

ROBERT KOCH INSTITUT



AKTUELLE DATEN UND INFORMATIONEN  
ZU INFEKTIONSKRANKHEITEN UND PUBLIC HEALTH

**34**  
**2024**

22. August 2024

# Epidemiologisches Bulletin

**Infektionsepidemiologische  
Abwassersurveillance**

## Inhalt

### Abwasser enthält Informationen für die öffentliche Gesundheit:

#### Mögliche Anwendungen für eine Abwassersurveillance

3

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 SARS-CoV-2, Influenzaviren oder Polioviren, besitzt aber auch Potenzial für weitere Anwendungsfälle. Mögliche Anwendungsgebiete von infektionsepidemiologischer Abwassersurveillance werden im vorliegenden Beitrag aufgezeigt und – wo möglich – in die Surveillancelandschaft eingeordnet.

### SARS-CoV-2-Abwassersurveillance in Deutschland im Rahmen des Projekts AMELAG

16

Ausgelöst durch die COVID-19-Pandemie wird die Abwassersurveillance inzwischen weltweit im Rahmen des präventiven Gesundheitsschutzes genutzt. Im Vergleich zu individuellen Testungen kann durch die Abwasserbeprobung die Entwicklung des Infektionsgeschehens unabhängig von der aktuellen diagnostischen Teststrategie bzw. der Inanspruchnahme medizinischer Dienstleistungen durch die Bevölkerung verfolgt werden. Seit Anfang 2020 wird die SARS-CoV-2-Abwassersurveillance in Deutschland in verschiedenen Projekten aufgebaut und umgesetzt. Das Projekt AMELAG („Abwassermonitoring für die epidemiologische Lagebewertung“) unter gemeinsamer Leitung von Robert Koch-Institut und Umweltbundesamt verfolgt das Ziel, die Viruslast und die zirkulierenden SARS-CoV-2-Varianten im Abwasser zu überwachen, Forschungsfragen zu bearbeiten, Verfahren zur Detektion weiterer Erreger zu etablieren und die gesamte Kette von Probenahme in der Kläranlage bis zur Datenbewertung zu erweitern, zu harmonisieren und zu optimieren.

### WHO ruft gesundheitliche Notlage von internationaler Tragweite für Mpox aus

27

### Aktuelle Statistik meldepflichtiger Infektionskrankheiten: 33. Woche 2024

28

## Impressum

#### Herausgeber

Robert Koch-Institut  
Nordufer 20, 13353 Berlin  
Telefon: 030 18754-0  
E-Mail: [EpiBull@rki.de](mailto:EpiBull@rki.de)

#### Redaktion

Dr. med. Jamela Seedorf  
(Ltd. Redakteurin)  
Dr. med. Maren Winkler  
(Stellv. Redakteurin)

#### Redaktionsassistenz

Nadja Harendt

#### Allgemeine Hinweise/Nachdruck

Die Ausgaben ab 1996 stehen im Internet zur Verfügung:  
[www.rki.de/epidbull](http://www.rki.de/epidbull)

Inhalte externer Beiträge spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung des Robert Koch-Instituts wider.

Dieses Werk ist lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



ISSN 2569-5266



Das Robert Koch-Institut ist ein Bundesinstitut im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Gesundheit.

# 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.<sup>1</sup>

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.<sup>2-4</sup> 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.<sup>5–7</sup> 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.<sup>8</sup> Die epidemiologische Analyse der Krankheitserregerkonzentration innerhalb von Abwasserproben erfolgte vor allem im Rahmen von Forschungsprojekten.<sup>9,10</sup> 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.<sup>11</sup> 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.<sup>12,13</sup> 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.<sup>14</sup> 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).<sup>15</sup>

### 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,<sup>16–18</sup> andere sehen diesen zeitlichen Vorteil nicht.<sup>19,20</sup> 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.<sup>17,21</sup>

## 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.<sup>22</sup>

### 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.<sup>23</sup> 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.<sup>11</sup> 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.<sup>24</sup> 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.<sup>25,26</sup> 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.<sup>27</sup>

### 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*.<sup>28</sup> 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.<sup>29</sup>

### Identifikation der genetischen Diversität

Eine Sequenzierung von Erregergenomen beziehungsweise -genomfragmenten ist aus Abwasserproben möglich.<sup>30,31</sup> 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.<sup>32–34</sup> Aus den gemischten Mutationssignalen der fragmentierten

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

### 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.<sup>36</sup> Erste Nachweise von Infektionserregern, die bestimmte Bevölkerungsgruppen besonders betreffen, wie z. B. Humanes Immundefizienz-Virus (HIV), sind im Abwasser bereits erfolgt.<sup>37,38</sup> Auch die Prüfung der Wirksamkeit von ergriffenen Maßnahmen ist mit Abwassersurveillance möglich, indem die Infektionsdynamik vor und nach Einführung der Maßnahmen verglichen wird.<sup>21</sup>

### 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.<sup>39–41</sup> 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 ausrichten. 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.<sup>42</sup> 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.<sup>43,44</sup>

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.<sup>45</sup>

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.<sup>46,47</sup> Methodisch eng verwandt ist die Drogensurveillance, die an einigen Orten im Rahmen von Forschungsprojekten bereits stattfindet.<sup>48</sup>

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.<sup>47,49–54</sup> Rousis *et al.* haben beispielsweise Abwasseranalysen genutzt, um Zusammenhänge der Konzentration von einigen Medikamenten mit dem sozioökonomischen Status zu prüfen.<sup>46</sup> 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](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

<sup>a)</sup> Alexander Schattschneider | <sup>a)</sup> Dr. Timo Greiner |

<sup>b)</sup> Dr. Sophia Beyer | <sup>c)</sup> Dr. Jörg Hans | <sup>d)</sup> Dr. Carlos Correa Martinez | <sup>c)</sup> Dr. Tim Eckmanns | <sup>a)</sup> Michaela Diercke | <sup>a)</sup> Dr. Jakob Schumacher

<sup>a)</sup> FG 32 Surveillance und elektronisches Melde- und Informationssystem (DEMIS) | ÖGD-Kontaktstelle, Robert Koch-Institut, Berlin, Deutschland

<sup>b)</sup> FG 15 Virale Gastroenteritis- und Hepatitisreger und Enteroviren, Robert Koch-Institut, Berlin, Deutschland

<sup>c)</sup> FG 37 Nosokomiale Infektionen, Surveillance von Antibiotikaresistenz und -verbrauch, Robert Koch-Institut, Berlin, Deutschland

<sup>c)</sup> ZIG 1 Informationsstelle für Internationalen Gesundheitsschutz (INIG), Robert Koch-Institut, Berlin, Deutschland

**Korrespondenz:** [schumacherj@rki.de](mailto: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.

# SARS-CoV-2-Abwassersurveillance in Deutschland im Rahmen des Projekts AMELAG

## Einleitung

Die systematische Überwachung von Infektionserregern im Abwasser wird als Abwassersurveillance bezeichnet. Ausgelöst durch die COVID-19-Pandemie wird die Abwassersurveillance inzwischen weltweit im Rahmen des präventiven Gesundheitsschutzes genutzt. Als Ergänzung zu bestehenden Surveillance-Systemen soll mittels der Abwassersurveillance die Verbreitung von Infektionskrankheiten erfasst und Rückschlüsse auf die Infektionsdynamik ermöglicht werden. Aus zahlreichen nationalen und internationalen Studien ist bekannt, dass Krankheitserreger wie SARS-CoV-2 bereits vor dem Auftreten von klinischen Symptomen über die Ausscheidungen infizierter Personen in das Abwasser gelangen und dort nachgewiesen werden können.<sup>1-3</sup> Im Vergleich zu individuellen Testungen kann durch die Abwasserbeprobung die Entwicklung des Infektionsgeschehens unabhängig von der aktuellen diagnostischen Teststrategie bzw. der Inanspruchnahme medizinischer Dienstleistungen durch die Bevölkerung verfolgt werden.

Seit Anfang 2020 wird die SARS-CoV-2-Abwassersurveillance in Deutschland in verschiedenen Projekten aufgebaut und umgesetzt, zusammengefasst unter dem Sammelnamen CoroMoni (**Corona-Monitoring**). Diese Projekte wurden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanziert und durch Projekte ergänzt, die von den Bundesländern finanziert wurden. Von November 2021 bis März 2023 erfolgte über das von der Europäischen Union (EU) geförderte Pilotprojekt ESI-CorA (*Emergency Support Instrument* zur Einführung eines nationalen SARS-CoV-2-Abwassermonitorings) ein erstes bundesweites Projekt zur Abwassersurveillance. Die Beprobungen von 20 Modell-Kläranlagen in ESI-CorA zusammen mit den ca. 30 Standorten von CoroMoni waren Grundlage für ein erstes systematisches Monitoring.

