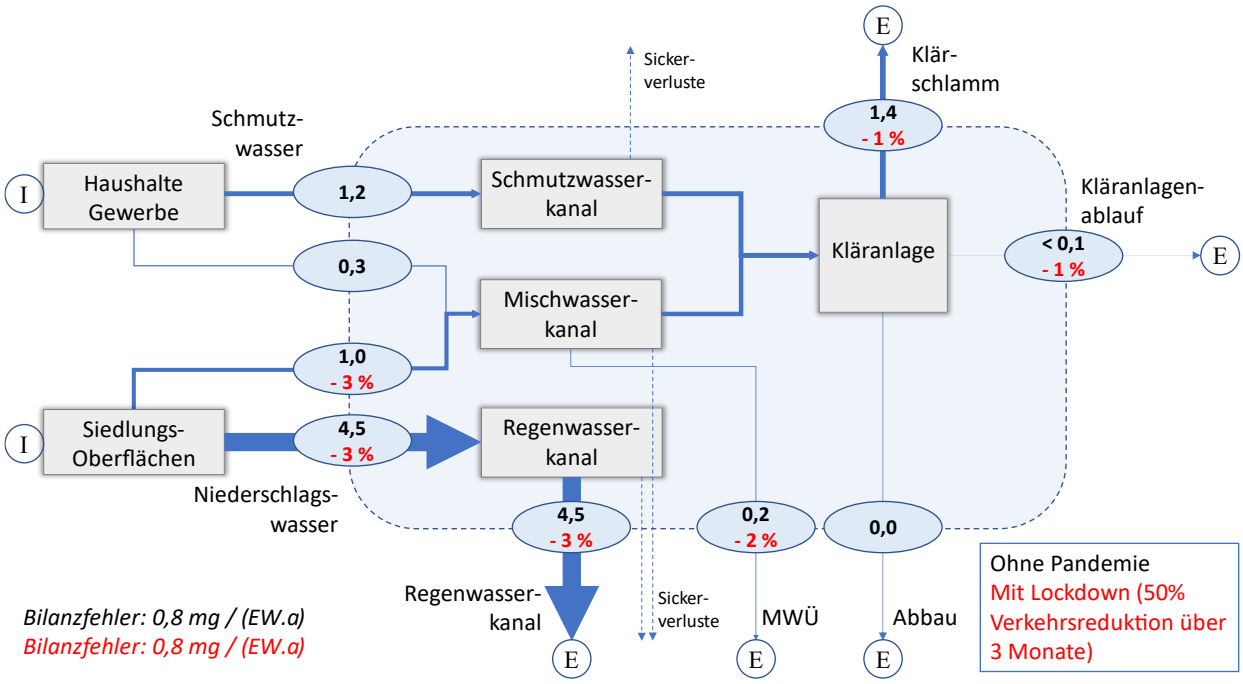

Abbildung 49 Mittlere Stoffbilanz für **Benzo(a)pyren** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Trenn**kanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT)

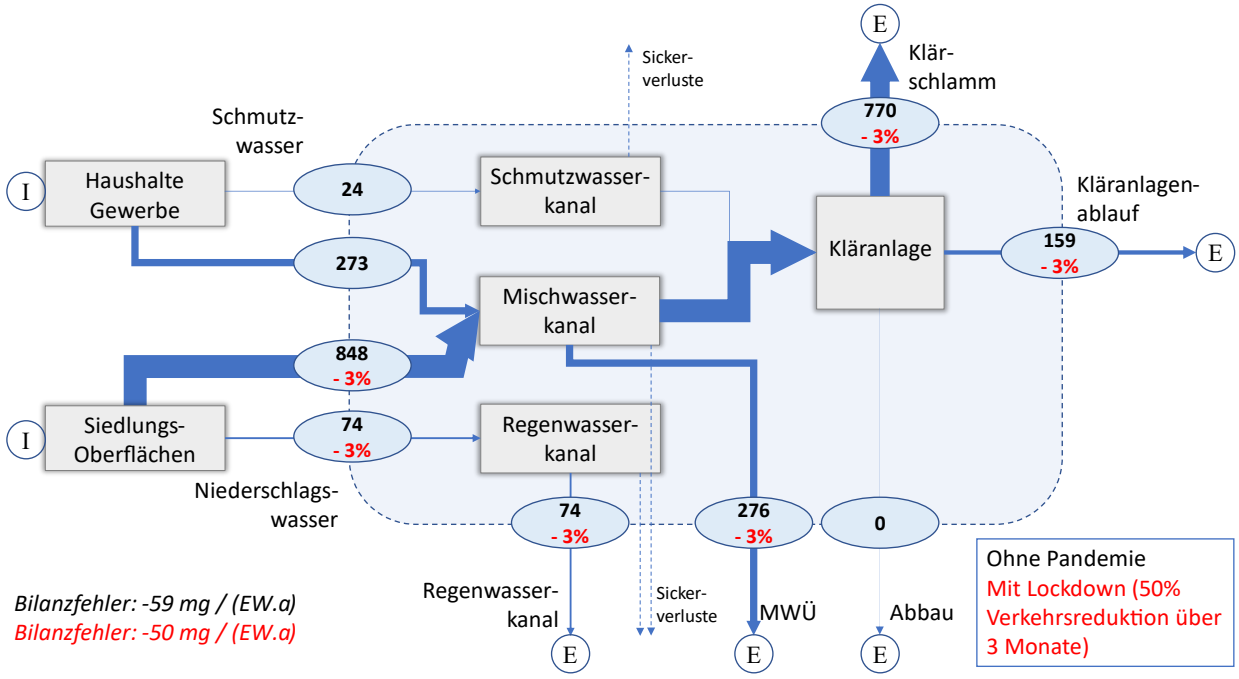

Abbildung 50 Mittlere Stoffbilanz für **Chrom** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Misch**kanalisation (z.B. Tulln, AT)

