

Abwasser enthält Informationen für die öffentliche Gesundheit: Mögliche Anwendungen für eine Abwassersurveillance

Abwassersurveillance in Kürze

- ▶ Die Abwassersurveillance kann die Infektionsdynamik eines Krankheitserregers abbilden.
- ▶ Die Ergebnisse sind unabhängig von Teststrategien beim Menschen und Verhalten der Infizierten.
- ▶ Die Daten sind anonym und können nicht auf Einzelpersonen zurückgeführt werden.
- ▶ Sie ergänzt den bestehenden Fundus der Surveillance-systeme um ein weiteres Werkzeug. Sie hat das Potenzial, Lücken in der Überwachung von bestimmten Infektionskrankheiten und weiteren Public-Health-Problemen zu schließen und für den Öffentlichen Gesundheitsdienst zusätzliche Informationen bereitzustellen.
- ▶ Das theoretische Potenzial der Abwassersurveillance umfasst viele verschiedene Krankheitserreger und Einsatzstrategien. Die praktische Umsetzbarkeit wird oft kontrovers diskutiert und ist Gegenstand nationaler und internationaler Forschung.
- ▶ Die Abwassersurveillance ist vielen teilweise variierenden Einflussfaktoren unterworfen, deren Auswirkung auf die Messung noch nicht für jeden Krankheitserreger und jede Einsatzstrategie vollends verstanden ist.

Hintergrund

Einordnung in die Surveillancelandschaft

Abwassersurveillance ist die systematische Erfassung von gesundheitsrelevanten Indikatoren im Abwasser, die Bewertung der Daten und die Darstellung der daraus entstehenden Erkenntnisse, um Maßnahmen zum Gesundheitsschutz der Bevölkerung durchzuführen. Die infektionsepidemiologische Abwassersurveillance fokussiert sich aktuell auf den Nachweis von Krankheitserregern wie Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus Type 2

(SARS-CoV-2), Influenzaviren oder Polioviren, besitzt aber auch Potenzial für weitere Anwendungsfälle. Ziel dieses Artikels ist es, mögliche Anwendungsgebiete von infektionsepidemiologischer Abwassersurveillance aufzuzeigen und sie – wo möglich – in die Surveillancelandschaft einzuordnen.

Infektionsepidemiologische Abwassersurveillance detektiert Krankheitserreger oder ihre Bestandteile, keine Erkrankungen. Die Erregerdetektion wird in diesem Zusammenhang unter definierten Bedingungen, die im Folgenden genauer diskutiert werden, als Korrelat der Infektion oder Kolonisation definiert.

Epidemiologische Surveillance ist die fortlaufende systematische Sammlung, Analyse, Bewertung und Verbreitung von Gesundheitsdaten zum Zweck der Planung, Durchführung und Bewertung von Maßnahmen zur Krankheitsbekämpfung. In Deutschland bildet die Grundlage für die Überwachung von Infektionskrankheiten das Infektionsschutzgesetz (IfSG). Neben dem Meldewesen gemäß IfSG gibt es zahlreiche weitere Surveillance-systeme, die jeweils bestimmte Aspekte in der Krankheitsüberwachung und -bekämpfung abdecken.

Auch eine Infektion, die keine Symptome auslöst, kann für die Population eine Rolle spielen, indem sie auf weitere Personen übertragen wird. Je nach Erreger und Infektionskrankheit können asymptomatische Ausscheidende unterschiedlich großen Einfluss auf das Infektionsgeschehen haben.¹

Die Abwassersurveillance gesellt sich zu einem Werkzeugkasten etablierter Surveillance-systeme. Beispiele sind das infektionsepidemiologische Meldewesen gemäß IfSG und die syndromische Surveillance von akuten respiratorischen Erkrankungen.²⁻⁴ Infektionsepidemiologische Surveillance-systeme können die An- oder Abwesenheit von Infektionen zeigen, den Trendverlauf der Infektionszahlen darstellen oder einen Einblick in den Verlauf der Infektionsausbreitung bieten.

Das Vorhaben AMELAG (Abwassermonitoring für die epidemiologische Lagebewertung, Laufzeit 2022–2024) hat eine dauerhafte Überwachung der SARS-CoV-2-Viruslast und weiterer Erreger im Abwasser zum Ziel. Mit aktuell 165 Standorten arbeiten Umweltbundesamt (UBA) und Robert Koch-Institut (RKI) gemeinsam mit den 16 Bundesländern am Aufbau einer stetigen Überwachung von ausgewählten Erregern im Abwasser (s. „SARS-CoV-2-Abwassersurveillance in Deutschland im Rahmen des Projekts AMELAG“ in dieser Ausgabe).

Historische Einordnung und aktuelle Entwicklungen

Als ein erstes Anwendungsbeispiel für den routinemäßigen Nachweis eines Erregers im Abwasser gilt die Testung auf Polioviren, die begleitend zu den großen Polioausbrüchen in den USA in den 1940er- und 1950er-Jahren etabliert wurde.^{5–7} Abwasseranalysen waren zu dieser Zeit noch aufwendig und langwierig, da sie auf Tierversuchen und später auf kulturbasierte Verfahren angewiesen waren. Erst mit dem Aufkommen der PCR-Technologie (Polymerase-Kettenreaktion, engl. polymerase chain reaction) konnten auch Erreger nachgewiesen werden, die, wie z. B. Noroviren, nicht mittels Zellkultur angezüchtet werden können. Das PCR-Verfahren ist zudem einfacher und zeitsparender.

In der Vergangenheit wurden in Deutschland Bakterien, Viren und Parasiten im Abwasser zur Kontrolle der Abwasserreinigung bestimmt.⁸ Die epidemiologische Analyse der Krankheitserregerkonzentration innerhalb von Abwasserproben erfolgte vor allem im Rahmen von Forschungsprojekten.^{9,10} Im Hinblick auf das Globale Polioeradikationsprogramm der Weltgesundheitsorganisation (WHO) haben einige Länder, wie die Niederlande, eine regelmäßige Beprobung von Klärwerken als ergänzendes System zur syndromischen Überwachung der Polioviruszirkulation etabliert. Die Abwassersurveillance wurde dort auch zur Begleitung von Ausbruchsgeschehen für andere Erreger genutzt.¹¹ In Deutschland wird aktuell am Nationalen Referenzzentrum für Poliomyelitis und Enteroviren am RKI in Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet Mikrobiologische Risiken am UBA ein Forschungsprojekt zum direkten Nachweis von Polioviren aus Abwasserproben mittels molekularer Methoden durchgeführt.