## Das Projekt AMELAG

Das Projekt „Abwassermonitoring für die epidemiologische Lagebewertung“ (AMELAG) schließt mit einer Laufzeit von November 2022 bis Dezember 2024 an die bisherigen bereits genannten Projekte an. Mit einer durch das Bundesministerium für Gesundheit (BMG) zur Verfügung gestellten Fördersumme von 27 Mio. Euro ist der Umfang der Abwassersurveillance auf mittlerweile 163 Kläranlagen (Stand: 12.06.2024) ausgeweitet worden. Das Projekt verfolgt unter gemeinsamer Leitung von Robert Koch-Institut (RKI) und Umweltbundesamt (UBA) das Ziel, die Viruslast und die zirkulierenden SARS-CoV-2-Varianten im Abwasser zu überwachen, Forschungsfragen zu bearbeiten, Verfahren zur Detektion weiterer Erreger zu etablieren und die gesamte Kette von Probenahme in der Kläranlage bis zur Datenbewertung zu erweitern, zu harmonisieren und zu optimieren. Beteiligt sind unter anderem Kläranlagenbetreibende, Landeslabore, Forschungsinstitute, der Sanitätsdienst der Bundeswehr, die Technische Universität Darmstadt sowie weitere Universitäten und kommerzielle Laborbetriebe. Für die Umsetzung des Projekts wurden Strukturen zur behördenübergreifenden Zusammenarbeit auf Länder- und Bundesebene geschaffen, die Behörden aus dem Abwasser- und Gesundheitsbereich interdisziplinär verknüpfen. Der aufwendige Aufbau des Abwassermonitorings schließt verschiedenste Faktoren der Probenahme, Logistik, Analytik, Datenauswertung und -interpretation ein. Das Abwassermonitoring wird durch zahlreiche Forschungsprojekte begleitet, die in einer Übersicht auf der Webseite des RKI zur Abwassersurveillance zu finden sind.<sup>4</sup> Mit AMELAG werden somit Strukturen und Netzwerke für die bundesweite Abwassersurveillance aufgebaut und etabliert, damit dem Öffentlichen Gesundheitsdienst zukünftig Daten zum Auftreten und zur Infektionsdynamik von verschiedenen Erregern im Abwasser zur Verfügung stehen.



## A. Auswahl der Kläranlagen

Die Kläranlagen wurden von den Bundesländern, dem UBA und dem RKI nach den Kriterien Größe, technische Voraussetzungen, Bereitschaft, Datenkontinuität, Lage, Art und spezielle Einleiter (z. B. Einleitungen aus Industrie und Gewerbe) ausgewählt. Dabei wurde auch auf eine Fortführung der Beprobung von Kläranlagen vorangegangener Projekte geachtet, die zuvor in länderfinanzierten Projekten oder in Forschungsprojekten organisiert waren. Weitere Kläranlagen wurden vertraglich direkt an das Projekt angebunden. Es sind alle Bundesländer bei AMELAG vertreten. An die mittlerweile beprobten 163 Klärwerke (Stand 12.6.2024) ist etwa ein Drittel der Gesamtbevölkerung Deutschlands angeschlossen.

### Probeentnahme und Logistik

Die Probeentnahme erfolgt mit Hilfe eines automatischen Probenehmers (s. Abb.1). An einer festgelegten Stelle, in der Regel nach dem Sandfang am Zulauf der Kläranlage, wird zweimal pro Woche

eine Abwasserprobe entnommen. Hier befinden sich bereits weniger Fest- und Grobstoffe im Abwasser. So wird der automatische Probenehmer vor Blockaden geschützt und später die Aufbereitung der Proben im Labor vereinfacht. Die Probenehmer sind temperiert ( $5^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ) und erzeugen über 24 Stunden automatisch konfektionierte Proben, die zunächst in Einzelflaschen abgefüllt werden. Anschließend werden die Proben zusammengeführt, die Mischprobe homogenisiert und insgesamt ein Liter der Probe in eine vorbereitete Probenflasche abgefüllt (s. Abb.1). Es werden pH-Wert, Temperatur und elektrische Leitfähigkeit der Rohabwasserprobe bestimmt. Abschließend erfolgen Kennzeichnung und Transport der Probe in das jeweilige Analyselabor.

Die 24-Stunden-Mischproben werden in der Regel dienstags und donnerstags bei der Kläranlage abgeholt und temperiert in die zuständigen Analytiklabore geliefert. Essenziell für die Quantifizierung der SARS-CoV-2-Viruslast ist das Einhalten der



Entnahme von Abwasser am Zulauf der Kläranlage



Automatischer Probenehmer



Probe wird über 24 Stunden auf Einzelflaschen verteilt



Probe wird vermischt und homogenisiert



Ein Liter der Mischprobe wird abgefüllt und gekühlt versendet



Reinigung und Aufkonzentrierung der Abwasserprobe, z. B. durch vakuumbasiertes Absaugen auf eine Filtersäule



Nukleinsäure-Extraktion mittels gebrauchsfertigem Kit



Fraktionierung der PCR-Reaktion in einzelne Droplets, wenn beispielsweise die digitale PCR eingesetzt wird



Transkription der RNA in cDNA (RT) und Amplifizierung von mindestens zwei SARS-CoV-2-spezifischen Genfragmenten im Thermocycler



Quantifizierung der Genfragmente mittels Droplet-Reader und Analyse-Software für die digitale PCR

**Abb. 1** | Probeentnahme (obere Reihe) und beispielhafter Arbeitsablauf im Labor (untere Reihe)

RT = Reverse Transkriptasen; PCR = Polymerase-Kettenreaktion

Kühlkette, weshalb die Probe bei  $5^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  transportiert wird. Um möglichst aktuelle Daten liefern zu können, wird sichergestellt, dass die Probe spätestens nach 24 Stunden in den zuständigen Laboren eintreffen. Die Anforderungen für die Probenahme sind in einem technischen Leitfaden zur Probenahme für Abwasser zusammengefasst.<sup>4</sup>

## B. Probenaufbereitung und Quantifizierung der SARS-CoV-2-Viruslast

Im Labor wird die Probeneingangstemperatur kontrolliert und somit die intakte Kühlkette überprüft. Die Proben werden in einem Überkopfschüttler homogenisiert, bevor ein Probenaliquot (i. d. R. 40–100 mL) für die Aufkonzentrierung der SARS-CoV-2-Fragmente entnommen wird. Die Proben werden zeitnah verarbeitet, denn für möglichst präzise Messergebnisse dürfen diese maximal fünf Tage im Kühlschrank bei  $4\text{--}8^{\circ}\text{C}$  zwischengelagert werden. Ein Einfrieren der Proben sollte vermieden werden, da die gemessene Viruslast nach Auftauen im Vergleich zur Ausgangsprobe signifikant abnimmt.

Zur Probenaufbereitung erfolgt bei vielen Methoden ein Zentrifugationsschritt, um Feststoffpartikel abzutrennen. Danach wird durch Fällung mit Polyethylenglykol, druck- oder vakuumbasierter Filtration, zentrifugaler Ultrafiltration oder Ultrazentrifugation die Konzentration der Virusbestandteile erhöht. Die Wahl der Aufkonzentrierungsmethode ist abhängig von Probenvolumen, Effizienz der Methode und Eignung für das untersuchte Virus, aber auch von der jeweiligen Laborausstattung.

Nach der Viruskonzentrierung werden die Nukleinsäuren extrahiert, entweder in Gesamtform (DNA + RNA) oder spezifisch nur die RNA. Hierfür sind kommerzielle Kits erhältlich, die meist auf der organischen Extraktion mit Phenol, Wasser und Alkohol oder silikabasierten Filtersäulen beruhen. Die extrahierten Nukleinsäuren werden in  $50\text{--}200\ \mu\text{L}$  nukleasefreiem Wasser aufgenommen und aliquotiert bei  $-80^{\circ}\text{C}$  (Langzeitlagerung) oder bei  $-20^{\circ}\text{C}$  (stabil für ca. einen Monat) eingefroren.

Zum eindeutigen Nachweis von SARS-CoV-2 wird empfohlen, mindestens zwei unterschiedliche Genabschnitte mittels quantitativer Echtzeit-Polymerase-

Kettenreaktion (qPCR) oder digitaler PCR (dPCR) zu analysieren. Die qPCR ist für diagnostische Laboren ein Routineverfahren und der darauf basierende SARS-CoV-2-Nachweis ist vielfach erprobt.<sup>5</sup> Die Vorteile der neueren dPCR sind Unabhängigkeit von Standardkurven für die Quantifizierung und höhere Präzision der Messwerte. Durch die Partition der PCR in diverse Einzelreaktionen innerhalb des Reaktionsgefäßes sind Sensitivität und Inhibitorenresistenz erhöht.<sup>6–9</sup>

Die im AMELAG-Projekt ausgewählten Zielgene für die PCR sind die Gene für Nukleokapsid (N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>), Hüllprotein (E), Polymerase (RdRp), Spikeprotein (S) und Open Reading Frame (ORF). Die Konzentration der SARS-CoV-2-Genfragmente aus der Abwasserprobe wird in der Regel in Genkopien pro Liter angegeben. Jedes Labor soll basierend auf den verwendeten Methoden für Anreicherung, Extraktion und Quantifizierung eine eigene Bestimmungsgrenze (LOQ, *Limit Of Quantification*) für jede detektierte Gensequenz ermitteln.

Zusätzlich zur SARS-CoV-2-Konzentration wird mindestens ein sogenanntes Surrogatvirus quantifiziert, das als Qualitätskontrolle und Normalisierungsparameter dienen kann. Gängige Optionen sind CrAssphage (*Cross-assembly phage*) und PMMoV (*Pepper mild mottle virus*).<sup>10,11</sup>

Dem Labor stehen verschiedene Protokolle zur Verfügung. Bisher gibt es keine standardisierten Protokolle, mit einem technischen Leitfaden zur molekularbiologischen Analytik sind jedoch Rahmenbedingungen vorgegeben.<sup>4</sup> Die Labore sind angehalten, gewählte Methoden nach Möglichkeit unverändert beizubehalten, um die Kontinuität der Daten zu gewährleisten. Ein deutschlandweiter Laborvergleich der angewendeten Verfahren ist im Rahmen von AMELAG für Sommer 2024 geplant.