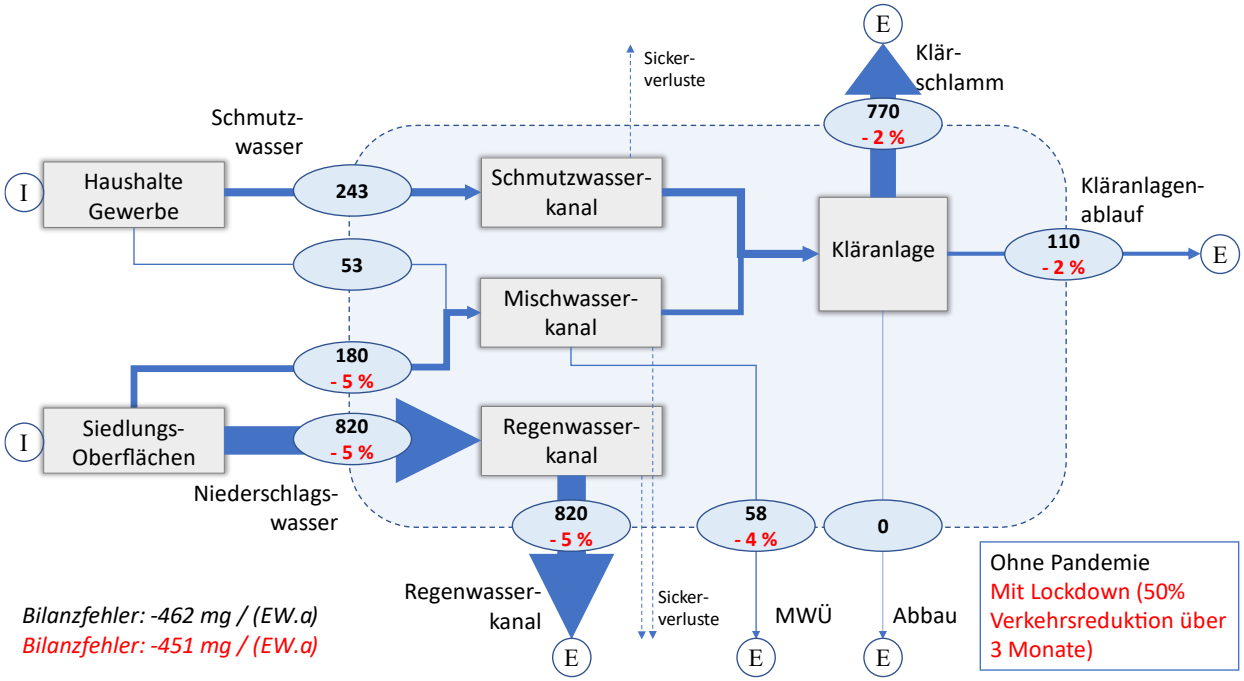

Abbildung 51 Mittlere Stoffbilanz für **Chrom** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Trenn**kanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT)

