

Corona-Frühwarnsystem durch Abwassertests

Interdisziplinäre Zusammenarbeit macht's möglich

**Neele Leithäuser, Jan Mohring, Melissa Schoeps, Lukas Mittnacht, Uta Küsters,
Hanane Nadi-Adraoui, Dennis Schober**

Eingereicht ins peer-review-Verfahren: 22.05.2025

Peer-reviewed am: 01.08.2025

Abwasserüberwachung, Sars-Cov-2-Monitoring, Abwasser-Epidemiologie

Spätestens seit der Corona-Pandemie gelten Abwassertestungen als vielversprechendes Werkzeug zur Überwachung und Prognose von Krankheitserregern, da sie repräsentative und anonyme Daten liefern. Die erfolgreiche Nutzung dieser Daten für epidemiologische Modelle erfordert eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zahlreicher Partner. Dieser Artikel beleuchtet am Beispiel der Corona-Abwassertests in Rheinland-Pfalz die damit verbundenen Herausforderungen, erzielten Ergebnisse und erforderlichen Schnittstellen.

COVID Early Warning from Wastewater – Powered by Interdisciplinary Collaboration

Since the onset of the Corona pandemic, wastewater testing has emerged as a promising tool for monitoring and predicting pathogens, as it offers representative and anonymous data. To effectively utilize this data for epidemiological models, interdisciplinary collaboration among various partners is essential. This article examines the challenges, results achieved, and necessary interfaces associated with Corona wastewater testing in Rhineland-Palatinate.

1 Einleitung

Schon seit über 80 Jahren gibt es das Bestreben, Krankheitserreger in kommunalen Abwässern nachzuweisen [1]. Im Zuge der Sars-Cov-2-Pandemie hat die abwasserbasierte Epidemiologie-Forschung auch in Deutschland rasante Fortschritte gemacht [2–6]. Entsprechende Monitoringprojekte wurden in über 50 Ländern eingeführt [7]. Obwohl oder gerade weil Abwassertestungen keine Rückschlüsse auf einzelne infizierte Patienten erlauben, ist es anderen fortlaufenden Überwachungsmethoden („Surveillance“) insofern überlegen, dass es ganze Bevölkerungen diskriminierungsfrei und ohne deren aktive Mithilfe erfassen kann. Die EU hat bereits im Frühjahr 2021 eine systematische Abwasserüberwachung auf Sars-Cov-2 in allen EU-Mitgliedstaaten empfohlen [8]. Abwassertestungen als Surveillance-Methode hat nicht nur während der Pandemie wertvolle Daten geliefert, sondern kann auch zukünftig eine wichtige Rolle in der Bewertung von und Entscheidung über Maßnahmen im öffentlichen Gesundheitsdienst (ÖGD) spielen, da es frühe Warnsignale für potenzielle Krankheitsausbrüche liefern kann. Technologische Fortschritte, wie verbesserte

Analysemethoden und Datenverarbeitungstechniken, haben die Effizienz und Genauigkeit dieser Überwachungssysteme erheblich gesteigert. Dennoch gibt es Herausforderungen, insbesondere in Bezug auf die Standardisierung der Methoden und die Interpretation der gewonnenen Daten. Eine aktuelle Übersicht über Studien zum Abwassermonitoring mit Bezug zu Sars-Cov-2 zeigt die internationale Entwicklung dieser Methode auf [9]. In Deutschland sind zunächst vereinzelt Kläranlagen in Pilotprojekten integriert worden, z. B. Esi-CorA [10] oder COVIDready [11]. Deutschlandweit werden seit November 2022 im Projekt „Abwassermonitoring für die epidemiologische Lagebewertung“ (AMELAG) die Abwasserdaten von 168 Kläranlagen¹ aus allen 16 Bundesländern zusammengeführt und vom Robert-Koch-Institut (RKI) sowie dem Umweltbundesamt (UBA) ausgewertet. Dazu wurden einheitliche

¹ Seit dem 01.01.2025 werden nur noch 70 Standorte beprobt, davon fünf aus RLP: Mainz, Kaiserslautern, Koblenz, Trier, Worms. Die untersuchten Pathogene wurden auf RSV und Influenza erweitert.