Die Lagerstabilität der Proben, tagesabhängige Variabilität der Zusammensetzung des Rohabwassers an jedem Standort (z. B. potenzielle Starkregenereignisse, Industrieeinleiter, Tourismus-/Pendlerbewegungen) sowie die verwendete Analytik sind mögliche Einflussgrößen für die Bestimmung der Viruslast. Sie beeinflussen Genauigkeit und Vergleichbarkeit standortspezifischer Datensätze und

müssen bei der Datenanalyse berücksichtigt werden. Daher verfolgt das UBA eine Methodenidentifizierung zur potenziellen Harmonisierung der Labormethoden sowie zur Qualitätsbewertung der Labordaten.

### C. Datenübermittlung

Die Verarbeitung der PCR-Messwerte sowie der Daten der Kläranlage erfolgt in der browserbasierten Webanwendung „Pathogene im Abwasser“ (PiA). Der PiA-Monitor dient als zentrale Plattform für einen praxistauglichen, harmonisierten und transparenten Datenfluss zur Bereitstellung qualitätsgesicherter Daten und wird vom UBA gepflegt.

Erfasst werden unveränderliche Daten (Stammdaten) zu Kläranlagen und Laboren sowie variable Daten zum Probenahmezeitpunkt (Monitoringdaten). Zu den Stammdaten der Kläranlage zählen beispielsweise Ausbaugröße, Trockenwetterabfluss und Probenahmestelle. Die Stammdaten der Labore beinhalten unter anderem Aufkonzentrierungsmethode, verwendetes Extraktionskit, angewandte PCR-Methode und Zielgene.

Als Monitoringdaten müssen von den Kläranlagen Parameter wie Volumenstrom, Leitfähigkeit und pH-Wert erfasst und an das Labor übermittelt werden. Der Datensatz wird laborseitig mit den SARS-CoV-2-PCR-Ergebnissen aus den Rohabwasserproben ergänzt und in den PiA-Monitor hochgeladen.

### D. Datenqualitätsprüfung und Normalisierung

Die Datensätze werden einer Qualitätsprüfung, Normalisierung sowie verschiedenen statistischen Analysen unterzogen. Dabei erfolgt auch die Aggregation der gemessenen SARS-CoV-2-Genkopien der Zielgene durch Anwendung des geometrischen Mittels.

Der Volumenstrom einer Kläranlage wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst, die unterschiedlich lange andauern. Beispielsweise können kontinuierliche und diskontinuierliche Abwasserleitungen von Industriebetrieben sowie Fremd- und Niederschlagswasser (z. B. Starkregenereignisse) durch Volumenveränderung die Konzentration der SARS-CoV-2-Genomfragmente im Abwasser beeinflussen.

Deshalb findet eine Normalisierung der gemittelten SARS-CoV-2-Genkopien statt. Diese erfolgt mithilfe des durchschnittlichen Trockenwetterzuflusses (Volumenstrom ohne Berücksichtigung von Niederschlagsereignissen und Tauwetter) der jeweiligen Kläranlage:

$$\text{Gene normalisiert} = \frac{Q_{KA \text{ aktuell}}}{Q_{KA \text{ median}}} \times \text{Gene gemittelt}$$

$Q_{KA \text{ aktuell}}$ : Volumenstrom der Kläranlage im Probenahmezeitraum  
 $Q_{KA \text{ median}}$ : Median des Volumenstroms der Kläranlage

### E. Statistische Analyse

Die Daten werden automatisiert an das RKI übermittelt. Am RKI werden die Daten weiter analysiert und grafisch dargestellt.

#### Zeitreihendarstellung (Ausgleichskurve)

Die gemessenen Viruslasten sind insgesamt und auch für die meisten Standorte linkssteil verteilt, es gibt also häufig niedrige Werte und selten sehr hohe Werte. Deshalb werden die Daten logarithmiert (zur Basis 10), sodass die Verteilung symmetrischer wird. Dadurch wird der Einfluss von Ausreißern im oberen Bereich der Messwerte auf die Schätzung der Ausgleichskurve vermindert und die Schätzung adäquater Konfidenzbänder, welche die Unsicherheit der geschätzten Ausgleichskurve abbilden, ermöglicht.

Zur anschaulicheren Darstellung des Viruslastverlaufs und von Trends eines einzelnen Standorts werden eine Ausgleichskurve und zugehörige Konfidenzbänder berechnet. Die Ausgleichskurve wird mit der lokal gewichteten Regression (LOESS-Methode) geschätzt, sodass sich für jeden Standort eine relativ glatte Kurve und für jeden Zeitpunkt (auch zwischen den Messzeitpunkten) eine vorhergesagte Viruslast ergeben.\* Die verwendeten Konfidenzbänder sind punktweise 95%-Konfidenzintervalle (konstruiert mit entsprechendem t-Verteilungsquantil) zu den geglätteten Werten auf der

\* Regressionsanalysen untersuchen Zusammenhänge zwischen mehreren Variablen, in diesem Fall der Zeit als unabhängiger und der Viruslast im Abwasser als abhängiger Variable. Dabei wird anhand eines mathematischen Kriteriums eine Funktion bestimmt, die den Zusammenhang für vorliegende Daten bestmöglich beschreibt. Diese Funktion erlaubt gleichzeitig, Werte für die abhängige Variable vorherzusagen, die im Fall einer LOESS-Regression auf einer glatten Kurve liegen.

Kurve. Details zur LOESS-Methode können auf der AMELAG-Webseite nachgelesen werden.<sup>4</sup>

Vorteil der Verwendung eines kreuzvalidierten LOESS-Verfahrens ist, dass immer auf Basis der bisher vorhandenen Daten eine hinsichtlich der Vorhersagefähigkeit optimierte Kurve berechnet wird, die eine leichte visuelle Erfassung der zeitlichen Entwicklungen der Viruslast ermöglicht. Nachteil ist, dass sich die Kurve beim Hinzukommen eines neuen Messwertes zu allen Zeitpunkten verändern kann. Dennoch spiegelt die Kurve immer das beste Wissen zur aktuellen Zeit wider. Ähnliche Glättungsverfahren werden in anderen Ländern, z. B. in Irland und in den USA, verwendet.<sup>12,13</sup> Andere Darstellungen verzichten hingegen auf Glättungsverfahren.<sup>14,15</sup>

Abbildung 2 zeigt Ausgleichskurven und Konfidenzbänder exemplarisch für zwei Standorte (Berlin und Jena). Dabei ist zu sehen, dass in Berlin grundsätzlich niedrigere Viruslasten als in Jena gemessen werden.

Trotz der genannten Vorteile der logarithmischen Darstellungen ist es für ein umfassendes Bild ratsam, zusätzlich die nicht logarithmierten, d. h. nicht transformierten Datenpunkte darzustellen, wie dies z. B. im AMELAG-Wochenbericht oder im Wochenbericht aus Finnland geschieht.<sup>16</sup>

### Trendberechnung (Heatmap)

Aus den einzelnen Kurven können Trends errechnet und diese beispielsweise je nach Veränderung eines Wertes zum Vorwochenwert kategorisiert werden (z. B. in steigend, gleichbleibend und fallend). Die errechneten Trends nutzt das RKI zur Erstellung einer Heatmap (s. Abb. 3). Die Heatmap zeigt dabei die Trends über die Zeit für die einzelnen Standorte (sortiert nach Bundesländern). Diese Darstellung ist kompakt und erlaubt auf einen Blick zu sehen, ob sich Trends über viele Standorte hinweg ähnlich verhalten. Die Darstellung als Heatmap birgt allerdings das Problem, dass sich mit Hilfe der Trends nur Veränderungen über die Zeit (hier über eine Woche) abbilden lassen, aber nicht der genaue Wert der Viruslast ablesen lässt. Deshalb ist eine Darstellung der einzelnen Zeitreihen samt Ausgleichskurve (wie in Abb. 2) eine sinnvolle Ergänzung.

Details zur Trendberechnung sind in einem technischen Leitfadens zur Datenverarbeitung zu finden.<sup>4</sup>

### Aggregation (aggregierten Kurve)

Neben der Darstellung einzelner Standorte ist auch die Darstellung aller Standorte in einer aggregierten, gemeinsamen Kurve von Interesse, um die Viruslast im Abwasser regional übergreifend einschätzen zu können. Die Höhe der gemessenen Viruslast ist abhängig vom Abwassersystem und kann sich damit von Standort zu Standort unterscheiden. Ebenfalls liegen die Messwerte für ver-