Größere Beachtung bekam die Abwassersurveillance mit der Coronavirus Disease 2019-(COVID-19-)Pan-

demie, in der regelmäßige Abwasseruntersuchungen schon frühzeitig als Surveillancewerkzeug identifiziert wurden.^{12,13} Es zeigte sich, dass auch SARS-CoV-2 im Stuhl ausgeschieden wird und dessen Nukleinsäuren im Abwasser nachweisbar sind. Daraufhin wurden auch in Deutschland verschiedene Forschungsprojekte initiiert. In dem von der Europäischen Union (EU) geförderten, unter gemeinsamer Beteiligung von Bundesministerium für Gesundheit (BMG), Bundesministerium für Umwelt, Verbraucherschutz und nukleare Sicherheit (BMUV) und Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) koordinierten Pilotprojekt ESI-CorA (Emergency Support Instrument zur Einführung eines nationalen SARS-CoV-2 Abwassermonitorings) wurden verschiedene Fragestellungen im Hinblick auf den Mehrwert für den Öffentlichen Gesundheitsdienst (ÖGD) untersucht.¹⁴ Aktuell wird die Abwassersurveillance in Deutschland vor allem im Vorhaben AMELAG und in seinen Synergieprojekten durchgeführt (s. „SARS-CoV-2-Abwassersurveillance in Deutschland im Rahmen des Projekts AMELAG“ in dieser Ausgabe).¹⁵

Vorgehensweise

Erreger oder Erregerbestandteile können u. a. über Stuhl, Urin oder Speichel ins Abwasser gelangen. Über das Kanalnetz erreichen die Erreger/Erregerbestandteile die Kläranlagen, wo vor dem Klärprozess eine Abwasserprobe entnommen wird, welche wahlweise den festen Bestandteil („Primärschlamm“) oder den flüssigen Bestandteil („Überstand“) des Abwassers enthält. Im Labor werden die Erregerbestandteile mittels molekularbiologischer oder mikrobiologischer Methoden nachgewiesen. Eine mögliche Methode ist der Nachweis von Nukleinsäurefragmenten mittels PCR, bei der durch Multiplexanalysen theoretisch die Möglichkeit besteht, eine Vielzahl verschiedener Erreger mit nur wenigen Proben parallel, zeitnah und effizient zu untersuchen. Die Daten aus dem Labor und der Kläranlage werden gesammelt, ausgewertet, dargestellt und bewertet.

Einflussfaktoren für Nachweise im Abwasser

Um Daten aus Surveillance-Systemen adäquat bewerten zu können, ist die Kenntnis der Einflüsse und Bedingungen, unter denen die Surveillance-daten erhoben werden, essenziell. Der Erregernachweis im Abwasser ist insbesondere abhängig von

der Anzahl der Ausscheidenden, der Menge des ausgeschiedenen Erregermaterials pro Person, dem sonstigen Eintrag von Volumen ins Abwassersystem (z. B. durch Regen oder industrielle Einleiter) sowie den chemisch-physikalischen Bedingungen im Abwassersystem (z. B. pH-Wert, Temperatur, Durchflussrate, Durchflussmenge oder Verweildauer des Abwassers im Kanalsystem).

In einem Abwassersystem gibt es auch nicht-menschliche Quellen für gesundheitsrelevante Indikatoren. Zum Beispiel können Krankheitserreger aus der Umwelt und Tierwelt ins Kanalsystem eingeschwemmt werden. Außerdem sind weite Teile des Kanalsystems mit Biofilmen ausgekleidet, die auch humanpathogene Bakterien enthalten können. Das beeinflusst die Abwassersurveillance der betroffenen Krankheitserreger, da die Messung nicht beurteilen kann, aus welcher Quelle (Mensch, Tier, Biofilm oder andere Umweltquellen) ein Messsignal kommt. Weiterhin wird der Nachweis bakterieller Infektionserreger auch von ortständigen Mikroorganismen des Abwassersystems, wie anderen Bakterien oder Bakteriophagen beeinflusst.

Außerdem können Bakterien im Abwasser Hemmstoffen wie Antibiotika, Schwermetallen oder Bioziden ausgesetzt sein und widerstehen diesen Einflüssen unterschiedlich gut. Die Widerstandsfähigkeit von Viren in der Umwelt unterscheidet sich ebenfalls. So sind unbehüllte Viren stabiler als behüllte Viren. Aus diesem Grund lassen sich z. B. Polioviren im Abwasser in aktiver Form finden, während SARS-CoV-2 inaktiviert im Abwasser vorhanden ist.

Die oben beschriebenen Einflüsse auf den Infektionserregernachweis im Abwasser führen zu Herausforderungen bei der Datenbeurteilung, insbesondere für die Vergleichbarkeit zwischen Kläranlagen.

Frühwarnereffekt und Zeitverzug

Die Zeit bis zum Nachweis eines Erregers im Abwasser ist abhängig von der Zeit von der Infektion bis zur Ausscheidung und von der Ausscheidung bis zur Akkumulation in detektierbaren Mengen im Abwasser am Abnahmeort. Hinzu kommt die Zeit für Probenahme, Probentransport, Laboranalyse und Datenverarbeitung.

Für den Nutzen eines Surveillancesystems als Frühwarnsystem ist die Aktualität der gelieferten Daten zentral. Die Abwassersurveillance steht vor der Herausforderung, dass nur Probennahme, Probentransport, Verarbeitung im Labor und Datenverarbeitung Faktoren sind, die bezüglich der Verarbeitungsgeschwindigkeit optimierbar sind. Es ist also umso wichtiger, diese Prozesse kurz zu halten und zu standardisieren.

Je nach Erreger und Strategie müssen Public-Health-Maßnahmen früh eingeleitet werden, um Ausbrüche möglichst klein zu halten oder einzudämmen. Für SARS-CoV-2 geben manche Autorinnen und Autoren an, dass die Abwassersurveillance in ihrem Setting einen zeitlichen Vorteil im Sinne eines Frühwarnsystems gegenüber der fallbasierten Surveillance hat,^{16–18} andere sehen diesen zeitlichen Vorteil nicht.^{19,20} Der Zeitverzug der Abwassersurveillance verglichen mit der fallbasierten Surveillance ist abhängig von der lokalen Gestaltung der Surveillancesysteme, insbesondere der Häufigkeit von Testungen und der Geschwindigkeit der Probenverarbeitung.

Olesen *et al.* (2021) merken in ihrem Übersichtsartikel an, dass der Nutzen von Abwassersurveillance potenziell verkannt wird, wenn sich nur auf den Frühwarnereffekt mit maximaler Korrelation zu einem späteren Inzidenzwert konzentriert wird. Sie postulieren, dass Abwassersurveillance nützlicher für die öffentliche Gesundheit sein könnte, wenn sie als unabhängiger Indikator für eine steigende oder sinkende Verbreitung eines Erregers betrachtet wird, statt sie ausschließlich als Prädiktor für eine präzise zukünftige Inzidenz zu betrachten. Sie basieren diese Überlegungen auf einem Beispiel von Reeves *et al.* Diese veröffentlichten 2021 eine Studie über die Abwassersurveillance des Campus der University of Colorado Boulder, in der sie zeigten, dass die von ihnen beobachtete Frühwarnfunktion der Abwassersurveillance nur in frühen Phasen von Infektionswellen nützlich ist. Hatte sich SARS-CoV-2 auf dem Campus erst einmal verbreitet, half Abwassersurveillance dabei, die Behörden der öffentlichen Gesundheit über den Verlauf und die Effizienz von Gegenmaßnahmen zu informieren.^{17,21}

Potenzielle Anwendungsfälle der Abwassersurveillance

Ergänzung zu vorhandenen Surveillancessystemen

In Deutschland existierende Surveillancessysteme basieren zumeist auf dem Nachweis einzelner Infektionen oder der Erfassung von Erkrankungen, z. B. im Rahmen der syndromischen Surveillance. Sie sind damit abhängig von der Anzahl der durchgeführten Tests und vom Zugang bzw. Inanspruchnahme der medizinischen Versorgung. Eine Abwasserüberwachung kann vorhandene Surveillancessysteme mit einer Trenderfassung ergänzen und Aussagen zur Infektionsdynamik eines Erregers treffen.