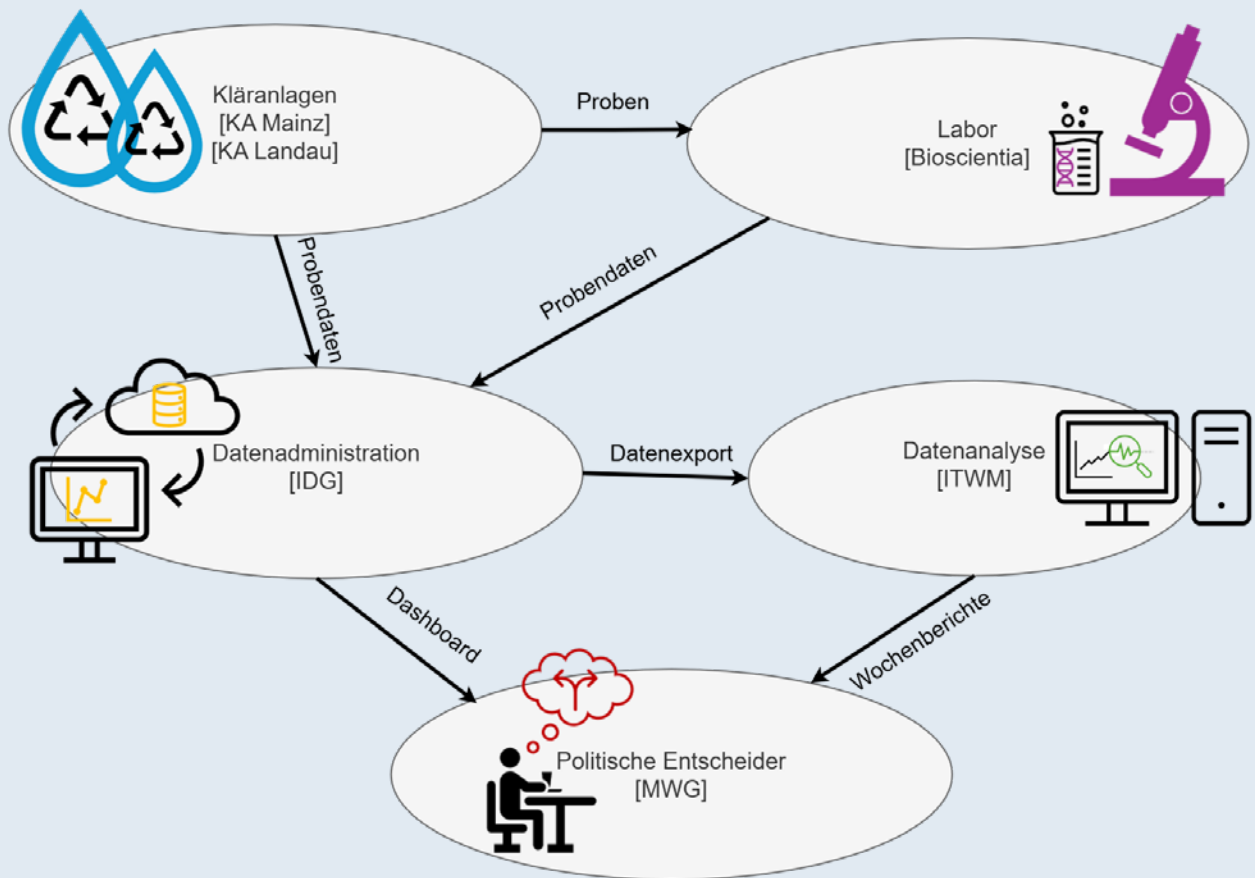


Bild 1: Schematische Darstellung der Zusammenarbeit der Akteure



Bild 2: Standorte der beprobten Kläranlagen in Rheinland-Pfalz bis 2024. Die fettgedruckten Standorte werden weiterhin beprobt.

Leitfäden zur Probennahme, Analytik, Datenübermittlung und -verarbeitung [12] ausgegeben, die die unterschiedlichen Akteure nach Möglichkeit umsetzen, um eine Vergleichbarkeit der Messungen gewährleisten zu können.

2 Projektübersicht

In Rheinland-Pfalz werden seit dem Herbst 2022 an 16² Probenstandorten zwei Proben pro Woche entnommen, analysiert, datenseitig erfasst und für die Überwachung und Prognose der Infektionslage im Land verwendet. In jeder Probe werden neben der Sars-Cov-2-Virenlast auch zahlreiche Begleitparameter bestimmt. In regelmäßigen Abständen werden darüber hinaus Sequenzierungen durchgeführt, um die Verteilung der Varianten im Land zu bestimmen. Das Projekt ist inzwischen in das bundesweite AMELAG-Vorhaben eingegliedert worden. Das landesfinanzierte Projekt in Rheinland-Pfalz war nach BMBF- und EU-finanzierten Projekten in Bayern und Nordrhein-Westfalen das erste, das eine Vielzahl an Kläranlagen kontinuierlich beprobt hat. Um dies möglich zu machen, war und ist das Zusammenspiel vieler interdisziplinärer Akteure erforderlich. Die beteiligten Kläranlagen müssen die

² Am Standort Neustadt wurden bereits im Rahmen des EU-Projekts Esi-CorA ab dem 28.02.2022 Proben entnommen.

Proben abfüllen und kühlen, der Labordiagnostikdienstleister Bioscientia Healthcare GmbH (Bioscientia) organisiert die Probenlogistik und führt die eigentliche Analyse durch. Das Institut für digitale Gesundheitsdaten RLP (IDG) stellt das System für die Erfassung der Stammdaten der Kläranlagen sowie die Probenaten bereit und visualisiert sie auf einem internen Dashboard, auf das auch die politischen Entscheidungsträger im Land Zugriff haben. Sie stellen zudem einen kontinuierlichen und individualisierten Datenexport bereit, den das Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM) bis zum April 2024 genutzt hat, um Statusberichte und Prognosen für das Ministerium für Wissenschaft und Gesundheit (MWG) in Rheinland-Pfalz zu erstellen. Die Daten- und Güterflüsse sind schematisch in **Bild 1** illustriert.

3 Kläranlagenbetreiber

In Rheinland-Pfalz beteiligten sich initial 16 der größeren Kläranlagen des Landes an der Corona-Beprobung, sodass eine gleichmäßige, bevölkerungsgewichtete Abdeckung erreicht werden konnte, wie in **Bild 2** dargestellt ist. In diesem Artikel werden exemplarisch die Kläranlage Mainz und die Kläranlage Landau-Mörlheim vorgestellt. Die Kläranlage Mainz (betrieben vom Wirtschaftsbetrieb Mainz AöR) ist mit einer Ausbaugröße von 400.000 EW und 45.000 m³/d Trockenwetterabfluss die größte kommunale Kläranlage des Landes und reinigt das Abwasser der Stadt Mainz, der

Verbandsgemeinde Bodenheim und Budenheim. Der Anteil der gewerblichen Abwässer beträgt etwa 40 %.

Die Kläranlage Landau-Mörlheim (betrieben vom Entsorgungs- und Wirtschaftsbetrieb Landau in der Pfalz AöR) hat eine Ausbaustufe von 80.000 EW und einen Trockenwetterdurchsatz von etwa 10 Mio. l und reinigt das Abwasser der Stadt Landau sowie der Verbandsgemeinden Annweiler, Landau-Land und Offenbach. Der Anteil gewerblicher Abwässer beträgt etwa 15 %.