SARS-CoV-2-Viruslast im Abwasser in  $\log_{10}$  Genkopien/Liter

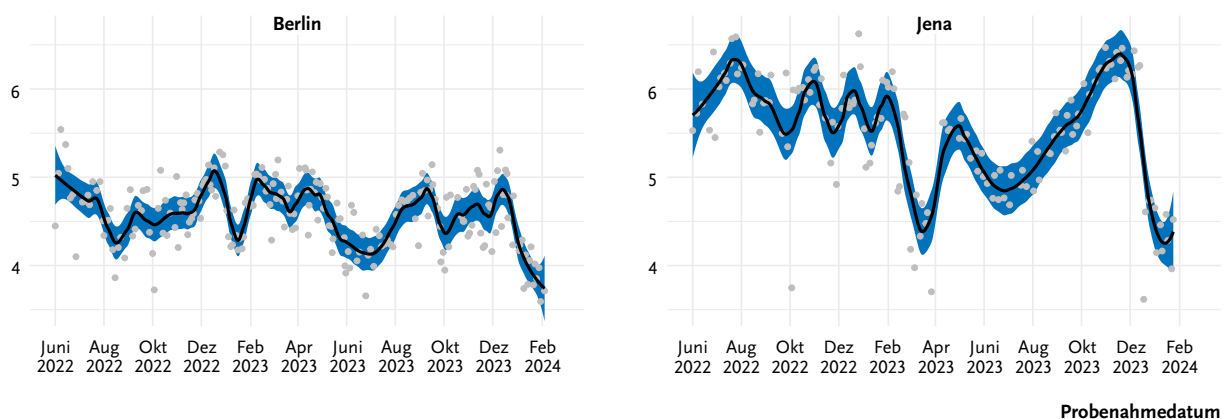
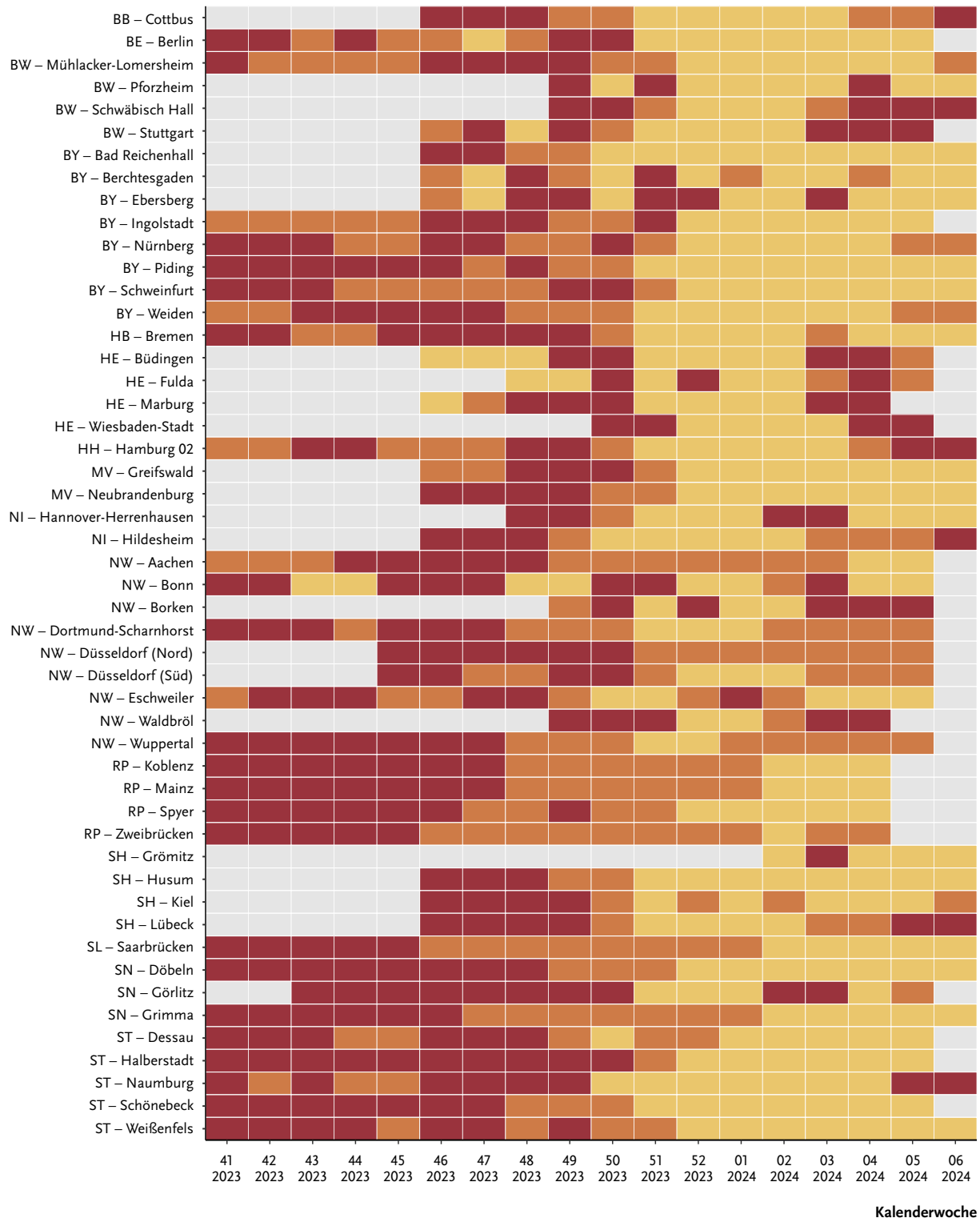


Abb. 2 | SARS-CoV-2-Viruslast im Abwasser über die Zeit (graue Punkte) samt Ausgleichskurve (schwarze durchgezogene Linie) und zugehörigen punktwisen 95%-Konfidenzintervallen (blauer Bereich) für die Standorte Berlin (links) und Jena (rechts). Als Datum der Probenahme wurde jeweils der Tag des Beginns der 24-Stunden-Mischprobe gewählt.



**Abb. 3** | Beispiel für eine Heatmap zur Trenddarstellung der SARS-CoV-2-Viruslast im Abwasser für verschiedene Standorte.

Trendkategorien:

- ansteigend (definiert als Anstieg um mehr als 15% zur Vorwoche)
- unverändert (Veränderung zwischen -15% und 15% zur Vorwoche)
- fallend (Rückgang um mehr als 15% zur Vorwoche)
- keine Daten vorhanden

BB = Brandenburg; BE = Berlin; BW = Baden-Württemberg; BY = Bayern; HB = Bremen; HE = Hessen; HH = Hamburg; MV = Mecklenburg-Vorpommern; NI = Niedersachsen; NW = Nordrhein-Westfalen; RP = Rheinland-Pfalz; SH = Schleswig-Holstein; SN = Sachsen; ST = Sachsen-Anhalt

schiedene Standorte an verschiedenen Tagen und in unterschiedlichen Zeiträumen vor, weil z. B. einige Kläranlagen verspätet mit der Beprobung angefangen haben.

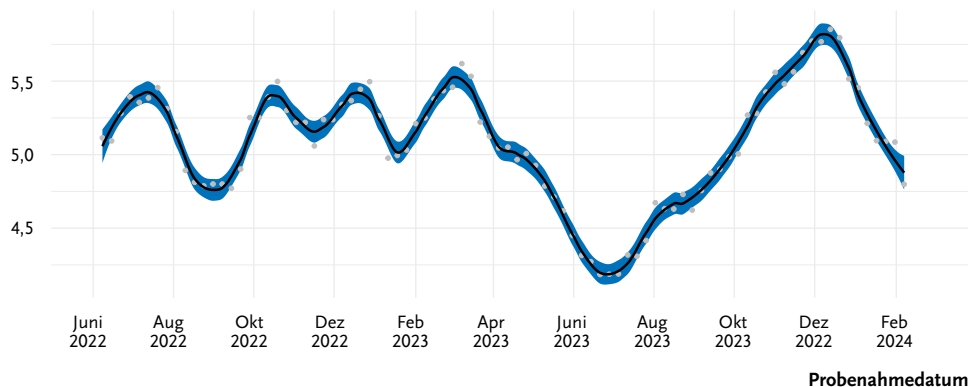
Werden die Messwerte zwischen verschiedenen Standorten mittels arithmetischem Mittel aggregiert, besteht aufgrund der Unterschiedlichkeit der Standorte das Problem, dass die gemittelten Messwerte von einem Messzeitraum (z. B. Tag oder Woche) zum nächsten recht unterschiedlich aussehen können: Theoretisch wäre es z. B. möglich, dass an Montagen Standorte mit grundsätzlich höheren Viruslasten beprobt werden, wohingegen an Dinstagen Standorte mit durchschnittlich niedrigen Viruslasten beprobt werden. Dadurch steigt die Variabilität in der abzubildenden Zeitreihe der Mittelwerte. Verringert wird dieses Problem der Variabilität durch das Festsetzen einer höheren Mindestanzahl von beprobten Standorten, die in einem Messzeitraum vorliegen müssen, damit ein Mittelwert überhaupt ausgewiesen wird. Je höher diese Mindestanzahl von beprobten Standorten gewählt wird, desto weniger Messzeiträume werden jedoch ausgewertet und desto mehr Daten gehen damit verloren.

Ein anderer Ansatz, um die Variabilität der aggregierten Messwerte zu verringern, mittelt zunächst alle Messwerte jedes Standorts jeweils für einen längeren Zeitraum, z. B. eine Woche, bevor dann diese

Mittelwerte über alle Standorte hinweg erneut gemittelt werden. So bildet sich für die aggregierte Kurve ein Messwert pro Woche. Dieses Verfahren hat den Nachteil, dass die aggregierten Messwerte die einzelnen Messwerte aus einer ganzen (vergangenen) Woche enthalten und deshalb etwas an Aktualität verlieren. Ein Vorteil gegenüber einem kürzeren Messzeitraum (z. B. tageweise Mittelung) ist neben einer geringeren Variabilität der Mittelwerte, dass von keinem Standort Werte verloren gehen, solange die Mindestanzahl der Standorte, die zum aggregierten Wochenwert beitragen müssen, nicht zu groß gewählt wird.\*\* In diesem Fall tragen also alle Standorte mit ihren Messwerten zur aggregierten Kurve bei. Für den vorliegenden Datensatz werden für jeden Standort immer mittwochs die Messwerte aus den vergangenen sieben Tagen (meistens zwei Messwerte) gemittelt, bevor diese Mittelwerte wiederum gemittelt werden. [Abbildung 4](#) zeigt die aggregierte Kurve, die durch dieses Verfahren zustande kommt. Die Mittelwerte weichen wenig von der Ausgleichskurve ab und die LOESS-Kurve wird mit wenig Unsicherheit geschätzt. Aufgrund der genannten Vorteile wird im Folgenden die Sieben-

\*\* Im vorliegenden Datensatz sind jede Woche Werte von mindestens 24 Standorten vorhanden. Für die hier vorgenommenen Analysen wird für die Mindestanzahl der Standorte, die zum aggregierten Wochenwert beitragen müssen, zehn Standorte gewählt. Somit gehen keine Messwerte verloren.