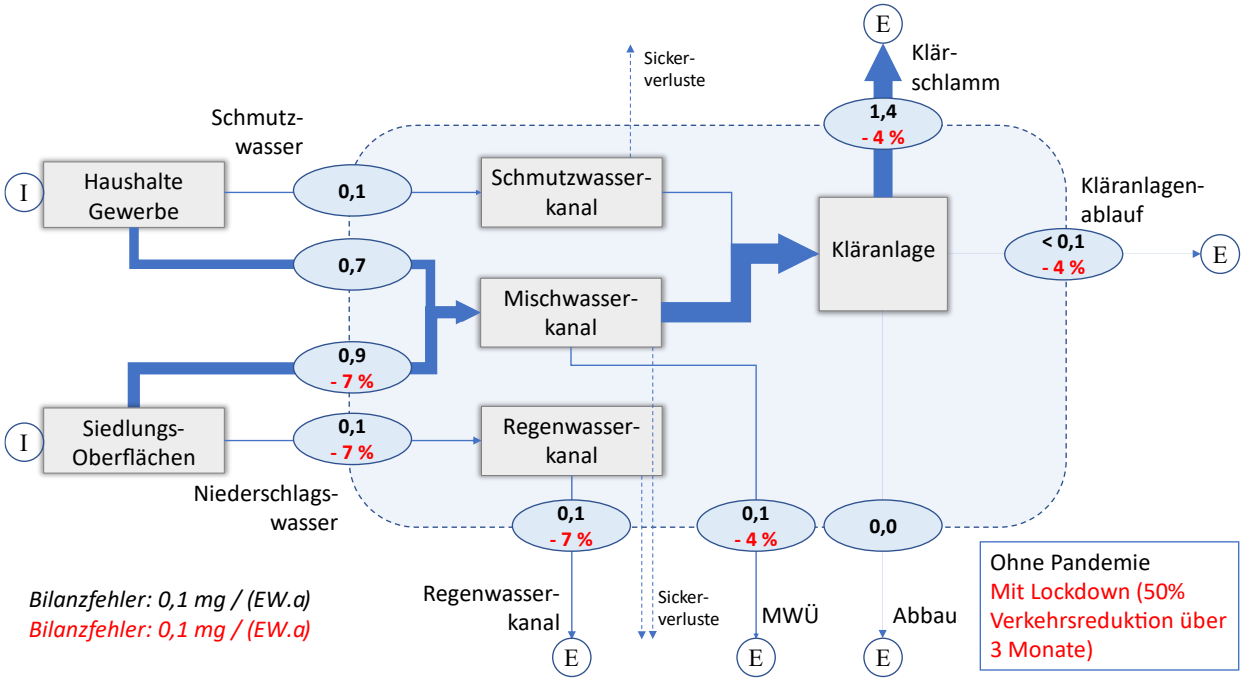

Abbildung 52 Mittlere Stoffbilanz für **Dibutylzinn** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Misch**kanalisation (z.B. Tulln, AT)

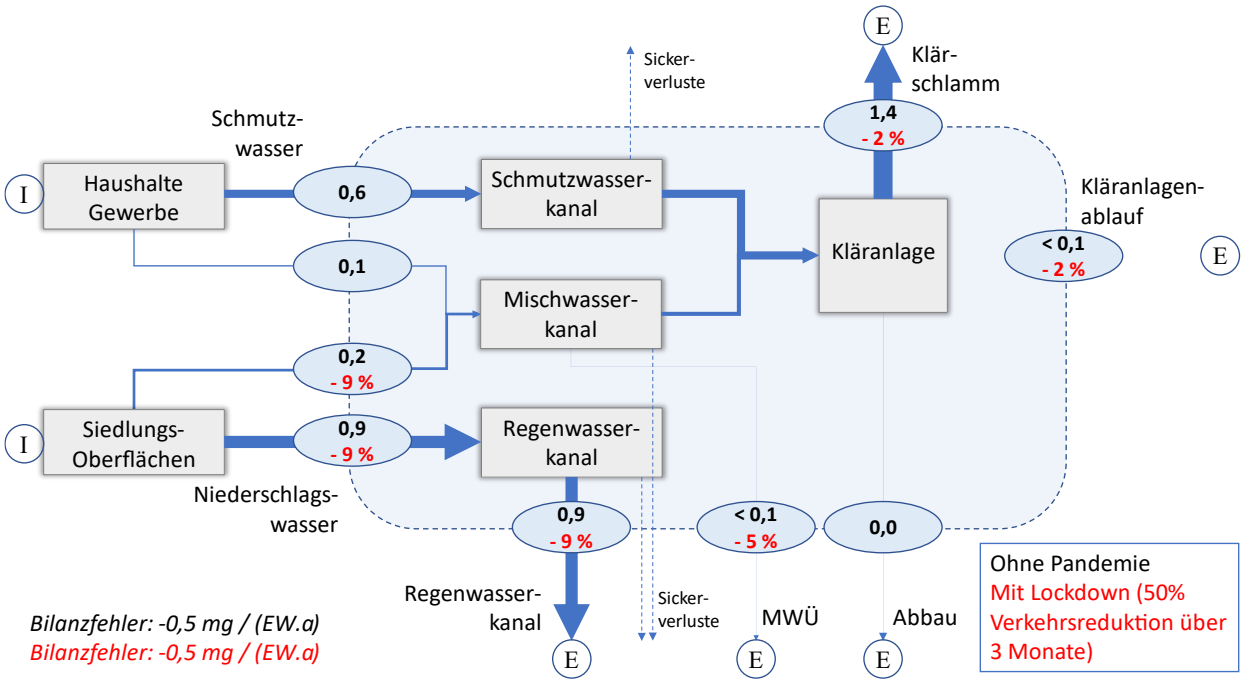

Abbildung 53 Mittlere Stoffbilanz für **Dibutylzinn** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Trenn**kanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT)