Die Proben für die Untersuchung auf Sars-Cov-2-Viren werden in beiden Kläranlagen nach dem Fett- und Sandfang mit einem automatischen, stationären Probennehmer (SP5 S der Firma MAXX) durchflussproportional entnommen. Hierfür werden in Mainz alle 66 m³ jeweils 10 ml Probe entnommen. In Landau werden alle 80 m³ 40 ml entnommen. Für die 24 h-Mischprobe (24h-MP) läuft die Probenahme in Mainz von Mitternacht bis Mitternacht; in Landau von 08:00 Uhr bis 08:00 Uhr. Die verbaute Kühlung gewährleistet, dass die Proben durchgehend bei 6 °C gekühlt gelagert werden. Am nächsten Morgen werden die Probenbehälter zu einer 24h-MP von einem Liter vermengt und vor Ort die Parameter wie pH-Wert, Leitfähigkeit und Temperatur vermessen und protokolliert. Die Probe wird umgehend abgefüllt und gekühlt verpackt, sodass die Kühlkette nicht unterbrochen wird. Es werden dann die Zulaufmenge (in m³/d), der Wetterschlüssel und die Temperatur aus dem jeweiligen Prozessleitsystem (Mainz: ACRON, Landau: Flowchief) dokumentiert. Die Probennahme ist in **Bild 3**



a)



b)



c)



d)

Bild 3: Manuelle Vorgänge bei der Probenentnahme:

- a) Homogenisierung der Probe
- b) Messung des pH-Werts und der Leitfähigkeit
- c) Abfüllen der 24h-Mischprobe
- d) Verpackung in Kühlbehälter für den Transport

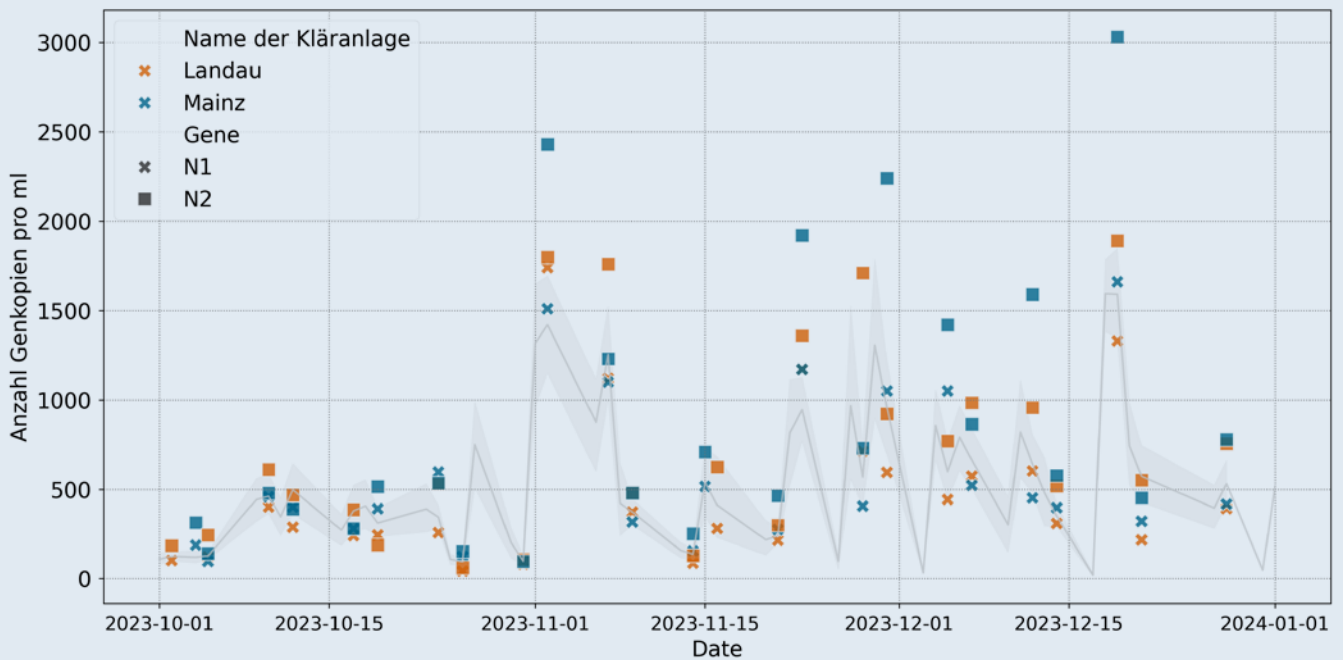


Bild 4: Darstellung der gemessenen Rohdaten vom 01.10.2023 bis zum 01.01.2024. Die graue Linie zeigt das arithmetische Mittel über alle Kläranlagen und Gene mit dem 95%-Konfidenzbereich.

visualisiert. Bei den hier vorgestellten Kläranlagen werden auch im normalen Kläranlagenbetrieb täglich 24h-MP entnommen. Daher haben sich die Abläufe durch die Corona-Proben nicht wesentlich geändert. Nur die Kühlung und Verpackung wurde spezifisch für diese Proben vorgenommen. Die Vorgehensweise bei der Probenahme und Datenübermittlung gemäß den AMELAG-Leitfäden wurde über Telefonkonferenzen zwischen dem Ministerium für Wissenschaft und Gesundheit in Rheinland-Pfalz (MWG), dem UBA und den beteiligten Kläranlagenbetreibern, die zu Beginn wöchentlich stattfanden, erläutert.