Als potenzielle Ziele bieten sich vor allem bereits beschriebene, im Abwasser nachweisbare Erreger an, die eines oder mehrere der folgenden Kriterien erfüllen:

- 1) Erreger, die einer starken Unterfassung unterliegen. Zum Beispiel Erreger, die viele asymptomatische Verläufe auslösen, auch asymptomatisch übertragbar sind oder deren Krankheitsbilder nicht eindeutig sind. Ebenso untypische Krankheiten mit einem hohen Stigma, deren Betroffene seltener medizinische Hilfe in Anspruch nehmen.
- 2) Erreger, deren etablierte Surveillance stark vom Testverhalten abhängig ist, für die sich das Testverhalten häufig ändert oder bei denen vornehmlich bestimmte Personengruppen getestet werden oder je nach Alter unterschiedlich getestet wird, da vornehmlich Kinder oder ältere Personen mit starker Symptomatik eine Testung erhalten.
- 3) Erreger, die in anderen Surveillancessystemen nur eingeschränkt oder gar nicht erfasst werden, z. B. durch eine gesetzliche Fokussierung auf invasive Infektionen.
- 4) Erreger, bei denen Maßnahmen möglichst frühzeitig eingesetzt werden sollten oder für welche die Abwassersurveillance regional ansteigende Infektionsherde früher anzeigt als andere Surveillancessysteme (z. B. Polioviren).
- 5) Erreger, die eine Überwachung von allgemeinen Public-Health-Maßnahmen wie z. B. Impfeffizienzen erfordern und bei denen die Bestätigung der Wirksamkeit der Maßnahmen wichtig ist.

Das Abwassersystem ist über die Jahre hinweg relativ gleichbleibend und die Abwasserproduktion der Bevölkerung ist vorhersehbar und in ihrem Zyklus konstant. Es gibt kurzfristige Einflüsse wie Wetterereignisse, Spülmaßnahmen oder Massenveranstaltungen und langfristige Einflüsse wie Änderungen der Einleiter oder Umbaumaßnahmen. Prinzipiell unterliegt die Überwachung des Abwassers anderen Einflussfaktoren als andere Überwachungssysteme. So kann bei starken Schwankungen eines anderen Überwachungssystems das Abwasser Hinweise darauf liefern, ob ein Bias vorliegt.

Auch aus technischer Sicht ergibt eine diverse Landschaft aus Surveillancessystemen Sinn. Beispielsweise lassen sich Änderungen von Teststrategien in einem System nicht gut evaluieren, weil eine Änderung der Teststrategie gleichzeitig das Surveillance-system beeinflusst. Aus dem Vergleich mit einem anderen Surveillance-system ließen sich Informationen über Einflussfaktoren der verschiedenen Systeme allerdings ermitteln und die Systeme evaluieren. Ein Beispiel dafür ist die Studie von Loenenbach *et al.*, in der verschiedene Surveillance-systeme zur Beobachtung von COVID-19 herangezogen wurden.²²

Überwachung der An- oder Abwesenheit von Erregern

Die Abwassersurveillance kann genutzt werden, um die An- oder Abwesenheit eines Erregers in einem größeren Gebiet mit vielen Bewohnenden qualitativ nachzuweisen. Bei bestimmten Erregern sind schon geringe Erregerlasten, beziehungsweise überhaupt das Vorhandensein des Erregers im Gebiet, für Public-Health-Maßnahmen relevant. In einer Krisensituation – z. B. dem Aufkommen eines neuen übertragbaren Infektionserregers – kann die Abwassersurveillance eine frühzeitige Detektion ermöglichen, sofern der Erreger grundsätzlich bekannt und im Abwasser detektierbar ist. Als Reaktion auf die Detektion können benachbarte Regionen enger überwacht und ggf. erste Public-Health-Maßnahmen ergriffen werden. Dazu können z. B. Informationskampagnen, Impfaufrufe und die Sensibilisierung von Krankenhäusern und niedergelassenen Ärztinnen und Ärzten, aber auch Empfehlungen für den Einsatz von Schutzmaßnahmen wie Masken seitens der Bevölkerung, das Durchführen von

umfassenden Testungen oder eine intensiviertere Untersuchung mittels anderer Surveillance-systeme gehören. Eventuell muss auch in der Umwelt nach Infektionsquellen gesucht werden, sollte eine Übertragung durch Tiere in Frage kommen.

In verschiedenen Ländern wird die Abwassersurveillance für die Überwachung der Polioviruszirkulation eingesetzt.²³ Anwendbar wäre eine qualitative Messung im Abwasser prinzipiell auch für andere Erreger, für die es Eliminations- oder Eradikationsbestrebungen gibt. Für diese Erreger muss in der letzten Phase der Eradikation eine Zirkulation in der Bevölkerung ausgeschlossen werden, bevor das Impfen der Bevölkerung beendet werden kann. Eine klinische Surveillance könnte für diesen Anwendungsfall nicht ausreichend sein, da bei einer geimpften Bevölkerung eine Erregerzirkulation stattfinden kann, ohne dass es klinische Manifestationen gibt oder klinische Manifestationen gegebenenfalls nicht zu einer Diagnose führen.

Diskutiert wird in diesem Zusammenhang eine Abwassersurveillance des Masernvirus. Der Nachweis von Masernviren im Abwasser ist prinzipiell möglich, es beschränken sich bisherige Erfahrungen jedoch auf wenige Konzeptstudien.¹¹ Mit der hohen Manifestationsrate, den fehlenden asymptomatischen Überträgern und dem möglichen Eintrag von Impfviren ins Abwasser gibt es Argumente, die den Nutzen der Abwassersurveillance für dieses Ziel in Zweifel ziehen. Die USA und die Niederlande nutzen das System jedoch, um z. B. Infektionsherde in Gemeinschaften zu detektieren, die vom Gesundheitssystem nicht erfasst werden oder sich ihm aktiv entziehen. Welchen Nutzen Deutschland daraus ziehen kann, ist nicht abschließend geklärt.

Interessant ist die Abwassersurveillance auch für als bedrohlich eingestufte übertragbare Krankheiten, wie z. B. hämorrhagische Fieber. Bei Ausbrüchen im Ausland besteht das Risiko eines Eintrages nach Deutschland. Aufgrund der schwerwiegenden Gefahr durch solche Erreger kann es sinnvoll sein, neben den fallbezogenen Surveillance-systemen eine Abwassersurveillance durchzuführen, um ggf. regional die fallbezogene Surveillance zu intensivieren.