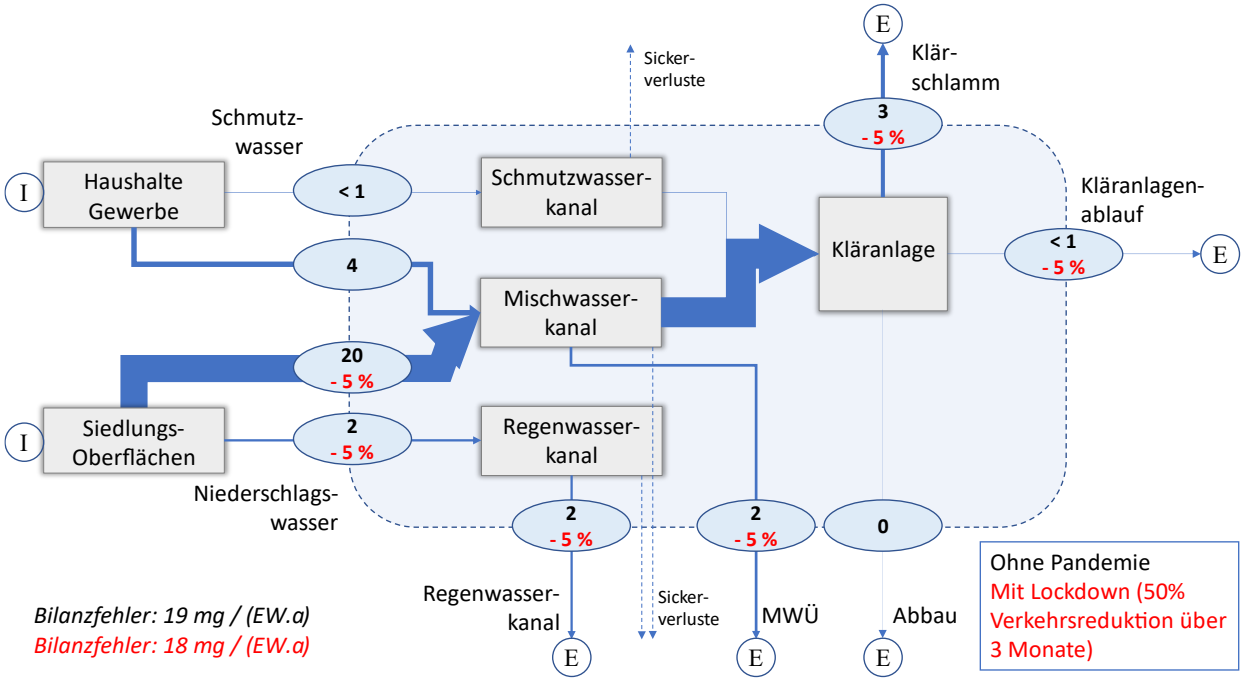

Abbildung 54 Mittlere Stoffbilanz für **Fluoranthen** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Misch**kanalisation (z.B. Tulln, AT)

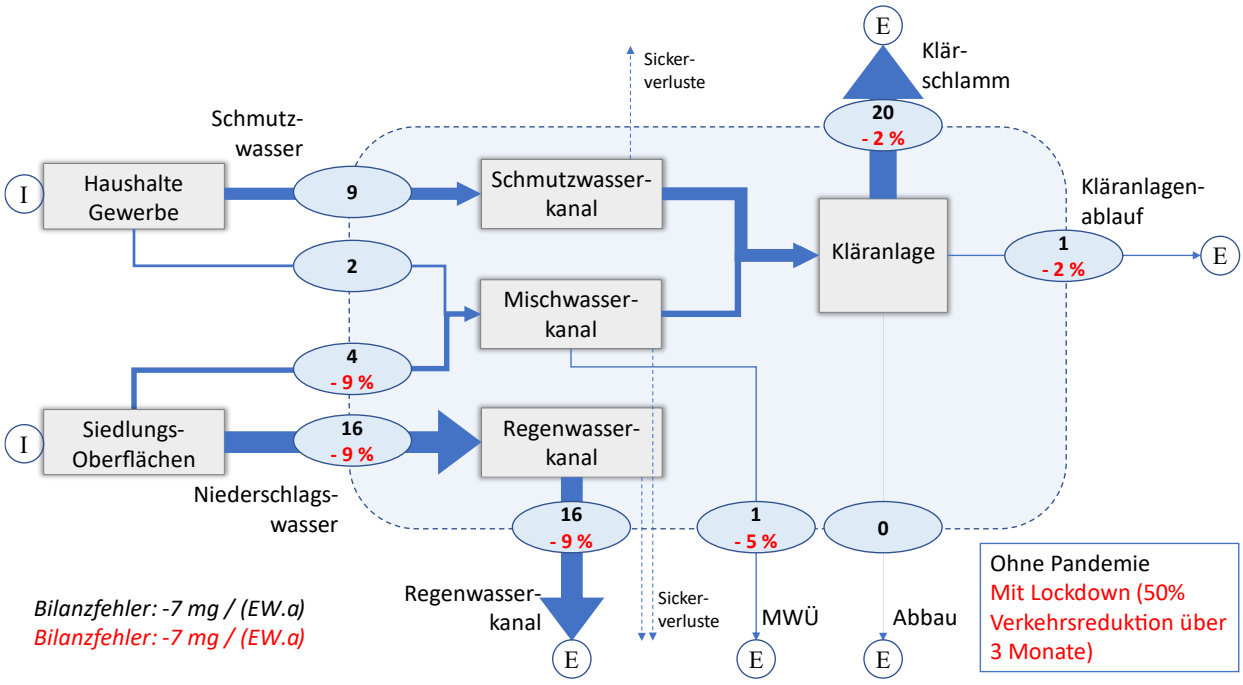

Abbildung 55 Mittlere Stoffbilanz für **Fluoranthen** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Trenn**kanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT)