SARS-CoV-2-Viruslast im Abwasser in  $\log_{10}$  Genkopien/Liter



**Abb. 4** | Aggregierte SARS-CoV-2-Viruslast im Abwasser über die Zeit (graue Punkte) samt Ausgleichskurve (schwarze durchgezogene Linie) und zugehörigen punktwisen 95%-Konfidenzintervallen (blauer Bereich). Die Daten einzelner Standorte wurden über eine Woche gemittelt und die resultierenden Wochenwerte über alle Standorte ohne Gewichtung gemittelt. Als Datum der Probenahme wurde jeweils der Tag des Beginns der 24-Stunden-Mischprobe gewählt.

Tages-Mittelung der standortspezifischen Daten verwendet.

Alternativ zur bisher erläuterten Mittelwertbildung auf Basis der (logarithmierten) Messwerte bzw. deren Sieben-Tage-Mittelwerte der einzelnen Standorte könnte eine vorherige Standardisierung der einzelnen Zeitreihen vorgenommen werden. Wird beispielsweise die Minimum-Maximum-Standardisierung gewählt, ist dadurch garantiert, dass die Werte eines Standortes immer zwischen Null und Eins liegen und systematische Unterschiede in der Höhe der Viruslast zwischen Standorten (wie in Abb. 2) verschwinden.<sup>17</sup> Ein standardisierter Messwert wird somit im Vergleich zum gesamten Wertebereich des Standortes interpretiert. Ähnliche Wege zur Standardisierung von Viruslasten im Abwasser werden beispielsweise vom Bundesamt für Gesundheit in der Schweiz und den US-amerikanischen Centers for Disease Control and Prevention (CDC) verwendet.<sup>13,18</sup>

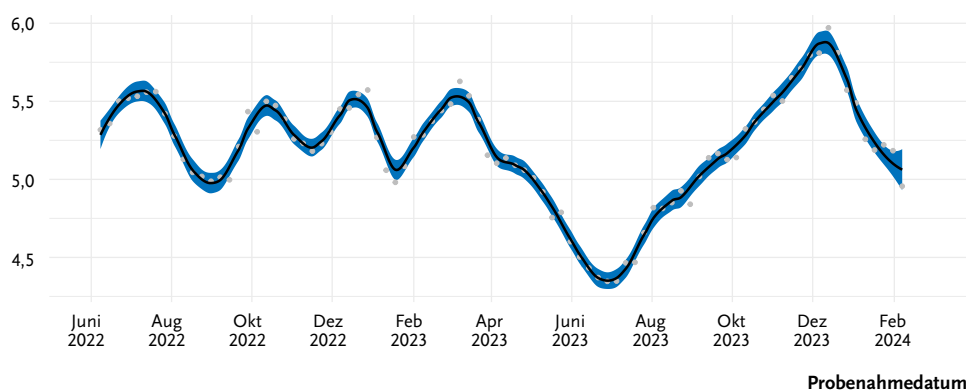
Ein Nachteil dieser Art der Berechnung und Darstellung der aggregierten Kurve ist die schwierigere Interpretierbarkeit im Vergleich zu einem Wert in der ursprünglichen Einheit, d. h. (logarithmierte) Genkopien pro Liter. Ein anderer Nachteil liegt in den unterschiedlichen Beprobungszeiträumen der Standorte begründet. Es kommen über die Zeit

neue Standorte hinzu, die nach ihren ersten Beprobungen immer einen Minimal- und Maximalwert haben und unabhängig von der aktuellen Erregerdynamik neben Null und Eins standardisierte Werte dazwischen erhalten. Selbst in einer Phase ohne nennenswertes Infektionsgeschehen könnten dann z. B. vornehmlich hohe Werte angezeigt werden, weil keine Messungen in vergangenen Hochzeiten der Pandemie durchgeführt wurden.

Wird keine Standardisierung verwendet, sind grundsätzliche Unterschiede zwischen den Standorten weniger problematisch, solange die Anzahl der Standorte groß genug ist und die Annahme stimmt, dass sich neu aufgenommene Standorte nicht systematisch in ihrer Viruslast im Abwasser von den Standorten unterscheiden, die schon länger beprobet werden. Deshalb wird auf die Standardisierung der Messwerte auf Standortebene verzichtet.

Eine Mittelung der Messwerte zwischen den Standorten berücksichtigt nicht die unterschiedliche Größe der teilnehmenden Kläranlagen. Es bietet sich deshalb eine Gewichtung nach der Anzahl der an Kläranlagen angeschlossenen Einwohner an. So wird eine bessere Abbildung der Gesamtbevölkerung in Deutschland erreicht. Da die Anzahl der teilnehmenden Standorte über die Messzeitpunkte schwankt, unterscheidet sich zudem die Unsicher-

SARS-CoV-2-Viruslast im Abwasser in  $\log_{10}$  Genkopien/Liter



**Abb. 5 |** Aggregierte SARS-CoV-2-Viruslast im Abwasser über die Zeit (graue Punkte) samt Ausgleichskurve (schwarze durchgezogene Linie) und zugehörigen punktwisen 95%-Konfidenzintervallen (blauer Bereich). Die Daten einzelner Standorte wurden über eine Woche gemittelt und die resultierenden Wochenwerte über alle Standorte gemittelt. Im Gegensatz zu Abbildung 4 wurden sowohl die Mittelung über alle Standorte als auch die Schätzung der Ausgleichskurve gewichtet durchgeführt. Als Datum der Probenahme wurde jeweils der Tag des Beginns der 24-Stunden-Mischprobe gewählt.

heit in der Schätzung der Mittelwerte. Dementsprechend sollte die Schätzung der LOESS-Kurve gewichtet erfolgen, sodass Mittelwerte mit großer Unsicherheit weniger Einfluss haben.<sup>19</sup> [Abbildung 5](#) zeigt die aggregierte Kurve mit den beschriebenen Gewichtungen.

Zwischen [Abbildung 4](#) und [Abbildung 5](#) ist eine große Ähnlichkeit zu erkennen, Unterschiede existieren aber beispielsweise in der Höhe der Viruslasten im Juli 2022.

### F. Bewertung und Kommunikation

Aktuell werden Daten aus AMELAG im [Wochenbericht zur Abwassersurveillance](#) veröffentlicht. Zusätzlich sind Teilergebnisse im [Infektionsradar des BMG](#), [ARE-Wochenbericht](#) und im [GrippeWeb-Wochenbericht](#) zu finden. Durch die Zusammenschau mit den anderen Daten, z. B. aus der syndromischen Surveillance, erfolgt die Einschätzung der epidemiologischen Lage. [Die Daten stehen zudem öffentlich zur Verfügung.](#)

Neben der Darstellung der Daten bietet AMELAG weitere Möglichkeiten für Information und Austausch. RKI und UBA veröffentlichen Informationen über Abwassersurveillance im Allgemeinen, das Vorhaben [AMELAG](#) und zugehörige Forschungsprojekte sowie Details zu den Methoden. Einmal im Monat findet das AMELAG-Kolloquium statt, bei dem es Gastvorträge und Zeit für den fachlichen Austausch gibt. Über aktuelle Neuigkeiten wird im AMELAG-Newsletter berichtet.

### Zusammenfassung

Das Projekt AMELAG ist durch die enge Zusammenarbeit von UBA und RKI mit Behörden, Laboren und Kläranlagen deutschlandweit erfolgreich angelaufen. Der Arbeitsablauf für die SARS-CoV-2-Abwassersurveillance ist gut etabliert und eine funktionsfähige Infrastruktur wurde aufgebaut. Durch die Untersuchung der Rohabwasserproben aus mittlerweile 163 Klärwerke in 25 Laboren (Stand: 12.5.2024), die am Projekt AMELAG teilnehmen, wird rund ein Drittel der Bevölkerung in Deutschland abgedeckt. Die Abwassersurveillance ist unabhängig von Teststrategie und -verhalten und deckt große Populationen ab. Die Probe einer Kläranlage

stellt eine Poolprobe aller an die Kläranlage angeschlossenen Haushalte dar.