„Neu auftretende Krankheit“ ist hier ein Begriff für die Krankheiten, die im Englischen als *emerging diseases* bezeichnet werden. Dabei handelt es sich meist um durch Infektionserreger verursachte Krankheiten, deren Erreger in der betrachteten Region oder Bevölkerung bisher nicht vertreten waren, aber sich verbreiten könnten. In der Regel geht es dabei um Infektionsgeschehen, die bereits über einen einzelnen, z. B. reiseassoziierten Ausbruch hinaus verbreitet sind, aber noch nicht als endemische Verbreitung betrachtet werden. Oft ist das Potenzial für eine zukünftige endemische Etablierung allerdings gegeben.

Zum Beispiel wird erwartet, dass im Zuge von Klimaveränderungen das West-Nil-Virus zukünftig in weiteren Regionen Deutschlands endemisch wird. Hier könnte die Erkenntnis, dass ein Erreger in einer Region verbreitet ist, Public-Health-Maßnahmen wie Vektorbekämpfung initiieren.²⁴ An Nachweisen für West-Nil-Virus im Abwasser wird bereits geforscht. Ebenfalls könnten Infektionen mit *Vibrio* spp. zunehmen, für das ein Abwassernachweis bereits dokumentiert ist.^{25,26} Die Erkennung der An- oder Abwesenheit von Erregern muss jedoch für jeden Erreger neu etabliert und untersucht werden.

Durch ihre systembedingten Einschränkungen kann die Abwassersurveillance etablierte Surveillance-systeme nur ergänzen, jedoch nicht ersetzen. Zum Beispiel weil sie Daten nur auf der Ebene einer durch das Einzugsgebiet der Kläranlage definierten Bevölkerungsgruppe liefert, über einzelne Individuen keine Aussage treffen kann und damit keine individuellen Infektionsschutzmaßnahmen durchgeführt werden können.

Wenn ein neuer Erreger identifiziert wird, stellt sich oft die Frage, wie lange dieser schon in der Bevölkerung zirkuliert. Wenn aufbereitete Abwasserproben systematisch archiviert werden, können diese eingesetzt werden, um zu überprüfen, ob und wie lange ein Erreger bereits verbreitet war. Für molekularbiologische Analysen sind Nukleinsäureextrakte langfristig lagerbar. Einige Erreger sind stabil genug, dass sie eingefroren gelagert werden können.

In den Niederlanden wurden längerfristig aufbewahrte Abwasserproben bereits 2013 eingesetzt, um das Vorkommen von Aichivirus, ein Erreger der Gastroenteritiden verursachen kann, über die letzten 25 Jahre zu untersuchen.²⁷

Surveillance von bislang nicht überwachten Krankheiten

Die Abwassersurveillance kann für Krankheitserreger eine Überwachung bieten, für die es bisher keine andere regelmäßige Surveillance gibt, weil z. B. die Kosten für eine fallbasierte Surveillance zu hoch wären oder weil eine Erfassung durch das medizinische System zu aufwendig ist. Hierunter fallen z. B. Rhinoviren oder viele Pilzinfektionen. Es besteht die Möglichkeit, dass die Abwassersurveillance in diesen Fällen aufwendungsarm Infektionsdynamiken erfassen kann.

Eine Liste von Erregern und eine Beschreibung der bereits erfüllten Voraussetzungen für die Abwassersurveillance findet sich auf der Homepage des EU *Wastewater Observatory for Public Health*.²⁸ Darin wird aufgelistet, in welchen Körperflüssigkeiten der Erreger vom Menschen ausgeschieden wird, ob ein Nachweis im Abwasser in der Literatur dokumentiert ist und ob die Abwassersurveillance bereits für Public-Health-Anwendungsfälle genutzt wurde.

Überwachung von Erregereinträgen aus dem Ausland

Die Beprobung der Abwässer von Flugzeugen, Schiffen, Flughäfen und anderen Eintrittspforten liefert Erkenntnisse über die im internationalen Verkehr und Transport zirkulierenden Erreger. Diese Kenntnisse können bei der Komplettierung des Lagebildes helfen und dem Gesundheitssystem ermöglichen, potenzielle neue Gefahren frühzeitig zu erkennen.²⁹

Identifikation der genetischen Diversität

Eine Sequenzierung von Erregergenomen beziehungsweise -genomfragmenten ist aus Abwasserproben möglich.^{30,31} Mit den erhaltenen Daten kann u. a. auf die genetische Diversität geschlossen werden. So konnten Anteile verschiedener SARS-CoV-2-Varianten und deren Sublinien über Abwassersequenzierungen identifiziert werden.^{32–34} Aus den gemischten Mutationssignalen der fragmentierten

SARS-CoV-2-RNA kann mit Hilfe bioinformatischer Methoden auf die wahrscheinliche Verteilung von Virusvarianten geschlossen werden.³⁵

Identifikation lokaler Infektionsgeschehen

Für bestimmte lokale Maßnahmen, wie z. B. die Aufstellung eines Impfbusses oder die Beratung zu übertragbaren Krankheiten, sind Informationen mit hoher regionaler Auflösung nötig. Insbesondere für Infektionskrankheiten, die vornehmlich bestimmte Bevölkerungsgruppen betreffen, könnte die Abwassersurveillance hinweisend oder richtungsgebend die Bemühungen des ÖGD unterstützen. Nicht immer liegen diese Informationen über die üblichen Meldesysteme vor. Mittels Abwassersurveillance könnten lokale Infektionsgeschehen identifiziert werden, wodurch Maßnahmen auf die spezifische Situation angepasst werden können.³⁶ Erste Nachweise von Infektionserregern, die bestimmte Bevölkerungsgruppen besonders betreffen, wie z. B. Humanes Immundefizienz-Virus (HIV), sind im Abwasser bereits erfolgt.^{37,38} Auch die Prüfung der Wirksamkeit von ergriffenen Maßnahmen ist mit Abwassersurveillance möglich, indem die Infektionsdynamik vor und nach Einführung der Maßnahmen verglichen wird.²¹

Management von lokalen Ausbrüchen und Rückverfolgung im Kanalsystem

Sollten Einrichtungen wie z. B. Krankenhäuser, Pflegeheime, Massenunterkünfte, Gefängnisse oder Schlachthöfe und Tiermastbetriebe speziell an die Abwassersurveillance angebunden und regelmäßig überwacht werden, könnten hier Ausbrüche und Krankheitsrisiken für die Bevölkerung zeitnah erkannt werden und die Einrichtung könnte eindämmende Maßnahmen ergreifen.^{39–41} Selbst wenn keine kontinuierliche Abwassersurveillance durchgeführt wird, könnte sie im Ausbruchfall als zusätzliches Werkzeug herangezogen werden. So könnte z. B. die Testung einzelner Bewohnender auf die klinische Notwendigkeit beschränkt werden, während die Ausbruchsüberwachung mittels Abwassersurveillance erfolgt. Diese könnte auch einen Rückgang der Infektionsaktivität aufzeigen und das Aufheben von Maßnahmen initiieren, wenn ausreichend lang keine Erregerausscheidung im Abwasser detektiert wurde.