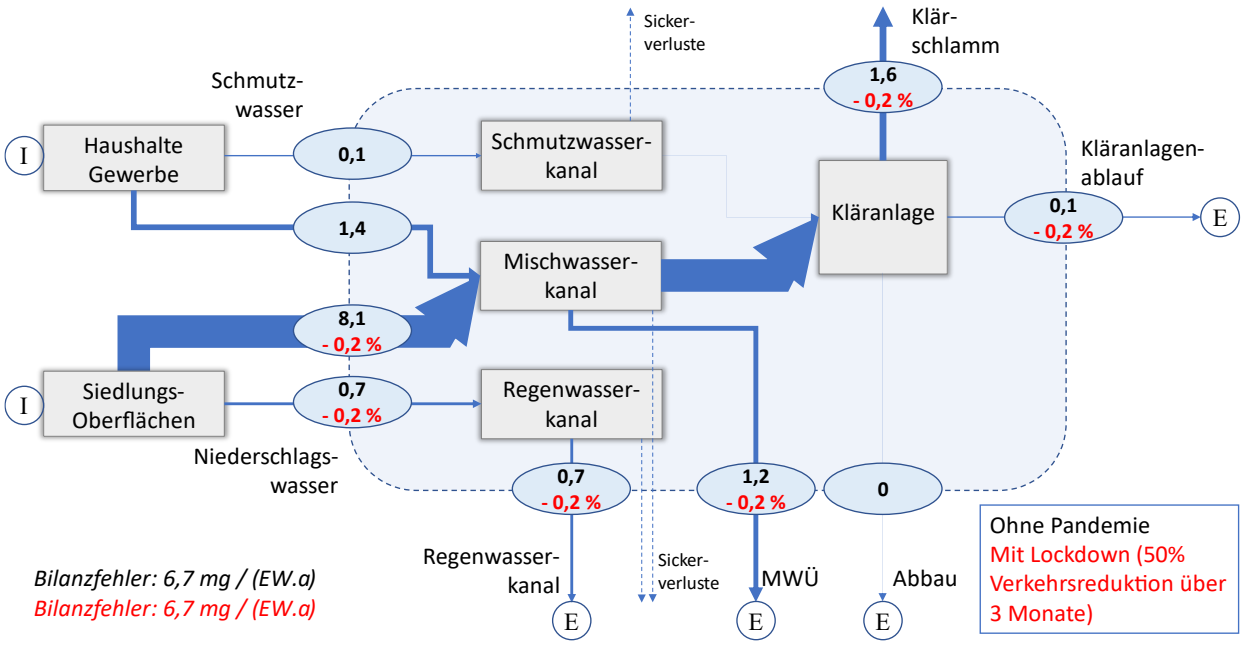

Abbildung 56 Mittlere Stoffbilanz für **Benzo(b)fluoranthen** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Misch**kanalisation (z.B. Tulln, AT)

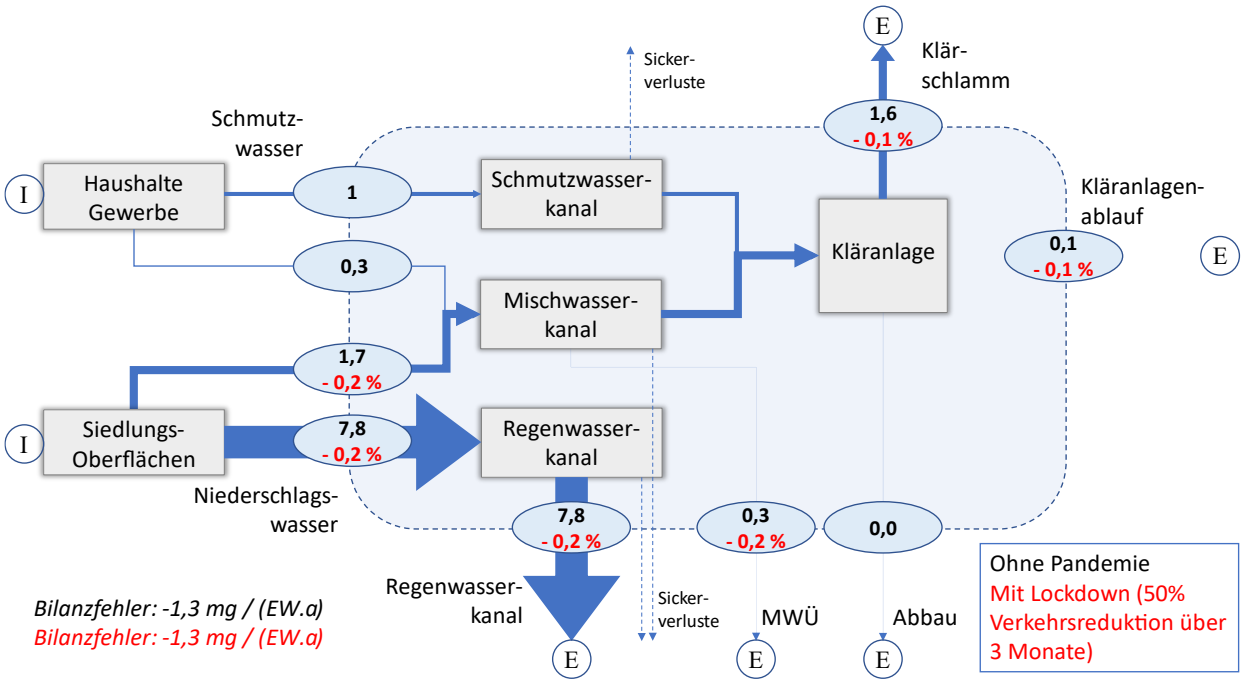

Abbildung 57 Mittlere Stoffbilanz für **Benzo(b)fluoranthen** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Trenn**kanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT)