4 Labor und Logistik

Die Bioscientia organisiert als Labordienstleister am Standort Ingelheim nicht nur die Probenanalyse, sondern auch die Probenlogistik. Die beschrifteten Proben werden nach Probenahme taggleich in 1l-Polyethylenflasche abgeholt und bei 4-8 °C transportiert und gelagert. Die Tourenplanung konnte in die bestehende Probenlogistik des Labors problemlos eingebaut werden. Um die SARS-CoV-2-Nukleinsäuren in den Abwasserproben nachweisen zu können, wird zunächst ein Aliquot der Abwasserprobe (42 ml) am Folgetag mittels qPCR analysiert. Dazu erfolgt zuerst eine Aufkonzentration, gefolgt von der Extraktion der Nukleinsäuren (Maxwell® RSC Enviro Total Nucleic Acid Kit von Promega). Die anschließende qPCR wird nach Herstellerangaben mit dem GoTaq® Enviro Wastewater SARS-CoV-2 System der Firma Promega durchgeführt. Dieses Kit beinhaltet Primer/Sonden-Sets für die N1- und N2-Regionen des SARS-CoV-2 Nukleocapsid (N) Gens sowie ein Primer/Sonden-Set für die Detektion des Pepper Mild Mottle Virus (PMMoV) und zur

Quantifizierung Standards mit vorgegebener Konzentration an SARS-CoV-2- und PMMoV-RNA.

Die ermittelten Daten werden intern im Labor-Informationssystem MELOS dokumentiert und dann manuell im ÖGD-Portal des IGD eingegeben. Um eine zeitnahe und fehlerfreie Übermittlung der Daten zu ermöglichen, wäre eine digitale Datenübermittlung für zukünftige Projekte wünschenswert.

Entscheidend für die korrekte Quantifizierung der Menge an SARS-CoV-2- bzw. PMMoV-Nukleinsäuren ist der valide Verlauf der Standardkurve (z. B. Wert der Steigung in vorgegebenem Bereich). In einigen Fällen muss die Messung wiederholt werden, da oft zu starke Schwankungen bei den Testlösungen („Kalibratoren“) beobachtet werden. Dieses vom UBA empfohlene Testkit ist für eine stabile Quantifizierung nicht gut geeignet.

Zudem zeigen die beiden Zielregionen (N1 und N2) von SARS-CoV-2 oft stark voneinander abweichende Werte, wie auch in Bild 4 sichtbar wird. Eine Erklärung könnte eine unterschiedlich starke Degradierung der Nukleinsäure sein. Abschließend ist dies jedoch noch nicht geklärt.

Mit Abnahme der Corona-Infektionen konnten bei der Quantifizierung oftmals keine Viruslast oder nur eine unter der Quantifizierungsgrenze liegende Viruslast festgestellt werden. Bis Dezember 2024 wurde alle zwei Wochen eine Untersuchung der SARS-CoV-2-Varianten mit Next-Generation Sequencing (NGS), einer modernen Methode zur gleichzeitigen Analyse vieler kleiner DNA-Abschnitte, durchgeführt. Wenn mehr als 90 % des Virusgenoms abgedeckt waren, wurden die Daten übermittelt. Wenn die Virusmenge unter 500 Genkopien pro Milliliter lag (vgl. Okt 2023 in Bild 4), konnte keine Sequenz zuverlässig ermittelt werden.

5 Datenmanagement und Dashboard-Visualisierung

Im Rahmen des landesweiten rheinland-pfälzischen Abwassermonitorings hat das IDG einen integrativen Datahub entwickelt, der die beteiligten Organisationen über definierte Datenflüsse miteinander verbindet. Das System deckt die gesamte Datenkette ab – von der systematischen Datenerfassung, über Verarbeitung und Visualisierung bis hin zur einer nutzergruppenspezifischen Datenbereitstellung für die weitere Auswertung und Interpretation. **Bild 5** zeigt eine Übersicht der Datenflüsse und Systemkomponenten.

Die Datenerfassung erfolgte über elektronische Fallberichtsformulare (eCRFs) im ÖGD-Portal, um eine systematische und einheitliche Erfassung im Einklang mit den AMELAG-Standards sicherzustellen. Der Zugang zum Erfassungsportal ist über eine Zwei-Faktor-Authentifizierung gesichert. Die Probanden werden täglich aus der Datenbank abgerufen und verarbeitet. Im ÖGD-Monitor werden die tagesaktuellen Daten visualisiert und einfache Aggregationen, wie die Bildung einer gemittelten Viruslast (s. **Bild 6**), vorgenommen. Berechtigte Partner wie das Fraunhofer ITWM, das Landesuntersuchungsamt (LUA) und das MWG können die Daten in einem individuell definierten Format herunterladen. Zudem stehen benutzerdefinierte Ansichten für das Labor und die Kläranlagen zur Verfügung. Zusätzlich werden die Daten für ein MWG-internes Dashboard über eine gesicherte REST-Schnittstelle im JSON-Format bereitgestellt. Im Herbst 2024 erfolgte die Anbindung an die neu etablierte API des PiA-Monitors („Pathogene im Abwasser“ [13]), einem Tool zur normierten Analyse und Visualisierung der Viruslastdaten am UBA. Dafür waren einige Umrechnungen und Formatttransformationen notwendig. Seit Anfang 2025 bietet die vom PiA-Monitor bereitgestellte Schnittstelle auch eine Funktion zur automatisierten Korrektur bereits übermittelter Proben. Um alle Teilschritte zu überwachen, wurden umfassende Plausibilitätsprüfungen und Monitoring-Instrumente implementiert, einschließlich automatisierter E-Mail-Berichte, der täglichen Übermittlung des Exportstatus der Proben an die PiA-Schnittstelle des MWG, sowie der kontinuierlichen Überwachung des letzten Probeneingangs.

Durch den modularen Aufbau des Systems kann schnell auf weitere Anwendungsfälle, wie die Erfassung zusätzlicher Krankheitserreger, reagiert werden. Automatisierte Prozesse ermöglichen einen zeitlich effizienten Workflow. Die Integration zusätzlicher Datenschnittstellen könnte weitere Zeitersparnisse bringen und Doppelaufwand bei der Dokumentation und Erfassung der Daten vermeiden. Künftige Entwicklungen sollten zudem auf die Einrichtung weiterer Plausibilitätsprüfungen abzielen, um bereits bei der Dateneingabe und automatischen Übermittlung qualitätssichernde Maßnahmen zu verankern. Deren Ausgestaltung ist beliebig konfigurierbar und bedarf der Beauftragung durch einen Fachverantwortlichen. Monitoring-Instrumente spielen insbesondere bei automatischen Datenflüssen eine wichtige Rolle.