Diese Überlegungen gelten auch für das Management von Ausbrüchen, die nur bestimmte Regionen betreffen. Teilweise wurden z. B. während der COVID-19-Pandemie Maßnahmen diskutiert, die sich an lokalen Gesundheitsindikatoren ausrichteten. So könnten unnötige Einschränkungen für die Bevölkerung dort vermieden werden, wo die Abwassersurveillance keine bedenkliche Infektionsdynamik widerspiegelt.

Durch strategische Beprobungen nicht nur an Kläranlagen, sondern auch an Knotenpunkten im Kanalsystem können unter Umständen verschiedene Einleiter unterschieden und eine Eintragsquelle im Kanalsystem identifiziert werden. Eine Rückverfolgung bis auf einzelne Haushalte ist in der Literatur beschrieben.⁴² Diese strategischen Beprobungen sind unabhängig von ihrer Nützlichkeit ethisch und datenschutzrechtlich stark bedenklich. Ihr Einsatz kann zur Stigmatisierung betroffener Einzelpersonen oder Personengruppen führen, was ernsthafte gesellschaftliche oder politische Konsequenzen nach sich ziehen und sich damit als nachteilig für die Betroffenen erweisen könnte. Außerdem muss abgewogen werden, ab wann die Bestimmung von Abwasserproben ohne Zustimmung der Beprobten einen Eingriff in die Persönlichkeitsechte darstellt.

Eine abwasserbasierte Rückverfolgung von Erregernachweisen im Kanalleitungssystem zwischen Einleitenden und den Kläranlagen existiert in Deutschland nicht und wird nicht angestrebt.

Unterstützung in internationalen Krisensituationen

Abwassersurveillance könnte auch als Hilfestellung in internationalen Krisensituationen gedacht werden. Im Fall akuter Bedrohungen für die öffentliche Gesundheit durch Großereignisse wie Naturkatastrophen, Krankheitsausbrüche oder humanitäre Krisen könnte Abwassersurveillance durch Hilfskräfte niedrigschwellig an relevanten Knotenpunkten installiert werden und die Verbreitung von relevanten Krankheitserregern in der Bevölkerung während der Krisensituation überwacht werden.

Der Nachweis von impfstoffabgeleiteten Polioviren in Abwasserproben aus dem Gazastreifen im Juli 2024 ist ein aktuelles Beispiel. Die WHO und die

lokalen Gesundheitsbehörden veranlassten daraufhin die Beschaffung von Impfstoffdosen und die Planung von Massenimpfkampagnen in den betroffenen Gebieten.^{43,44}

Die Tatsache, dass Abwassersurveillance weniger aufwendig in der Probenahme als klinische Surveillance ist, da statt vieler Personen nur wenige Kläranlagen beprobt werden müssten, böte hier weitere Vorteile. Durch die so gewonnenen Informationen könnten Medikamente, Impfstoffe und andere Interventionsmaßnahmen gezielter eingesetzt und medizinische Ressourcen, die in solchen Szenarien oft knapp sind, effizienter genutzt werden. Eine Arbeitsgruppe an der Technischen Universität Darmstadt hat bereits jetzt ein mobiles Abwasserlabor eingerichtet, das als Blaupause dienen könnte.⁴⁵

Damit eine Abwassersurveillance in diesem Szenario von Nutzen ist, müssen einige Bedingungen erfüllt sein. Allem voran wird ein umfassendes Verständnis für die Krisensituation, die damit zusammenhängenden Gesundheitsrisiken und die generelle Nachweisbarkeit im Abwasser benötigt. Notwendig ist außerdem ein funktionierendes Abwassersystem. Gerade im Fall von Naturkatastrophen wie beispielsweise Erdbeben könnte es nötig sein, dass provisorische Abwasserlösungen die eigentlichen Systeme ersetzen. Diese sind grundsätzlich ebenso geeignet, müssen aber nach epidemiologischen Kriterien auf ihre Aussagekraft überprüft werden. Bislang existiert in Deutschland keine Einsatzfähigkeit im Hinblick auf Abwassersurveillance zur Unterstützung in internationalen Krisensituationen.

Abwassersurveillance von Antimikrobiellen Resistenzen (AMR)

Bei der Abwassersurveillance von AMR spielen neben der Erregerverteilung zusätzlich erregerspezifische Eigenschaften eine entscheidende Rolle. Zum einen finden sich klinisch relevante Resistenzen auch in der Tier- und Umwelt. Zum anderen können diese Resistenzen zwischen Bakterien derselben oder unterschiedlicher Art ausgetauscht werden. Weiterhin liegen Hinweise vor, dass klinisch relevante Bakterien dauerhaft im Abwasser vorkommen. Entsprechend ist die genaue Bestimmung ei-

ner Quelle eines resistenten Erregers oder eines Resistenzgens aus dem Abwasser nur schwer möglich.

Es besteht noch erheblicher Forschungsbedarf, einschließlich methodischer Fragen, um die Abwassersurveillance von AMR sinnvoll nutzen zu können. Ungeachtet der noch bestehenden Wissenslücken verspricht die Abwassersurveillance von AMR großes Potenzial, um zusammen mit bestehenden Surveillance-Systemen einen ganzheitlichen Blick auf die Resistenzdynamik in der Bevölkerung zu erhalten, was angesichts der Relevanz für die öffentliche Gesundheit dringend notwendig ist.

Wissenschaftlicher Erkenntnisgewinn

Abseits von Krankheitserregern ist es möglich, andere Substanzen im Abwasser nachzuweisen. Die Technologie eignet sich grundsätzlich für alle Analyten, die von der Bevölkerung ins Abwasser abgegeben werden. Dafür gelten dieselben Kernvoraussetzungen wie auch für die Abwassersurveillance von Krankheitserregern.

Durch die quantitative Messung von mehreren im Abwasser detektierbaren Analyten könnten Korrelationen, unter anderem zu Einflussfaktoren oder Maßnahmen, festgestellt werden, die zu einem wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn führen. Denkbar wäre z. B. der Nachweis von mit dem Urin ausgeschiedenen kardiovaskulären Markern wie Troponin I oder mit definierten Krankheiten assoziierte Medikamente wie Metoprolol, einem Betablocker, oder Venlafaxin, einem Antidepressivum.^{46,47} Methodisch eng verwandt ist die Drogensurveillance, die an einigen Orten im Rahmen von Forschungsprojekten bereits stattfindet.⁴⁸

Auch Risiko- und Protektionsfaktoren, wie Indikatoren für Umweltschädigungen (Schadstoffkonzentrationen, Pestizide), oder Indikatoren zur körperlichen Gesundheit, wie Krebsmarker, Inflammationsmarker und Nährstoffgehalte, könnten im Abwasser messbar sein.^{47,49–54} Rousis *et al.* haben beispielsweise Abwasseranalysen genutzt, um Zusammenhänge der Konzentration von einigen Medikamenten mit dem sozioökonomischen Status zu prüfen.⁴⁶ Auf diese Art könnte Abwassersurveillance einen Beitrag zur Erfassung der öffentlichen Gesundheit insgesamt oder in definierten Risikoregionen leisten.