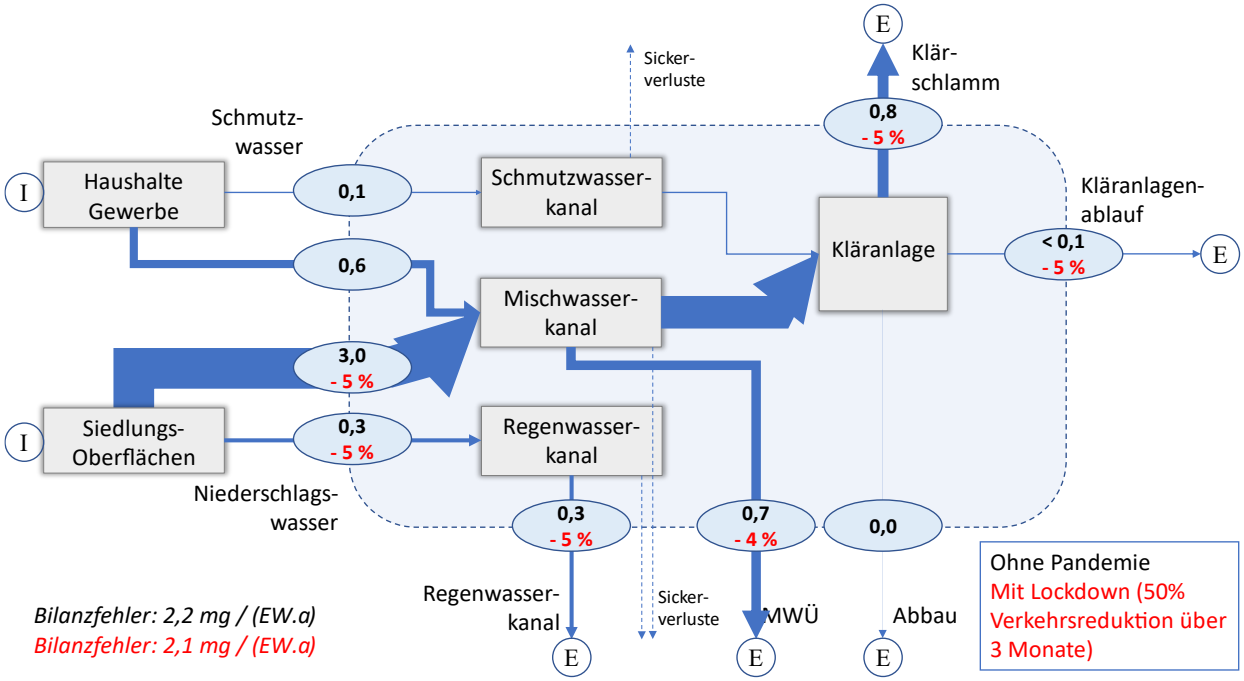

Abbildung 58 Mittlere Stoffbilanz für **Benzo(k)fluoranthen** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Misch**kanalisation (z.B. Tulln, AT)

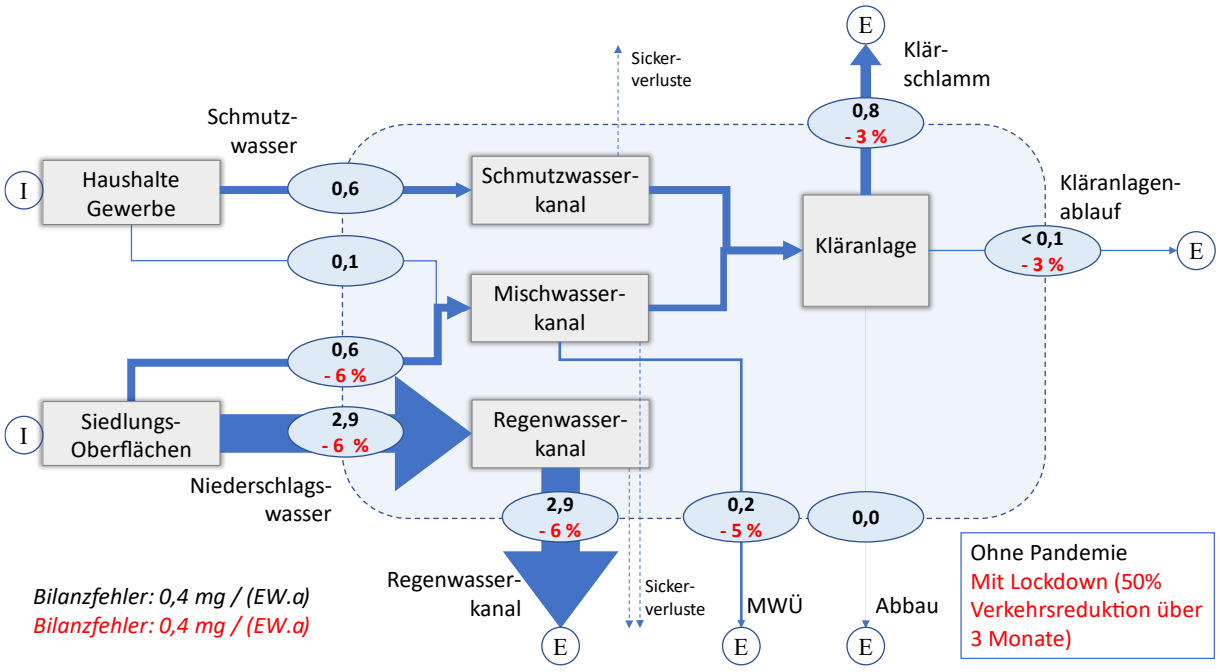

Abbildung 59 Mittlere Stoffbilanz für **Benzo(k)fluoranthen** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Trenn**kanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT)