Der beschriebene Prozess sowie die Systeme und Datenflüsse beschreiben den Stand Feb. 2025. Seit dem 01.03. erfolgt die Datenerfassung über ein bundesweit einheitliches System. In diesem Zusammenhang werden derzeit noch Anpassungen vorgenommen.

6 Mathematische Modellierung und Prognose

Das Fraunhofer ITWM hat die strukturierten Zeitreihendaten als Messdaten zur Kalibrierung seines epidemiologischen Modells verwendet und wöchentlich Prognosen für die folgenden zwei Wochen erstellt und in einem Situationsbericht zusammengefasst. Diese wurden von Projektbeginn bis zum April 2024 an das Gesundheitsministerium in Rheinland-Pfalz versendet.

Für die Vorhersagequalität war es entscheidend, dass zwischen dem 01.01.2023 und dem 31.03.2024 parallel zur Abwassertestung auch die Prävalenzstudie SentiSurv [14], basierend auf Selbsttests in den fünf größten Städten in Rheinland-Pfalz, durchgeführt wurde. Diese Studie lieferte verlässliche Prävalenzdaten, die einen direkten Eindruck vom betroffenen Bevölkerungsanteil gaben und gesellschaftlichen Folgen wie Arbeitsausfall sichtbar machen. Im Gegensatz dazu stellen die Virenkonzentration im Abwasser zunächst ein Abstraktum dar. Die Forschenden des Fraunhofer ITWM konnten jedoch einen Skalierungsfaktor und einen Zeitversatz bestimmen, um von der Virenkonzentration auf die Prävalenz zu schließen und somit der Virenlast eine fassbare Bedeutung zu geben. Obwohl die Prävalenzstudie SentiSurv inzwischen abgeschlossen ist, werden die Viruslasten im Abwasser weiterhin erhoben und können dank dieser Forschungsarbeit nun gut interpretiert werden.