Limitationen der Abwassersurveillance

Mit Abwassersurveillance können Krankheitserreger bzw. deren Nukleinsäuren überwacht werden. Das heißt, es können im Rahmen der Limitationen prinzipiell Aussagen über die An- oder Abwesenheit eines Erregers getroffen werden und eine Trend-erfassung erfolgen. Eine Messung der Inzidenz eines Krankheitserregers in der Bevölkerung ist nicht direkt möglich.

Abwassersurveillance hat klare Limitationen:

- ▶ Abwassersurveillance detektiert nur Infektionsgeschehen innerhalb der Population, deren Abwasser beprobt wird. Lokale Geschehen außerhalb dieser Population werden naturgemäß nicht erfasst.
- ▶ Aus der Abwassersurveillance kann nicht auf die Krankheitsschwere bei Infizierten oder die Belastung des Gesundheitswesens geschlossen werden.
- ▶ Konkrete personenbezogene Maßnahmen der Gesundheitsämter zur Unterbrechung von Transmissionsketten oder Ermittlung von Ausbruchquellen und Ursachen sind nicht möglich, weil keine einzelnen infizierten Personen ermittelt werden. Genauso wenig können Aussagen zu den Eigenschaften der Infizierten oder auch der nicht Infizierten getroffen werden. Merkmale wie Geschlecht, Alter, eventuelle Risikofaktoren, Impfstatus und andere sind nicht bestimmbar. Dadurch kann z. B. keine Impfeffektivität berechnet werden.
- ▶ Wenn Indikatoren auch aus anderer Quelle als von infizierten Personen ins Abwasser gelangen, kann die Abwassersurveillance diese nicht unterscheiden. Dies betrifft insbesondere Infektionserreger, die von Tieren ausgeschieden werden, bzw. Mikroorganismen, die wie z. B. *Pseudomonas* spp. oder *Acinetobacter* spp. häufig in der Umwelt vorkommen.
- ▶ Die Beziehung zwischen Erregerlast und Zahl der Infizierten ist durch variable Ausscheidungsmengen, Veränderungen in der zum Abwasser beitragenden Bevölkerungsgruppe (Massenveranstaltungen, Pendler, Touristik, etc.) und wechselnde Bedingungen in der Umwelt und im Kanalsystem nicht vollständig stabil.

- ▶ Da die Erregerlasten auch von ortsspezifischen Faktoren abhängen, können Messwerte zwischen verschiedenen Orten nicht ohne weiteres verglichen werden. Die Messwerte können durch Messung von Begleitparametern normalisiert werden, was aber mit Unschärfen behaftet ist.
- ▶ Je nach Beschaffenheit des lokalen Abwassersystems und nach Qualität und Güte der verwendeten Nachweismethoden kann ein Nachweis im Abwasser erst ab einer bestimmten Anzahl von Infizierten bzw. ab einer bestimmten Menge vorhandenen Erregermaterials erfolgen. Das bedeutet auch, dass keine Erreger überwacht werden können, die kaum oder gar nicht ins Abwasser gelangen.
- ▶ Die Trenderfassung im Abwasser braucht eine ausreichend lange Vorlaufzeit vor einer Interpretation. In dieser Vorlaufzeit müssen bereits regelmäßig mittels quantitativer Analysen Erregerlasten aus dem Abwasser erhoben worden sein, um ein umfassendes Verständnis davon zu bekommen, was durchschnittliche Messwerte für die Erregerlast sind, welchen Schwankungen sie unterliegen und welchen wiederkehrenden Rhythmen sie folgen. Deshalb kann die Technik an neuen Orten nur eingesetzt werden, wenn Vorwissen besteht, z. B. wenn mit hinreichender Sicherheit belegt werden kann, dass ein Erreger vorher nicht oder nur vernachlässigbar präsent war.
- ▶ Die genomische Auflösung bei der Erregerdetektion ist verglichen mit anderen Surveillancemethoden limitiert und abhängig von Bekanntheit und Unterscheidbarkeit von Erregervarianten auf genomischer Ebene. Aufgrund der heterogenen Zusammensetzung von Abwasser kann es herausfordernd sein, die nötige Probenqualität für tiefere genomische Analysen zu erreichen oder bei Mischungen von Erregergruppen einzelne Unterpopulationen zu erfassen. Spezifische Erregerereigenschaften wie das segmentierte Genom des Influenzavirus können hier zusätzliche Herausforderungen bieten.
- ▶ Abbau von DNA, RNA und anderen biochemischen Verbindungen sowie deren Interaktionen mit dem Mikrobiom im Abwassersystem und die Auswirkungen auf die korrespondierenden

Nachweismethoden sind noch Gegenstand der Forschung.

- ▶ Alle etablierten molekularbiologischen Methoden der Abwassersurveillance basieren auf bekannten Genomsequenzen und einem gewissen grundlegenden Forschungsstand bezüglich des anvisierten Erregers. Ein völlig neu auftretender Erreger könnte kaum detektiert werden. Ähnliche Schwierigkeiten können Erreger verursachen, die schnelles oder regelmäßiges Mutationsverhalten zeigen. Hier profitiert die Abwassersurveillance von anderen Quellen wie z. B. einer genomischen Surveillance.

Zusammenfassung

Die Abwassersurveillance hat das Potenzial, den Gesundheitsschutz der Bevölkerung zu verbessern. Es existiert eine Reihe von möglichen Anwendungsgebieten. Die Abwassersurveillance kann bestehende Surveillance-systeme ergänzen, diese jedoch nicht ersetzen. Wird sie adäquat für das jeweilige Anwendungsgebiet eingesetzt, könnte sie einen Mehrwert liefern, der sowohl den lokalen als auch den überregionalen ÖGD in die Lage versetzt, früher, effizienter und zielgenauer gegen Infektionsgefahren für die Bevölkerung vorzugehen, indem zeitiger als bisher auf den Anstieg einer Infektionserregerkonzentration aufmerksam gemacht wird.

Die Abwassersurveillance in Deutschland wird seit 2022 für SARS-CoV-2 in größerem Umfang eingesetzt. Obwohl dadurch schon viele Erkenntnisse gewonnen wurden, müssen noch weitere Erfahrungen gesammelt werden, um das System optimal einsetzen zu können. Forschungsbedarf gibt es ebenfalls für die Überwachung anderer Erreger und die Messung von Indikatoren für nicht-übertragbare Krankheiten. Für diese wird teilweise erst seit wenigen Jahren an eine Form der Abwassersurveillance gedacht, die erst von Grund auf entwickelt und evaluiert werden muss, aber großes Potenzial zur Verfolgung von Krankheitswellen und zur Erfassung der Erregerverbreitung bietet.

In einigen Jahren könnte die Abwassersurveillance sowohl als Sentinelsystem für neu auftretende Infektionen als auch als Überwachungssystem für endemische Erreger dienen. Zusammen mit den

klinischen Surveillancesystemen könnte die Epidemiologie von Krankheitserregern besser charakterisiert und die Belastung für die Bevölkerung abgeschätzt werden.