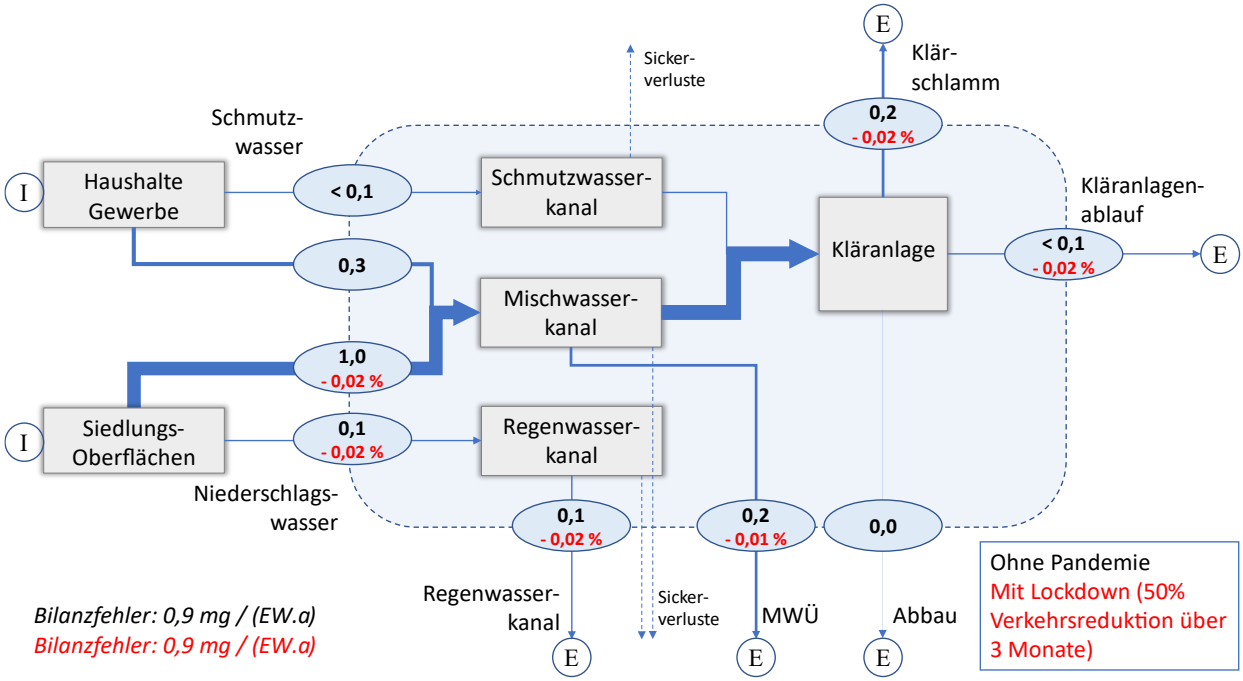

Abbildung 60 Mittlere Stoffbilanz für **Dibenzo(a,h)anthracen** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Misch**kanalisation (z.B. Tulln, AT)

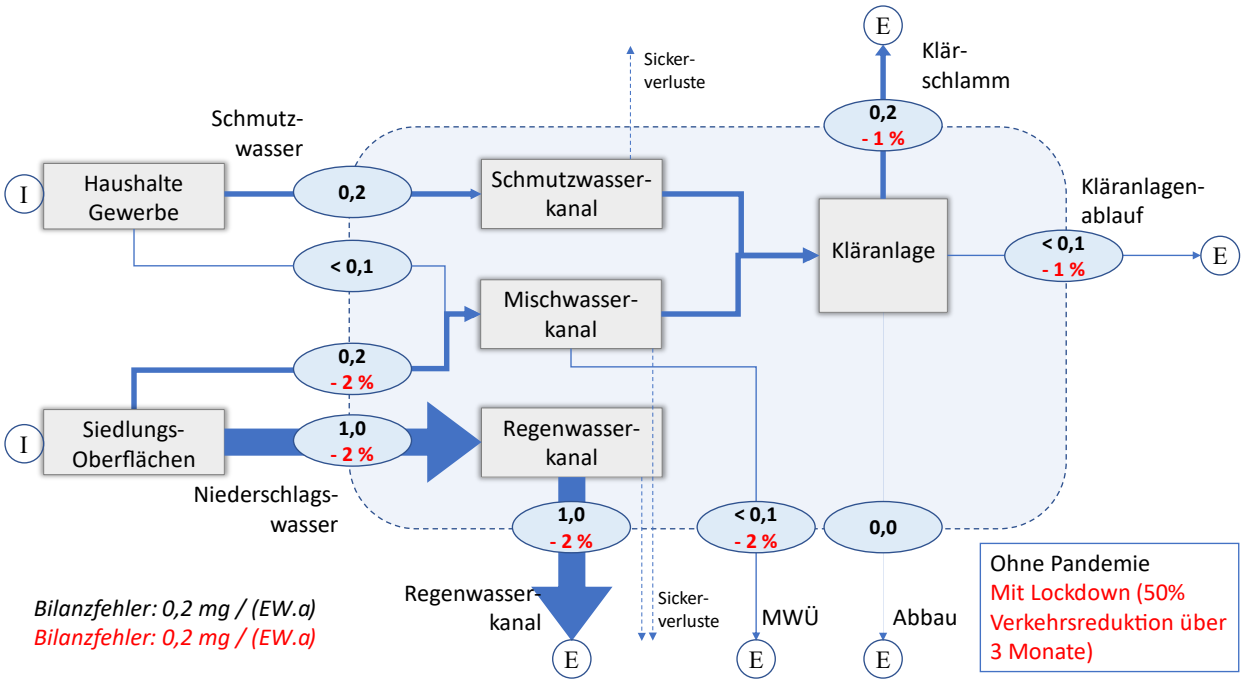

Abbildung 61 Mittlere Stoffbilanz für **Dibenzo(a,h)anthracen** in einem urbanen siedlungswasserwirtschaftlichen System mit überwiegend **Trenn**kanalisation (z.B. Klosterneuburg, AT)