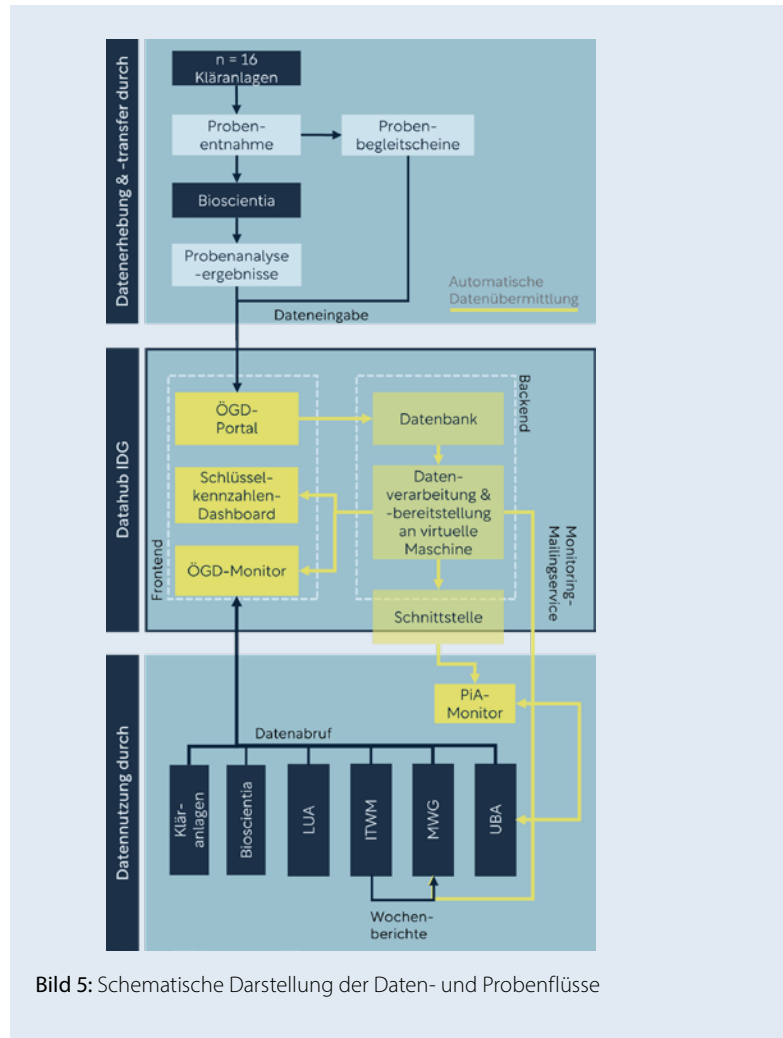


Bild 5: Schematische Darstellung der Daten- und Probenflüsse

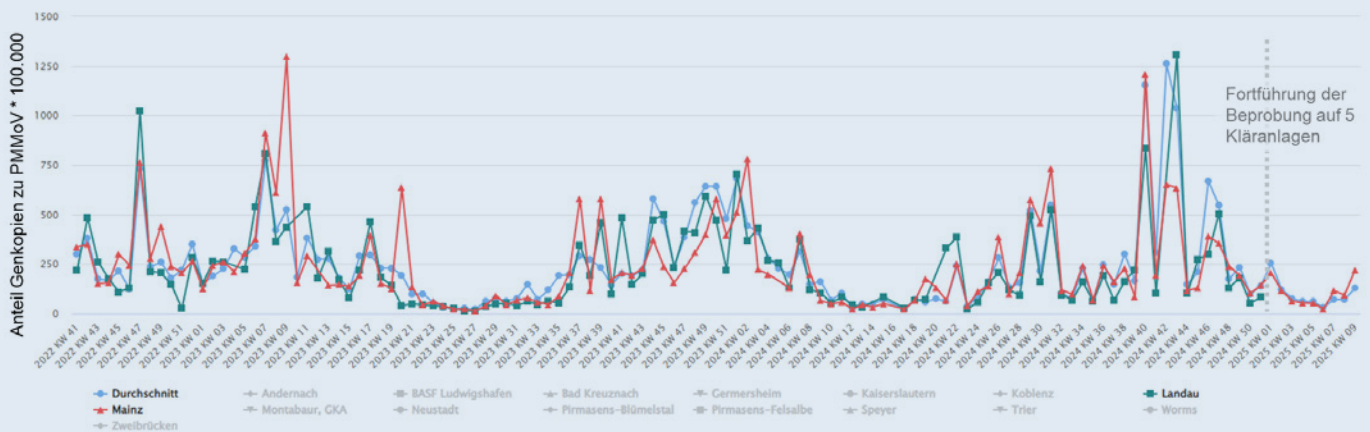


Bild 6: Screenshot der Dashboard-Visualisierung des IDG (ÖGD-Monitor). Man erkennt den synchronen Verlauf der Corona-Wellen in RLP.

Um eine stark streuende Zeitreihe wie die Viruslast zwei Wochen in die Zukunft zu extrapolieren oder sie mit einer akkurateren Zeitreihe zu verknüpfen, genügt normalerweise eine Glättung. Entsprechende Ansätze haben sich jedoch als mäßig erfolgreich erwiesen [15]. Daher wurde ein speziell zugeschnittenes epidemiologisches Modell entwickelt und an die gemessenen Prävalenzen und Virenlasten angepasst. Dies garantiert, dass die interpolierenden Kurven einer plausiblen Ausbreitungsdynamik folgen. Das Modell berücksichtigt insbesondere eine ansteigende Immunität und kann so aus einem aktuell beobachteten Anstieg den zukünftigen Scheitelpunkt einer Infektionswelle vorhersagen. Es basiert auf gekoppelten Differentialgleichungen für die Kohorten neu Infizierter und Immunisierter. Eine ausführliche Beschreibung dieser Analyse findet sich in [16]. Für die Vergleichbarkeit verschiedener Kläranlagen ist es wichtig, die Gesamtzahl der gefundenen Viruspartikel zu normieren. Die bestehende Literatur nennt als geeignete Methoden oft die Durchflusnormierung oder die Normierung mithilfe eines Biomarkers, definiert aber noch keinen Goldstandard. Bei der Durchflusnormierung wird die relative Virusmenge (der Durchschnitt der identifizierten N1 und N2 Abschnitte pro Liter) mit dem Abwasserdurchsatz multipliziert; ein Biomarker (in

diesem Fall das PMMoV-Virus) lässt auf den Anteil menschlicher Ausscheidungsmengen zurückschließen. Die PMMoV-basierte Normierung hat sich als stabiler für die Vorhersagequalität herausgestellt. Die Autor:innen empfehlen, leitfadengemäß, die Probenahme einheitlich und volumenbasiert durchzuführen und den Zerfall von Viren z. B. durch Wärme und Strahlung zu berücksichtigen. Eine besondere Herausforderung stellt außerdem die frühzeitige Bestimmung eines Trends bei großen, unbekanntem Vertrauensbereichen um die gemessenen Viruslasten dar, die zu starken Schwankungen führen.

Die Wochenberichte des Fraunhofer ITWM enthielten eine deskriptive Analyse der Abwasserwerte, wobei ein einwohnergewichteter Durchschnitt aller Kläranlagenwerte für beide Normierungsarten berechnet und im Zeitverlauf visualisiert wurde. Zur besseren Identifizierung von Trends wurde eine geglättete Kurve durch das LOESS-Verfahren erzeugt und zusammen mit dem 95 %-Konfidenzintervall (grauer Bereich) abgebildet. Ein Beispiel findet sich in Bild 7. Die relativen Änderungen der Wochenmittel wurden kartografisch dargestellt. Für die Prognose wurden die Abwassermessdaten und die modellierten Werte den SentiSurv-Studiendaten und den Hospitalisierungsdaten gegenübergestellt, wobei die Modellzeitreihen um

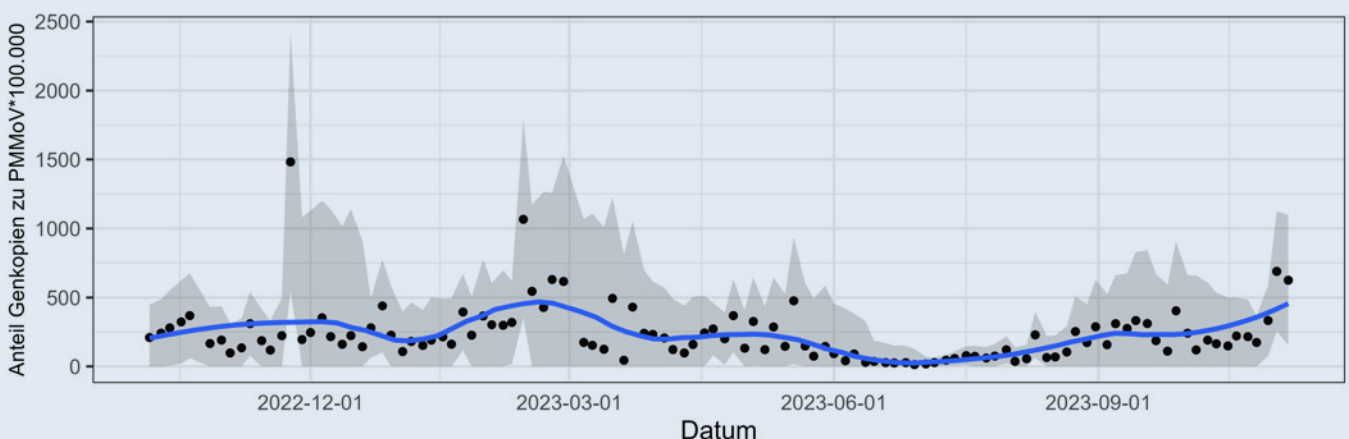


Bild 7: Visualisierung der einwohnergewichtet gemittelten und normierten Virenlasten aller 16 Kläranlagen inklusive LOESS-Glättung aus Wochenbericht der KW 45/2023.