Die Abwassersurveillance kann die Krankheits-schwere nicht abbilden und kann deshalb andere Surveillancesysteme nicht ersetzen. Im Gegenteil kann sie ohne die Unterstützung dieser Systeme nicht funktionieren, da sie durch die klinik- und patientennäheren Systeme in Kontext gesetzt wird. Jedoch kann eine Abwassersurveillance, die nach den oben beschriebenen Kriterien implementiert wird, ein nützliches Werkzeug im Repertoire des ÖGD sein.

Um diese Anwendungen zu erschließen, muss die Abwassersurveillance in Deutschland weiterentwickelt und auf eine breite Basis gestellt werden. Erfahrungen in der Analyse und Interpretation müssen vertieft und Methoden optimiert werden. Je nach Anwendungsgebiet ist eine dauerhafte Implementierung der Abwassersurveillance inklusive einer begleitenden Evaluation für ihre Nützlichkeit unumgänglich.

Literatur

- 1 Soper, G.A., The Curious Career of Typhoid Mary. *Bull N Y Acad Med*, 1939. 15(10): p. 698-712.
- 2 Antao, E.-M., et al., COVID-19-Pandemie: Surveillance und Studien des Robert Koch-Instituts zur Lage- und Maßnahmenbewertung. *Epid Bull* 2022;29:3-11.
- 3 Köpke, K., et al., Evaluation einer ICD-10-basierten elektronischen Surveillance akuter respiratorischer Erkrankungen (SEEDARE) in Deutschland. 2016, Robert Koch-Institut, Infektionsepidemiologie.
- 4 Bayer, C., et al., Internet-based syndromic monitoring of acute respiratory illness in the general population of Germany, weeks 35/2011 to 34/2012. *Eurosurveillance*, 2014. 19(4): p. 20684.
- 5 Metcalf, T.G., J.L. Melnick, and M.K. Estes, Environmental virology: from detection of virus in sewage and water by isolation to identification by molecular biology – a trip of over 50 years. *Annu Rev Microbiol*, 1995. 49: p. 461-87.
- 6 Melnick, J.L., Poliomyelitis Virus in Urban Sewage in Epidemic and in Non-epidemic Times. *American journal of hygiene*, 1947. 45(2): p. 240-53.
- 7 Paul, J.R., J.D. Trask, and S. Gard II. POLIOMYELITIC VIRUS IN URBAN SEWAGE. *Journal of Experimental Medicine*, 1940. 71(6): p. 765-777.
- 8 Exner, M., R. Schmithausen, and T. Schwartz, HyReKA Synthese- und Abschlussbericht. 2022.
- 9 Pusch, D., et al., Detection of enteric viruses and bacterial indicators in German environmental waters. *Archives of Virology*, 2005. 150(5): p. 929-947.
- 10 Beyer, S., et al., Detection and Characterization of Hepatitis E Virus Genotype 3 in Wastewater and Urban Surface Waters in Germany. *Food Environ Virol*, 2020. 12(2): p. 137-147.
- 11 Benschop, K.S.M., et al., Polio and Measles Down the Drain: Environmental Enterovirus Surveillance

- in the Netherlands, 2005 to 2015. *Appl Environ Microbiol*, 2017. 83(13).
- 12 Medema, G., et al., Presence of SARS-Coronavirus-2 RNA in Sewage and Correlation with Reported COVID-19 Prevalence in the Early Stage of the Epidemic in The Netherlands. *Environmental Science & Technology Letters*, 2020. 7(7): p. 511-516.
 - 13 Ahmed, W., et al., First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. *Science of The Total Environment*, 2020. 728: p. 138764.
 - 14 Höckele, V., et al., Zusammenfassender Bericht: EU-Projekt Emergency Support Instrument – Nachweis von SARS-CoV-2 im Abwasser (ESI-CorA). Karlsruhe Institut für Technologie, Robert Koch-Institut, Technische Universität Darmstadt, Umweltbundesamt, 2023.
 - 15 Robert Koch-Institut. AMELAG: Abwassermonitoring für die epidemiologische Lagebewertung. 2024 [cited 2024 26. Februar]; Available from: <https://www.rki.de/abwassersurveillance>.
 - 16 Peccia, J., et al., Measurement of SARS-CoV-2 RNA in wastewater tracks community infection dynamics. *Nat Biotechnol*, 2020. 38(10): p. 1164-1167.
 - 17 Olesen, S.W., M. Imakaev, and C. Duvallet, Making waves: Defining the lead time of wastewater-based epidemiology for COVID-19. *Water Res*, 2021. 202: p. 117433.
 - 18 Link-Gelles, R., et al., Public Health Response to a Case of Paralytic Poliomyelitis in an Unvaccinated Person and Detection of Poliovirus in Wastewater – New York, June-August 2022. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*, 2022. 71(33): p. 1065-1068.
 - 19 Zammit, I., et al., Zooming in to the neighborhood level: A year-long wastewater-based epidemiology monitoring campaign for COVID-19 in small intraurban catchments. *Sci Total Environ*, 2023. 907: p. 167811.
 - 20 Fahrenfeld, N.L., et al., Comparison of residential dormitory COVID-19 monitoring via weekly saliva testing and sewage monitoring. *Sci Total Environ*, 2022. 814: p. 151947.
 - 21 Reeves, K., et al., High-resolution within-sewer SARS-CoV-2 surveillance facilitates informed intervention. *Water Res*, 2021. 204: p. 117613.
 - 22 Loenenbach, A., et al., Participatory, Virologic, and Wastewater Surveillance Data to Assess Underestimation of COVID-19 Incidence, Germany, 2020–2024 *Emerging Infectious Disease journal*, 2024. 30(9).
 - 23 Lodder, W.J., et al., Feasibility of quantitative environmental surveillance in poliovirus eradication strategies. *Appl Environ Microbiol*, 2012. 78(11): p. 3800-5.
 - 24 Lee, W.L., et al., Monitoring human arboviral diseases through wastewater surveillance: Challenges, progress and future opportunities. *Water Res*, 2022. 223: p. 118904.
 - 25 Khoudja, S., et al., Occurrence of virulence genes among *Vibrio cholerae* and *Vibrio parahaemolyticus* strains from treated wastewaters. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2014. 186(10): p. 6935-6945.
 - 26 Zohra, T., et al., Wastewater based environmental surveillance of toxigenic *Vibrio cholerae* in Pakistan. *PLOS ONE*, 2021. 16(9): p. e0257414.
 - 27 Lodder, W.J., et al., Aichi virus in sewage and surface water, the Netherlands. *Emerg Infect Dis*, 2013. 19(8): p. 1222-30.
 - 28 EU Wastewater Observatory for Public Health, et al. *Encyclopaedia cloacae*. 2024 [cited 2024/04/29]; Available from: <https://wastewater-observatory.jrc.ec.europa.eu/#/encyclopaedia-cloacae>.
 - 29 Tay, M., et al., Monitoring multi-pathogens and SARS-CoV-2 variants in aircraft and airport wastewater. *medRxiv*, 2024: p. 2024.05.11.24307221.
 - 30 Barbe, L., et al., SARS-CoV-2 Whole-Genome Sequencing Using Oxford Nanopore Technology for Variant Monitoring in Wastewaters. *Front Microbiol*, 2022. 13: p. 889811.
 - 31 Levy, A., et al., Whole genome sequencing of SARS-CoV-2 from wastewater links to individual cases in catchments. *Sci Total Environ*, 2022. 851(Pt 2): p. 158266.
 - 32 Bar-Or, I., et al., Detection of SARS-CoV-2 variants by genomic analysis of wastewater samples in Israel. *Sci Total Environ*, 2021. 789: p. 148002.
 - 33 Ash, K.T., et al., Coding-Complete Genome Sequence of a SARS-CoV-2 Variant Obtained from Raw Sewage at the University of Tennessee-Knoxville