13. Lebenslauf

B.SC. ELISABETH HAMPEL

PERSÖNLICHES

geb. 16.06.1994 in Gmund am Tegernsee
Staatsbürgerschaft: Deutschland

Frauengasse 21/32,
1170 Wien, Österreich

+43 677 62914416

e.hampel@posteo.de

EDV - KENNTNISSE

ArcGIS / QGIS	●●○○○
AutoCAD	●●●○○
cePipe	●●●○○
EPANET	●●●●○
HEC-RAS	●●●●○
MS Office	●●●●●
Rsim 2D	●●○○○
R-Studio	●●●○○
SWMM5	●●●●○
Zoom	●●●●●

B I L D U N G S W E G

Masterstudium (Dipl.-Ing.) 03/18 – 02/23
Kulturtechnik und Wasserwirtschaft
Universität für Bodenkultur Wien

Absolvierte Wahllehrveranstaltungsblöcke:
- Siedlungs-, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz
- Konstruktiver Wasserbau und Flussgebietsmanagement
- Hydrologie und wasserwirtschaftliche Planung
- Risikomanagement und Ressourcenschutz
- Geodatenmanagement

Masterarbeit:
Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz
Betreuer: Univ.Prof.Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Thomas Ertl
Thema: *Beitrag zu einer systemischen Analyse der Auswirk. einer Pandemie auf die Abwasserwirt. und den Gewässerschutz*

Masterstudium (M.Sc.) 10/17 - 02/18
Ecotoxicology
Universität Koblenz-Landau

Absolvierte Kurse u.A.:
- Tools of Complex Data Analysis

Auslandsjahr Bachelorstudium (B.Sc.) 09/15 - 07/16
Kulturtechnik und Wasserwirtschaft
Universität für Bodenkultur Wien

Absolvierte Kurse u.A.:
- Allgemeiner Wasserbau und Flussgebietsmanagement
- Technisches Planzeichnen mit CAD
- Wildbach- und Lawinenverbauung

Bachelorstudium (B.Sc.) 10/13 - 07/17
Umweltnaturwissenschaften
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Abschlussnote: 1,6

Nebenfach:
- Meteorologie und Klimatologie

Bachelorarbeit:
Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; ausgeführt an der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG)
Betreuer: Prof. Dr. Dirk Schindler
Korref.in: Privatdoz.in Dipl.-Geografin Dr.in Annett Bartsch
Thema: *Anwendung eine Schneeindexes aus multispektralen Satellitendaten für die Abschätzung der Gletschermassenbilanz am Beispiel von Gletschern in den Hohen Tauern*

SPRACHKENNTNISSE

- Deutsch ●●●●●●
- Englisch (C1) ●●●●●○
- Französisch (B1) ●●○○○○
- Italienisch (A2.1) ●○○○○○

INTERESSEN

- Bergsport (u.A. Skibergsteigen, Wandern)
- Musizieren in div. Orchestern und Ensembles (Oboe, Klavier)
- Almwirtschaft (Alpaufenthalt, Sommer 2022)

SONSTIGES

- Führerschein der Klasse B
- Erweiteter Erste-Hilfe-Kurs

Februar 2023

P R A K T I K A

Ingenieurbüro Dr.- Ing. Dieter Schreff 07/18 - 08/18
Miesbach, Deutschland
Verfahrenstechnik der Abwasser- und Schlammbehandlung
Tätigkeiten: u.A. Ausarbeitung von Betriebsanweisungen, Mitwirkung bei Studien/Planungen/technischen Berichten für Kläranlagen, Ausarbeitung techn.-konstruktiver Grundlagen

ACTED Mission 07/17 - 09/17
Khujand, Tadschikistan
NGO im Bereich Naturgefahrenmanagement
Tätigkeiten: u.A. Aufbereitung von Unterlagen und Verfassung von Berichten für ein integratives Projekt zur Risikoreduktion von Umweltkatastrophen durch optimierte Bewirtschaftung des Aksu-Einzugsgebiets

Universal Group for Engineering and Consulting 07/16 - 09/16
Nablus, Palästina
Technische Leistungen im Bereich Wasser und Umwelt
Tätigkeiten: u.A. Mitarbeit bei einem Projekt zur Sanierung des Wassernetzwerksystems von Nablus (Anfertigung von Plänen, Vermessung, Datenaufbereitung – und analyse)

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 04/16 - 07/16
Wien, Österreich
Staatlicher meteorologischer und geophysikalischer Dienst Österreichs
Tätigkeiten: u.A. Datenerhebung/- auswertung im Bereich Glaziologie

N E B E N T A E T I G K E I T E N

Studentische Mitarbeiterin 10/20 - 01/22
am Institut für Wasserbau, Hydraulik und Fließgewässerforschung
Universität für Bodenkultur Wien

Studentische Mitarbeiterin 02/20 - 09/21
am Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirt. und Gewässerschutz
Universität für Bodenkultur Wien

Mitarbeiterin 08/18 - 09/22
im Ingenieurbüro Dr.-Ing. Dieter Schreff

Selbstständige Bergwanderführerin Seit 05/16
u.A. Alpenüberquerung mit einer Schulklasse

A U S B I L D U N G

Ausbildung zur Tiroler Bergwanderführerin 10/14 - 05/15
Tiroler Bergsportführerverband