Die aus den Kläranlagen gewonnenen Daten lassen sich für einzelne Standorte und aggregiert auf verschiedene Arten darstellen, die jeweils mit Herausforderungen behaftet sind. Das gilt besonders für aggregierte Darstellungen, mit denen z. B. deutschlandweite Aussagen über die SARS-CoV-2-Viruslast im Abwasser getroffen werden. Da die Kläranlagen keiner Zufallsauswahl aus allen Kläranlagen in Deutschland unterliegen, ist es grundsätzlich ohne weitere Annahmen nicht möglich, die Ergebnisse aus der Stichprobe auf ganz Deutschland zu übertragen. Weil sich alle Bundesländer beteiligen, die Standorte über ganz Deutschland verteilt sind und einen relevanten Teil der Gesamtbevölkerung abdecken, kann jedoch von einer guten Annäherung an den bundesweiten Mittelwert ausgegangen werden. Unterschiedliche Messzeiträume sowie teilweise nicht vergleichbare Messwerte zwischen den Standorten erschweren eine akkurate Berechnung von aggregierten Indikatoren. Grundsätzlich ist es ratsam, verschiedene Methoden und Darstellungsformen zu verwenden und deren Stärken und Limitationen zu beschreiben. Eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse lässt insgesamt auf eine Robustheit der Verfahren schließen, die sich auch im hier diskutierten Anwendungsfall von SARS-CoV-2 in Deutschland beobachten lässt. Die Aggregation reduziert zudem die Variabilität zwischen den einzelnen Datenpunkten, sodass Trends sicher erkannt werden können. Bei der Interpretation muss jedoch darauf geachtet werden, dass absolute Viruslasten insbesondere über längere Zeiträume nicht direkt verglichen werden können, da sich die ausgeschiedenen Virusmengen z. B. zwischen verschiedenen Virusvarianten unterscheiden können.

Abwasserdaten erlauben Rückschlüsse auf die Infektionsdynamik, aber nicht auf die Krankheitsschwere oder die Belastung des Gesundheitssystems. Für die epidemiologische Lagebewertung sollten die Daten daher immer in Zusammenschau mit anderen Indikatoren, z. B. aus der syndromischen Surveillance, betrachtet werden. Aus Abwasserdaten kann nach aktuellem Stand nicht präzise auf die Inzidenz bzw. Prävalenz oder die Untererfassung geschlossen werden.



## Ausblick

Die EU-Kommission hatte im März 2021 eine Empfehlung zum Aufbau der SARS-CoV-2-Abwasser-surveillance in den Mitgliedstaaten verabschiedet. Diese Empfehlung ist in den aktuellen Legislativvorschlag zur Neufassung der EU-Kommunalabwasserrichtlinie (91/271/EWG) übernommen worden. In Ergänzung zum §13 Abs. 2 Infektionsschutzgesetz sieht der Vorschlag ein Monitoring von relevanten Krankheitserregern im Abwasser vor. Zukünftig sollen deshalb Protokolle erarbeitet werden, die den Nachweis von Influenzaviren der

Gruppen A und B für die Routine etablieren. Für weitere Erreger oder Krankheitsindikatoren (z. B. Respiratorisches Synzytial-Virus, Antibiotikaresistenz, Noroviren, Rotaviren) werden im UBA, am RKI und in den an AMELAG angeschlossenen Forschungsprojekten derzeit Detektionsmethoden etabliert und möglichst validiert. Zusätzlich werden Abwasserproben sequenziert, um einen Überblick über den Anteil der aktuell vorhandenen Virusvarianten zu erhalten.<sup>20</sup> Dadurch können frühzeitig besorgniserregende Virusvarianten erkannt werden.<sup>21</sup>

## Literatur

- 1 Symonds EM, Griffin DW, Breitbart M: Eukaryotic Viruses in Wastewater Samples from the United States. *Applied and Environmental Microbiology* 2009, 75(5):1402-1409.
- 2 Bisseux M, Colombet J, Mirand A, Roque-Afonso A-M, Abravanel F, Izopet J, Archimbaud C, Peigue-Lafeuille H, Debros D, Bailly J-L, Henquell C: Monitoring human enteric viruses in wastewater and relevance to infections encountered in the clinical setting: a one-year experiment in central France, 2014 to 2015. *Eurosurveillance* 2018, 23(7):17-00237.
- 3 Lowry SA, Wolfe MK, Boehm AB: Respiratory virus concentrations in human excretions that contribute to wastewater: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Water and Health* 2023, 21(6):831-848.
- 4 AMELAG: Abwassermonitoring für die epidemiologische Lagebewertung [<https://www.rki.de/abwassersurveillance>]
- 5 Bustin S, Kirvell S, Huggett JF, Nolan T: RT-qPCR diagnostics: The “Drosten” SARS-CoV-2 assay paradigm. *International Journal of Molecular Sciences* 2021, 22(16):8702.
- 6 Tan C, Fan D, Wang N, Wang F, Wang B, Zhu L, Guo Y: Applications of digital PCR in COVID-19 pandemic. *VIEW* 2021, 2(2):20200082.
- 7 Ahmed W, Smith WJM, Metcalfe S, Jackson G, Choi PM, Morrison M, Field D, Gyawali P, Bivins A, Bibby K, Simpson SL: Comparison of RT-qPCR and RT-dPCR Platforms for the Trace Detection of SARS-CoV-2 RNA in Wastewater. *ACS ES&T Water* 2022, 2(11):1871-1880.
- 8 Dong L, Zhou J, Niu C, Wang Q, Pan Y, Sheng S, Wang X, Zhang Y, Yang J, Liu M et al: Highly accurate and sensitive diagnostic detection of SARS-CoV-2 by digital PCR. *Talanta* 2021, 224:121726.
- 9 Ishak A, AlRawashdeh MM, Esagian SM, Nikas IP: Diagnostic, Prognostic, and Therapeutic Value of Droplet Digital PCR (ddPCR) in COVID-19 Patients: A Systematic Review. *Journal of Clinical Medicine* 2021, 10(23):5712.
- 10 Sabar MA, Honda R, Haramoto E: CrAssphage as an indicator of human-fecal contamination in water environment and virus reduction in wastewater treatment. *Water Research* 2022, 221:118827.
- 11 Dhakar V, Geetanjali AS: Role of pepper mild mottle virus as a tracking tool for fecal pollution in aquatic environments. *Archives of Microbiology* 2022, 204(8):513.
- 12 National SARS-CoV-2 Wastewater Surveillance Programme [[https://www.hpsc.ie/a-z/nationalwastewatersurveillanceprogramme/2024wastewatersurveillanceprogrammereports/nwsp\\_main\\_public\\_week\\_7\\_2024.html](https://www.hpsc.ie/a-z/nationalwastewatersurveillanceprogramme/2024wastewatersurveillanceprogrammereports/nwsp_main_public_week_7_2024.html)]
- 13 COVID Data Tracker [<https://covid.cdc.gov/covid-data-tracker/#wastewater-surveillance>]
- 14 Amount of SARS-CoV-2 in wastewater [[https://www.pathogens.se/dashboards/wastewater/covid\\_quantification/covid\\_quant\\_gu/](https://www.pathogens.se/dashboards/wastewater/covid_quantification/covid_quant_gu/)]
- 15 Abwassermonitoring für Berlin [<https://hygiene-monitor.de/dashboard/corona>]

- 16 Coronavirus wastewater monitoring weekly report [[https://www.thl.fi/episeuranta/jatevesi/wastewater\\_weekly\\_report.html](https://www.thl.fi/episeuranta/jatevesi/wastewater_weekly_report.html)]
- 17 Mohamad IB, Usman D: Research Article Standardization and Its Effects on K-Means Clustering Algorithm. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 2013, 6(17):3299-3303.
- 18 Covid-19 Schweiz: Informationen zur aktuellen Lage [<https://www.covid19.admin.ch/de/epidemiologic/waste-water/>]
- 19 Fahrmeir L, Kneib T, Lang S, Marx B: Regression models: Springer; 2013.
- 20 Agrawal S, Orschler L, Schubert S, Zachmann K, Heijnen L, Tavazzi S, Gawlik BM, de Graaf M, Medema G, Lackner S: Prevalence and circulation patterns of SARS-CoV-2 variants in European sewage mirror clinical data of 54 European cities. Water Research 2022, 214:118162.
- 21 Wilhelm A, Agrawal S, Schoth J, Meinert-Berning C, Bastian D, Orschler L, Ciesek S, Teichgräber B, Wintgens T, Lackner S: Early detection of SARS-CoV-2 Omicron BA. 4 and BA. 5 in German wastewater. Viruses 2022, 14(9):1876.

### Autorinnen und Autoren

- <sup>a)</sup> Natalie Marquar | <sup>b)</sup> Dr. Peter Pütz | <sup>c)</sup> Dr. Udo Buchholz | <sup>a)</sup> Thomas Exner | <sup>d)</sup> Till Fretschner | <sup>b)</sup> Dr. Timo Greiner | <sup>b)</sup> Maria Helmrich | <sup>a)</sup> Dr. Marcus Lukas | <sup>e)</sup> Michael Marty | <sup>f)</sup> Dr. Nathan Obermaier | <sup>f)</sup> Cristina Saravia Arzabe | <sup>b)</sup> Alexander Schattschneider | <sup>a)</sup> Dr. Beate Schneider | <sup>d)</sup> Dr. PD Hans-Christoph Selinka | <sup>e)</sup> Antje Ullrich | <sup>d)</sup> Dr. PD Birgit Walther | <sup>a)</sup> Ulrike Braun | <sup>b)</sup> Dr. Jakob Schumacher
- <sup>a)</sup> FG Abwasseranalytik und Überwachungsverfahren, Umweltbundesamt, Berlin, Deutschland
- <sup>b)</sup> FG 32 Surveillance und elektronisches Melde- und Informationssystem (DEMIS) | ÖGD-Kontaktstelle, Robert Koch-Institut, Berlin, Deutschland
- <sup>c)</sup> FG 36 Respiratorisch übertragbare Erkrankungen, Robert Koch-Institut, Berlin, Deutschland
- <sup>d)</sup> FG Mikrobiologische Risiken, Umweltbundesamt, Berlin, Deutschland
- <sup>e)</sup> Abt Nachhaltige Produktion, Ressourcenschonung und Stoffkreisläufe, Dessau, Deutschland
- <sup>f)</sup> FG Abwassertechnikforschung, Abwasserentsorgung, Umweltbundesamt, Berlin, Deutschland
- <sup>e)</sup> FG Binnengewässer, Umweltbundesamt, Dessau, Deutschland

**Korrespondenz:** [puetzp@rki.de](mailto:puetzp@rki.de)

### Vorgeschlagene Zitierweise

Marquar N, Pütz P, Buchholz U, Exner T, Fretschner T, Greiner T, Helmrich M, Lukas M, Marty M, Obermaier N, Saravia Arzabe C, Schattschneider A, Schneider B, Selinka H-C, Ullrich A, Walther B, Braun U, Schumacher J: SARS-CoV-2-Abwasser-surveillance in Deutschland im Rahmen des Projekts AMELAG

Epid Bull 2024;34:16-26 | DOI 10.25646/12208

### Interessenkonflikt

Alle Autorinnen und Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt vorliegt.