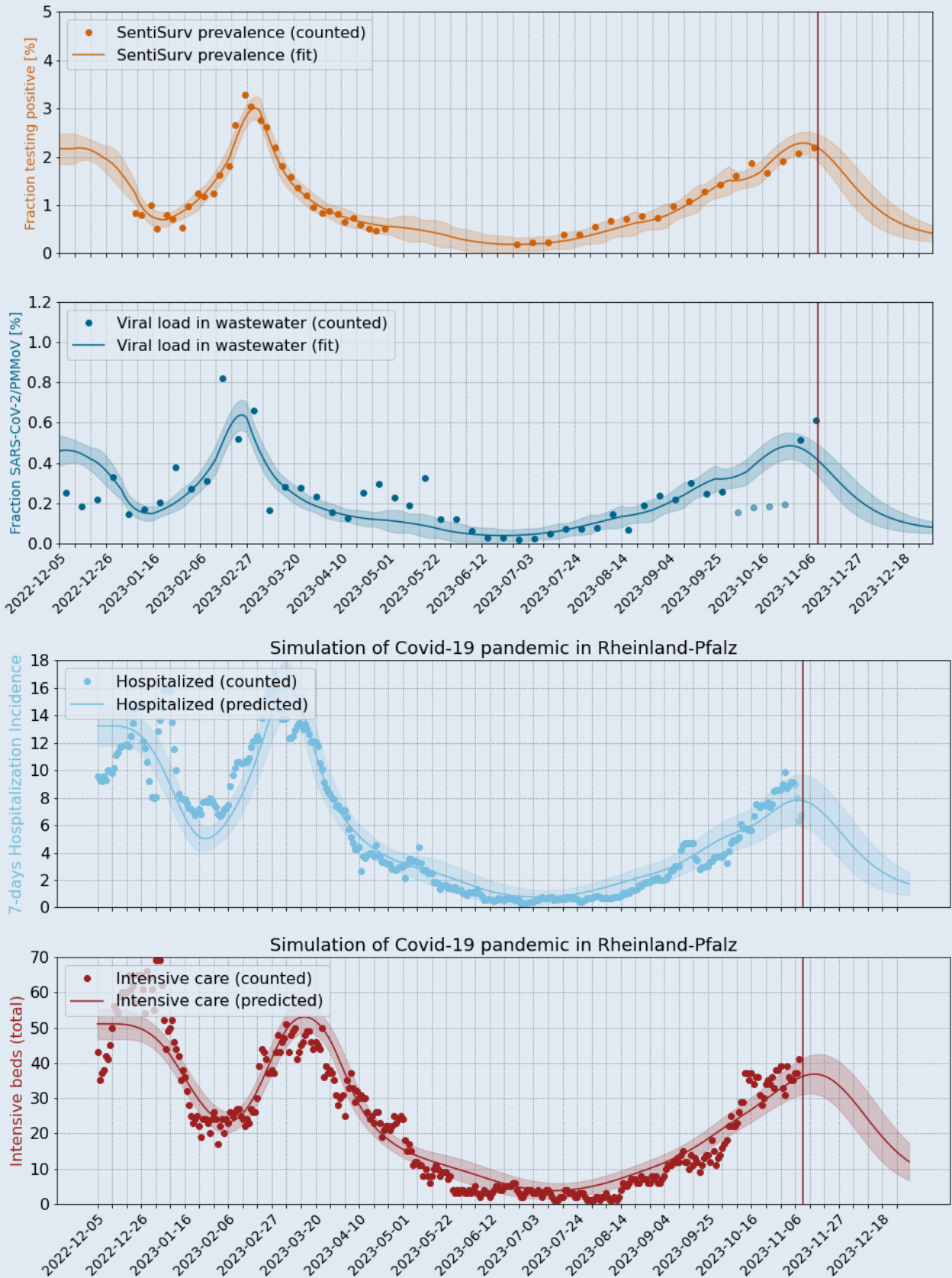


Bild 8: Ausschnitte aus Wochenbericht der KW 45/2023. Die Abbildungen zeigen jeweils den berücksichtigten Datenstand (counted), gemittelt über alle Standorte und die Proben einer Woche, und den Fit (predicted), der rechts von der roten Linie als Vorhersage genutzt wird. Durch die Modellierung des Immunisierungsgrads der Bevölkerung wird hier eine Trendumkehr prognostiziert, die in den Rohdaten noch nicht ersichtlich ist.

den Prognosezeitraum verlängert wurden. Zur Veranschaulichung der Güte der Datenanpassung wurde ein 2σ -Unsicherheitsschlauch in die Diagramme eingefügt (siehe Bild 8). Bei der Auswertung der gefundenen Varianten wurden die jeweils relevantesten Familien bestimmt und deren Häufigkeit im Zeitverlauf präsentiert. Alle Grafiken wurden um wissenschaftliche Einordnungen und Kommentare ergänzt, um die Interpretation für Fachfremde zu erleichtern.

7 Fazit

Das Projekt zur Abwasserüberwachung in Rheinland-Pfalz verfolgt das Ziel, Infektionsausbrüche frühzeitig zu erkennen und liefert wertvolle Daten für die Public-Health-Forschung. Diese Informationen können genutzt werden, um gezielte und regional abgestimmte Maßnahmen zur Eindämmung und Verhinderung von Infektionsausbrüchen sowie deren Folgen zu ergreifen und die Wirksamkeit dieser Maßnahmen zu messen. Zu den zentralen Erkenntnissen zählen die Notwendigkeit einer engen, interdisziplinären Zusammenarbeit sowie die Herausforderungen bei der Standardisierung der Methoden. Eine Fortführung dieser Kooperationen und die Etablierung eines langfristig finanzierten Systems würden im Falle zukünftiger Pandemien eine Hochskalierung der Systeme erheblich erleichtern.