- Campus. Microbiol Resour Announc, 2021. 10(47): p. e0104921.
- 34 Wilhelm, A., et al., Early Detection of SARS-CoV-2 Omicron BA.4 and BA.5 in German Wastewater. *Viruses*, 2022. 14(9): p. 1876.
- 35 Scheithauer, S., et al., Etablierung der Genomischen Erreger-Surveillance zur Stärkung des Pandemie- und Infektionsschutzes in Deutschland. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz*, 2023. 66(4): p. 443-449.
- 36 Jarvie, M.M., et al., Monitoring of COVID-19 in wastewater across the Eastern Upper Peninsula of Michigan. *Environ Adv*, 2023. 11: p. 100326.
- 37 Wolfe, M.K., et al., Detection and quantification of human immunodeficiency virus-1 (HIV-1) total nucleic acids in wastewater settled solids from two California communities. *medRxiv*, 2024: p. 2024.03.12.24304178.
- 38 McCall, C., et al., Identification of multiple potential viral diseases in a large urban center using wastewater surveillance. *Water Research*, 2020. 184: p. 116160.
- 39 Hoffmann, M., et al., Carbapenemase-producing Gram-negative bacteria in hospital wastewater, wastewater treatment plants and surface waters in a metropolitan area in Germany, 2020. *Sci Total Environ*, 2023. 890: p. 164179.
- 40 Yaglom, H.D., et al., One health genomic surveillance and response to a university-based outbreak of the SARS-CoV-2 Delta AY.25 lineage, Arizona, 2021. *PLoS One*, 2022. 17(10): p. e0272830.
- 41 Harris-Lovett, S., et al., Wastewater Surveillance to Inform Public Health Decision Making in Residential Institutions. *J Public Health Manag Pract*, 2022.
- 42 Deng, Y., et al., Use of sewage surveillance for COVID-19 to guide public health response: A case study in Hong Kong. *Sci Total Environ*, 2022. 821: p. 153250.
- 43 Polio Eradication Initiative. Variant type 2 poliovirus isolated from sewage samples in Gaza. 2024 [cited 2024/08/01]; Available from: <https://polioeradication.org/news-post/variant-type-2-poliovirus-isolated-from-sewage-samples-in-gaza/>.
- 44 United Nations. WHO to send one million polio vaccines to Gaza to protect children. 2024 [cited 2024/08/01]; Available from: <https://news.un.org/en/story/2024/07/1152551>.
- 45 Lackner, S.A.S. Molekularbiologische Analysen direkt vor Ort? – Unser MOBILab macht's möglich! 2024 [cited 07/05/2024]; Available from: https://www.iwar.tu-darmstadt.de/wasser-umwelt-biotechnologie/fachgebiet_wubt/einrichtungen_wubt/mobi_lab/mobilab_page.de.jsp.
- 46 Rousis, N.I., et al., Socioeconomic status and public health in Australia: A wastewater-based study. *Environment International*, 2022. 167: p. 107436.
- 47 Amin, V., D.A. Bowes, and R.U. Halden, Systematic scoping review evaluating the potential of wastewater-based epidemiology for monitoring cardiovascular disease and cancer. *Sci Total Environ*, 2023. 858(Pt 3): p. 160103.
- 48 Oertel, R., et al., Drug consumption in German cities and municipalities during the COVID-19 lockdown: a wastewater analysis. *Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol*, 2023: p. 1-14.
- 49 Armenta-Castro, A., et al., Urine biomarkers for Alzheimer's disease: A new opportunity for wastewater-based epidemiology? *Environ Int*, 2024. 184: p. 108462.
- 50 Choi, P.M., et al., Do food and stress biomarkers work for wastewater-based epidemiology? A critical evaluation. *Sci Total Environ*, 2020. 736: p. 139654.
- 51 Gao, Z., et al., Assessment of the excretion of oxidative stress biomarkers and anabolic steroids based on sewage: A case study of college students and the general population. *Sci Total Environ*, 2023. 878: p. 163079.
- 52 Zhou, X., et al., Wastewater-based estimation of diabetes mellitus prevalence in 237 cities: A cross-China study. *Science of The Total Environment*, 2024. 924: p. 171659.
- 53 Lizot, L.L.F., et al., Risk assessment of a Brazilian urban population due to the exposure to pyrethroid insecticides during the COVID-19 pandemic using wastewater-based epidemiology. *Chemosphere*, 2023. 345: p. 140526.
- 54 O'Brien, J.W., et al., Wastewater analysis of Census day samples to investigate per capita input of organophosphorus flame retardants and plasticizers into wastewater. *Chemosphere*, 2015. 138: p. 328-34.

Autorinnen und Autoren

^{a)} Alexander Schattschneider | ^{a)} Dr. Timo Greiner |

^{b)} Dr. Sophia Beyer | ^{c)} Dr. Jörg Hans | ^{d)} Dr. Carlos Correa Martinez | ^{c)} Dr. Tim Eckmanns | ^{a)} Michaela Diercke | ^{a)} Dr. Jakob Schumacher

^{a)} FG 32 Surveillance und elektronisches Melde- und Informationssystem (DEMIS) | ÖGD-Kontaktstelle, Robert Koch-Institut, Berlin, Deutschland

^{b)} FG 15 Virale Gastroenteritis- und Hepatitisreger und Enteroviren, Robert Koch-Institut, Berlin, Deutschland

^{c)} FG 37 Nosokomiale Infektionen, Surveillance von Antibiotikaresistenz und -verbrauch, Robert Koch-Institut, Berlin, Deutschland

^{c)} ZIG 1 Informationsstelle für Internationalen Gesundheitsschutz (INIG), Robert Koch-Institut, Berlin, Deutschland

Korrespondenz: schumacherj@rki.de

Vorgeschlagene Zitierweise

Schattschneider A, Greiner T, Beyer S, Hans J, Correa Martinez C, Eckmanns T, Diercke M, Schumacher J: Abwasser enthält Informationen für die öffentliche Gesundheit: Mögliche Anwendungen für eine Abwassersurveillance

Epid Bull 2024;34:3-15 | DOI 10.25646/12513

Danksagung

Wir möchten allen Kolleginnen und Kollegen aus dem AMELAG-Team bei RKI und UBA danken.

Außerdem gilt unser Dank den Kolleginnen und Kollegen der Abteilungen Infektionskrankheiten und Infektionsepidemiologie für ihre Expertise und Einschätzungen zu Anwendungsfällen der Abwassersurveillance.