### Förderung und Danksagung

Das BMG fördert das AMELAG-Vorhaben bis Ende 2024. Die genannten technischen Leitfäden beziehen Informationen/Erkenntnisse ein, die im Rahmen des Projekts ESI-CorA erarbeitet wurden. ESI-CorA wurde von der Europäischen Kommission im Rahmen des Soforthilfeinstruments (Emergency Support Instrument – ESI) gefördert (No 060701/2021/864650/SUB/ENV.C2).

Die Autorinnen und Autoren bedanken sich für die labortechnische sowie administrative Unterstützung bei Mohammed Abdelbary, Susan Abunijela, Eva Aßmann, Jennifer Bartz, Sophia Beyer, Christian Blumenscheit, Sindy Böttcher, Michaela Diercke, Martina Fischer, Stephan Fuchs, Sebastian Haller, Jörg Hans, Jennifer Hocke, Martin Hölzer, Christopher Irrgang, René Kallies, Alexander Kerndorff, Kai Keßler, Georg Kissner, Roxana Kolb, Jan Kullwatz, Michael Möhl, Michaela Nase, Ines Perea, Andrea Rakers, Ute Rexroth, Heike Schulze, Eric Siegmund, Simon Steschulat, Andrea Thürmer, Luzie Verbeek, Guido Werner, Dagmar Winkelmann, Ronny Wischer, Hannes Wünsche und Kyanoush Yhosseini und bei allen Beteiligten Kläranlagen, Laboren, ÖGD-Partnern und Forschungspartnern für die erfolgreiche und vertrauensvolle Zusammenarbeit.

## WHO ruft gesundheitliche Notlage von internationaler Tragweite für Mpox aus

Aufgrund eines Anstiegs von Mpox in diesem Jahr in Staaten vorwiegend in Zentralafrika, der von Mpox-Viren der Klade I ausgelöst wird, hat die Weltgesundheitsorganisation (WHO) am 14.8.2024 eine gesundheitliche Notlage von internationaler Tragweite (public health emergency of international concern, PHEIC) für Mpox erklärt. Berichte aus humanen Fallserien, aber auch Tierversuchen weisen darauf hin, dass mit Klade I durchschnittlich eher schwerere Krankheitsverläufe und eine höhere Mortalität assoziiert sind.

Das Ausrufen eines PHEIC ermöglicht es betroffenen Ländern, weitere Maßnahmen zu ergreifen bzw. zu intensivieren, z. B. hinsichtlich Impfstoffverfügbarkeit, dem Ausbau diagnostischer Kapazitäten und weiterer Public-Health-Maßnahmen.

Am 15.8.2024 ist in Schweden erstmals eine Mpox-Infektion der neuen Variante Klade Ib außerhalb des afrikanischen Kontinents nachgewiesen worden. In Deutschland wurden noch keine Mpox-Fälle durch Klade I diagnostiziert. Das Robert Koch-Institut (RKI) geht aktuell nicht von einer erhöhten Gefährdung durch Klade-I-Viren in Deutschland aus, beobachtet die Situation aber weiter sehr genau und passt seine Empfehlungen bei Bedarf an. Für die medizinische Versorgung ergeben sich zunächst keine anderen Maßnahmen. Mögliche Auswirkungen auf die Empfehlungen für den Öffentlichen Gesundheitsdienst werden derzeit geprüft. Speziallabore wie das [Konsiliarlabor für Pockenviren](#) können alle auftretenden Varianten

der Klade I und II diagnostizieren. Es wird davon ausgegangen, dass die verfügbaren Impfstoffe auch gegen Klade I wirksam sind.

Weiterführende Informationen finden sich auf der [RKI-Website zu Mpox](#).

Als Orientierungshilfe für Ärztinnen und Ärzte wird dort u. a. ein [Flussschema](#) zur Verdachtsabklärung und zu notwendigen Maßnahmen bereitgestellt. Bei Fragen zum klinischen Management bei besonderen Krankheitsverläufen besteht für die Fachöffentlichkeit eine durchgehende („24/7“) Beratungsmöglichkeit durch das RKI gemeinsam mit dem Ständigen Arbeitskreis der Kompetenz- und Behandlungszentren für Krankheiten durch hochpathogene Erreger (STAKOB).

Informationen zur Impfung gegen Mpox, darunter die Impfempfehlung der STIKO und Impf-FAQ, sind unter [www.rki.de/mpox-impfung](http://www.rki.de/mpox-impfung) zu finden.

Weitere Informationsquellen:

- ▶ <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/risk-assessment-mpox-epidemic-monkeypox-virus-clade-i-africa>
- ▶ <https://www.who.int/news/item/14-08-2024-who-director-general-declares-mpox-outbreak-a-public-health-emergency-of-international-concern>
- ▶ <https://www.cdc.gov/poxvirus/mpox/response/2022/world-map.html>

## Aktuelle Statistik meldepflichtiger Infektionskrankheiten

33. Woche 2024 (Datenstand: 21. August 2024)

### Ausgewählte gastrointestinale Infektionen

	Campylobacter-Enteritis			Salmonellose			EHEC-Enteritis			Norovirus-Gastroenteritis			Rotavirus-Gastroenteritis		
	2024		2023	2024		2023	2024		2023	2024		2023	2024		2023
	33.	1.–33.	1.–33.	33.	1.–33.	1.–33.	33.	1.–33.	1.–33.	33.	1.–33.	1.–33.	33.	1.–33.	1.–33.
Baden-Württemberg	61	2.522	2.148	32	709	616	8	171	190	35	3.268	2.665	19	1.119	1.019
Bayern	88	3.758	3.267	21	905	839	6	200	138	84	7.583	5.062	16	1.885	2.763
Berlin	29	1.028	1.111	10	352	221	4	97	70	15	3.078	2.185	8	985	824
Brandenburg	34	945	922	12	266	254	2	72	46	17	3.261	1.985	7	1.156	1.442
Bremen	14	212	174	9	46	23	0	11	12	7	250	220	2	78	124
Hamburg	7	592	605	3	125	143	2	30	31	1	1.474	1.093	3	532	670
Hessen	44	1.929	1.630	19	447	327	6	181	47	28	2.607	1.687	6	1.094	1.174
Mecklenburg-Vorpommern	20	721	627	5	172	180	2	77	26	21	1.683	1.587	5	491	949
Niedersachsen	90	2.574	2.055	22	659	578	18	372	299	56	4.418	3.126	12	1.176	1.885
Nordrhein-Westfalen	189	6.546	4.990	63	1.244	1.189	26	591	570	125	11.279	7.956	35	3.046	3.574
Rheinland-Pfalz	60	1.709	1.554	18	344	301	4	132	69	36	2.500	1.740	9	748	824
Saarland	3	397	473	4	70	46	0	9	12	2	552	491	3	192	348
Sachsen	83	2.141	2.072	13	457	351	5	169	105	64	5.836	3.640	26	1.714	2.413
Sachsen-Anhalt	30	780	626	20	291	256	4	99	61	50	3.111	1.940	20	601	1.586
Schleswig-Holstein	26	873	841	1	149	160	4	105	95	9	1.789	935	6	470	523
Thüringen	44	959	867	17	507	361	4	63	23	51	2.915	1.869	18	1.385	1.801
<b>Deutschland</b>	<b>822</b>	<b>27.686</b>	<b>23.962</b>	<b>269</b>	<b>6.743</b>	<b>5.845</b>	<b>95</b>	<b>2.379</b>	<b>1.794</b>	<b>601</b>	<b>55.604</b>	<b>38.181</b>	<b>195</b>	<b>16.672</b>	<b>21.919</b>