Danksagung

Die Autor:innen möchten allen an dem Projekt beteiligten Personen für ihr Engagement danken. Ein besonderer Dank geht auch an das Ministerium für Wissenschaft und Gesundheit für die Initiative und Förderung des Projekts.

Literatur

- [1] Metcalf TG, Melnick JL, Estes MK (1995) 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* 49:461–487. <https://doi.org/10.1146/annurev.mi.49.100195.002333>
- [2] Westhaus S, Weber F-A, Schiwy S et al. (2021) Detection of SARS-CoV-2 in raw and treated wastewater in Germany - Suitability for COVID-19 surveillance and potential transmission risks. *Sci Total Environ* 751:141750. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141750>
- [3] Breulmann M, Kallies R, Bernhard K et al. (2023) A long-term passive sampling approach for wastewater-based monitoring of SARS-CoV-2 in Leipzig, Germany. *Sci Total Environ* 887:164143. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164143>
- [4] Mitranescu A, Uchaikina A, Kau A-S et al. (2022) Wastewater-Based Epidemiology for SARS-CoV-2 Biomarkers: Evaluation of Normalization Methods in Small and Large Communities in Southern Germany. *ACS ES T Water* 2:2460–2470. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.2c00306>
- [5] Wilhelm A, Schoth J, Meinert-Berning C et al. (2022) Wastewater surveillance allows early detection of SARS-CoV-2 omicron in North Rhine-Westphalia, Germany. *Sci Total Environ* 846:157375. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157375>
- [6] Agrawal S, Orschler L, Lackner S (2021) Long-term monitoring of SARS-CoV-2 RNA in wastewater of the Frankfurt metropolitan area in Southern Germany. *Sci Rep* 11:5372. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84914-2>
- [7] Naughton CC, Roman FA, Alvarado AGF et al. (2023) Show us the data: global COVID-19 wastewater monitoring efforts, equity, and gaps. *FEMS Microbes* 4:xtad003. <https://doi.org/10.1093/femsmc/xtad003>
- [8] (2021) Empfehlung (EU) 2021/472 der Kommission vom 17. März 2021 über einen gemeinsamen Ansatz zur Einführung einer systematischen Überwachung von SARS-CoV-2 und seinen Varianten im Abwasser in der EU

- [9] Gogoi G, Singh SD, Kalyan E et al. (2024) An interpretative review of the wastewater-based surveillance of the SARS-CoV-2: where do we stand on its presence and concern? *Front Microbiol* 15:1338100. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1338100>
- [10] Projektträger Karlsruhe (2021) Pilotphase zum Nachweis von SARS-CoV-2 im Abwasser – ESI-CorA. https://www.ptka.kit.edu/img/Projektblatt_ESI-CorA.pdf. Accessed 22 Apr 2025
- [11] Projektträger Karlsruhe (2023) Corona-Abwasser-Surveillance – Aus der Forschung in die Routineanwendung: Gesamtheitliche Bewertung vorliegender Befunde des SARS-CoV-2 Abwassermonitorings für die Pandemiebewertung in Nordrhein-Westfalen. https://www.fiw.rwth-aachen.de/fileadmin/user_upload/Bilder/Referenzen/COVIDready/2023-08_Factsheet_Covid_Ready_de.pdf. Accessed 22 Apr 2025
- [12] Robert Koch Institut (2025) AMELAG: Abwassermonitoring für die epidemiologische Lagebewertung: Überwachung von SARS-CoV-2, Influenzaviren, RSV und anderen Erregern im Abwasser. <https://www.rki.de/DE/Themen/Forschung-und-Forschungsdaten/Sentinel-Surveillance-Panel/Abwassersurveillance/Abwassersurveillance.html>. Accessed 22 Apr 2025
- [13] Umweltbundesamt (2024) AMELAG Abwassermonitoring für die epidemiologische Lagebewertung. <https://www.umweltbundesamt.de/amelag>. Accessed 28 Apr 2025
- [14] Baumkötter R, Yilmaz S, Schmidt A et al. (2024) An app-based surveillance and early warning system for SARS-CoV-2 infections in Rhineland-Palatinate (SentiSurv RLP). German Medical Science GMS Publishing House. Gesundheit – gemeinsam. Kooperationstagung der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie (GMDS), Deutschen Gesellschaft für Sozialmedizin und Prävention (DGSM), Deutschen Gesellschaft für Epidemiologie (DGEpi), Deutschen Gesellschaft für Medizinische Soziologie (DGMS) und der Deutschen Gesellschaft für Public Health (DGPH). <https://doi.org/10.3205/24gmds720>
- [15] Pilz M, Küfer K-H, Mohring J et al. (2023) Statistical analysis of three data sources for Covid-19 monitoring in Rhineland-Palatinate, Germany
- [16] Mohring J, Leithäuser N, Wlazlo J et al. (2024) Estimating the COVID-19 prevalence from wastewater. *Sci Rep* 14:14384. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64864-1>

Autor:innen

Dr. Neele Leithäuser (Korrespondenzautorin)

Dr. Jan Mohring

Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik
Fraunhofer-Platz 1,
67663 Kaiserslautern

Melissa Schoeps

Dr. Lukas Mittnacht

IDG Institut für digitale Gesundheitsdaten RLP gGmbH
Hechtsheimer Straße 37,
55131 Mainz

Uta Küsters

Bioscientia Healthcare GmbH
Konrad-Adenauer-Straße 17, 55218 Ingelheim

Hanane Nadi-Adraoui

Wirtschaftsbetrieb Mainz AöR
Industriestraße 70, 55120 Mainz

Dennis Schober

Entsorgungs- und Wirtschaftsbetrieb Landau AöR
Georg-Friedrich-Dentzel-Straße 1, 76829 Landau in der Pfalz