### Ausgewählte Virushepatitiden und respiratorisch übertragene Krankheiten

	Hepatitis A			Hepatitis B			Hepatitis C			Tuberkulose			Influenza		
	2024		2023	2024		2023	2024		2023	2024		2023	2024		2023
	33.	1.–33.	1.–33.	33.	1.–33.	1.–33.	33.	1.–33.	1.–33.	33.	1.–33.	1.–33.	33.	1.–33.	1.–33.
Baden-Württemberg	0	53	55	33	1.626	1.797	25	774	933	8	401	457	17	23.788	7.084
Bayern	1	56	69	41	2.568	2.760	17	1.025	1.200	6	398	424	7	45.483	12.477
Berlin	0	33	37	19	869	859	6	326	368	2	202	236	6	5.738	2.631
Brandenburg	0	26	15	10	273	251	4	119	116	1	78	62	4	6.995	2.174
Bremen	1	6	2	2	186	253	5	126	94	1	47	35	0	786	186
Hamburg	0	23	6	20	815	617	4	246	276	3	106	135	5	3.977	1.773
Hessen	2	53	45	13	1.150	1.318	13	458	433	12	326	304	8	11.660	4.178
Mecklenburg-Vorpommern	0	9	7	4	161	157	0	93	81	1	40	38	2	6.513	1.180
Niedersachsen	2	45	48	29	1.286	943	18	547	573	4	198	238	4	12.403	3.661
Nordrhein-Westfalen	2	143	146	42	3.047	3.743	46	1.515	1.772	13	578	631	19	28.689	10.818
Rheinland-Pfalz	1	25	21	12	947	1.182	5	249	384	7	115	144	6	10.187	3.402
Saarland	0	9	9	2	218	282	1	127	136	0	33	28	1	1.580	497
Sachsen	3	24	25	6	286	366	6	172	189	1	93	99	13	20.575	4.323
Sachsen-Anhalt	3	13	18	8	238	235	2	98	133	0	57	49	6	12.077	1.758
Schleswig-Holstein	2	19	15	8	410	331	3	274	241	2	75	79	2	4.369	1.040
Thüringen	0	16	10	4	140	188	3	80	99	2	60	60	2	8.344	1.599
<b>Deutschland</b>	<b>17</b>	<b>553</b>	<b>528</b>	<b>253</b>	<b>14.220</b>	<b>15.282</b>	<b>158</b>	<b>6.229</b>	<b>7.028</b>	<b>63</b>	<b>2.807</b>	<b>3.019</b>	<b>102</b>	<b>203.164</b>	<b>58.781</b>

## Ausgewählte impfpräventable Krankheiten

	Masern			Mumps			Röteln			Keuchhusten			Windpocken		
	2024		2023	2024		2023	2024		2023	2024		2023	2024		2023
	33.	1.–33.	1.–33.	33.	1.–33.	1.–33.	33.	1.–33.	1.–33.	33.	1.–33.	1.–33.	33.	1.–33.	1.–33.
Baden-Württemberg	0	24	2	0	29	25	0	1	1	67	2.955	146	19	2.113	2.078
Bayern	3	61	5	2	53	39	0	4	0	48	3.031	483	32	2.941	3.122
Berlin	0	91	9	0	15	10	0	1	1	13	468	62	8	800	550
Brandenburg	0	4	0	1	5	5	0	1	1	26	821	178	3	389	325
Bremen	0	2	0	0	5	3	0	0	0	10	44	4	2	117	48
Hamburg	0	15	2	0	12	7	0	1	0	2	230	55	1	306	356
Hessen	1	21	1	0	23	14	0	0	0	21	526	64	7	614	586
Mecklenburg-Vorpommern	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3	114	88	1	159	113
Niedersachsen	2	33	3	0	17	14	0	0	0	31	699	78	13	786	840
Nordrhein-Westfalen	6	126	4	0	77	44	0	1	0	103	2.195	209	36	2.205	1.934
Rheinland-Pfalz	0	7	0	0	18	13	0	1	0	20	531	94	6	389	317
Saarland	0	9	0	0	1	7	0	0	0	3	167	20	2	80	45
Sachsen	0	15	0	0	7	5	0	0	0	55	947	77	14	1.364	1.215
Sachsen-Anhalt	0	2	15	0	3	4	0	0	0	26	435	147	1	150	131
Schleswig-Holstein	0	3	0	0	12	6	0	0	0	3	308	40	3	323	375
Thüringen	1	6	0	0	6	6	0	0	0	31	740	354	5	243	261
<b>Deutschland</b>	<b>13</b>	<b>419</b>	<b>41</b>	<b>3</b>	<b>283</b>	<b>204</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>462</b>	<b>14.211</b>	<b>2.099</b>	<b>153</b>	<b>12.979</b>	<b>12.296</b>

Erreger mit Antibiotikaresistenz und *Clostridioides-difficile*-Erkrankung und COVID-19

	<i>Acinetobacter</i> <sup>1</sup>			Enterobacterales <sup>1</sup>			<i>Clostridioides difficile</i> <sup>2</sup>			MRSA <sup>3</sup>			COVID-19 <sup>4</sup>		
	2024		2023	2024		2023	2024		2023	2024		2023	2024		2023
	33.	1.–33.	1.–33.	33.	1.–33.	1.–33.	33.	1.–33.	1.–33.	33.	1.–33.	1.–33.	33.	1.–33.	1.–33.
Baden-Württemberg	6	61	46	21	664	459	1	72	69	1	58	45	390	10.955	108.713
Bayern	3	66	63	26	838	586	2	136	135	1	76	86	631	19.939	157.525
Berlin	0	72	44	7	419	339	0	37	27	0	41	25	204	3.794	38.005
Brandenburg	0	13	17	4	131	161	0	57	58	0	18	27	118	2.287	27.530
Bremen	0	1	0	1	22	17	0	4	5	0	3	6	48	656	8.848
Hamburg	0	10	19	7	249	192	1	22	17	1	27	22	142	2.717	15.568
Hessen	1	38	26	30	744	518	2	74	39	1	76	56	293	8.036	91.498
Mecklenburg-Vorpommern	0	8	6	1	110	54	1	16	46	0	11	15	111	2.443	19.274
Niedersachsen	1	43	26	11	507	351	4	121	100	0	65	91	499	8.623	127.743
Nordrhein-Westfalen	3	90	104	34	1.261	1.163	39	391	300	5	181	217	930	24.503	290.177
Rheinland-Pfalz	0	11	10	5	244	172	1	47	45	0	16	17	145	5.290	58.284
Saarland	0	3	1	0	27	26	0	9	6	0	14	5	30	1.401	16.776
Sachsen	0	14	12	13	157	200	6	174	74	1	48	57	407	5.616	34.942
Sachsen-Anhalt	0	7	9	5	131	82	1	56	65	0	31	26	264	3.212	21.686
Schleswig-Holstein	0	14	25	3	149	111	3	30	32	2	19	36	180	3.823	26.326
Thüringen	0	8	3	1	73	50	1	41	18	3	27	27	170	2.368	15.798
<b>Deutschland</b>	<b>14</b>	<b>459</b>	<b>411</b>	<b>169</b>	<b>5.726</b>	<b>4.481</b>	<b>62</b>	<b>1.287</b>	<b>1.036</b>	<b>15</b>	<b>711</b>	<b>758</b>	<b>4.562</b>	<b>105.663</b>	<b>1.058.693</b>

1 Infektion und Kolonisation

(Acinetobacter spp. mit Nachweis einer Carbapenemase-Determinante oder mit verminderter Empfindlichkeit gegenüber Carbapenemen)

2 Clostridioides-difficile-Erkrankung, schwere Verlaufsform

3 Methicillin-resistenter Staphylococcus aureus, invasive Infektion

4 Coronavirus-Krankheit-2019 (SARS-CoV-2)

## Weitere ausgewählte meldepflichtige Infektionskrankheiten

Krankheit	2024		2023
	33.	1.–33.	1.–33.
Adenovirus-Konjunktivitis	0	207	759
Bornavirus-Erkrankung	0	3	2
Botulismus	0	7	36
Brucellose	0	26	22
<i>Candida auris</i> , invasive Infektion	0	3	—*
Chikungunyavirus-Erkrankung	0	27	24
Creutzfeldt-Jakob-Krankheit	0	54	96
Denguefieber	12	1.242	474
Diphtherie	0	28	51
Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME)	14	455	346
Giardiasis	29	1.699	1.453
<i>Haemophilus influenzae</i> , invasive Infektion	17	1.180	1.266
Hantavirus-Erkrankung	6	310	214
Hepatitis D	2	72	86
Hepatitis E	66	3.033	3.193
Hämolytisch-urämisches Syndrom (HUS)	0	31	54
Kryptosporidiose	83	1.431	1.032
Legionellose	37	1.280	1.121
Lepra	0	0	2
Leptospirose	1	167	108
Listeriose	15	425	383
Malaria	17	521	—*
Meningokokken, invasive Infektion	6	235	170
Mpox	5	91	16
Nicht-Cholera-Vibrien-Erkrankung	0	3	5
Ornithose	1	30	7
Paratyphus	0	31	18
Pneumokokken, invasive Infektion	50	5.787	3.600
Q-Fieber	1	57	53
RSV-Infektion (Respiratorisches Synzytial-Virus)	32	42.410	—*
Shigellose	47	1.092	421
Trichinellose	0	2	1
Tularämie	0	88	40
Typhus abdominalis	1	41	53
West-Nil-Fieber	0	2	2
Yersiniose	26	2.006	1.234
Zikavirus-Erkrankung	0	26	7

In der wöchentlich veröffentlichten aktuellen Statistik werden die gemäß IfSG an das RKI übermittelten Daten zu meldepflichtigen Infektionskrankheiten veröffentlicht. Es werden nur Fälle dargestellt, die in der ausgewiesenen Meldewoche im Gesundheitsamt eingegangen sind, dem RKI bis zum angegebenen Datenstand übermittelt wurden und die Referenzdefinition erfüllen (s. [www.rki.de/falldefinitionen](http://www.rki.de/falldefinitionen)).

\* Die Meldepflicht für den Nachweis von *Plasmodium spp.* (Malaria-Erreger) wurde im Rahmen einer IfSG-Änderung im Juli 2023 von der nichtnamentlichen Meldung an das RKI gemäß § 7 Abs. 3 IfSG zu einer namentlichen Meldung an das Gesundheitsamt gemäß § 7 Abs. 1 IfSG geändert. Eine Meldepflicht für RSV und *Candida auris* besteht erst seit Juli 2023. Der Vergleich mit den Vorjahreswerten erfolgt ab 2025.