

Das Potenzial eines institutionalisierten Frühwarnsystems für Pandemien in der Schweiz

Eine ökonomische Nutzen- Kosten-Analyse



Eine Studie des Think-Tanks Pour Demain unter
Mitwirkung von Eraneos und INFRAS

An aerial photograph of a Swiss lake with a small village on the shore. The water is a vibrant blue, and the surrounding mountains are lush green. The sky is filled with soft, white clouds. The village features traditional Swiss houses with dark roofs. Several small boats are visible in the water near the shore.

Management Summary

Die Investition eines Frankens in die Früherkennung und Überwachung einer Pandemie führt im Schnitt zu einem Nutzen von vier bis 129 Franken für die Schweiz. Dies ist das Ergebnis der vorliegenden Nutzen-Kosten-Analyse des Think-Tanks Pour Demain mit Unterstützung der Forschungsbüros Eraneos und INFRAS.

Die Studie quantifiziert nur einen kleinen Teil des tatsächlichen Nutzens, nämlich die vermiedenen menschlichen und wirtschaftlichen Schäden in einer ersten Pandemiewelle. Der eigentliche Wert eines Pandemiefrühwarnsystems ist folglich um ein Vielfaches höher. Die nächste Pandemie ist nur eine Frage der Zeit. Zudem hat eine verstärkte Überwachung von Erregern auch unmittelbare Public

Health-Vorteile ausserhalb einer Pandemie (z.B. Überwachung von Antibiotikaresistenzen).

Das Frühwarnsystem der Schweiz ist deshalb möglichst zeitnah zu stärken und zu institutionalisieren, u.a. mit einer Erweiterung des Abwassermonitorings und einer regelmässigen Sequenzierung von Erregern aus Spitälern, Arztpraxen und Abwasser.

Mehr als drei Jahre nach Ausbruch der COVID-19-Pandemie ist das Thema Pandemievorsorge in der Schweiz im Zuge aktuellerer Krisen etwas in Vergessenheit geraten. Die gegenwärtigen Debatten um die Schuldenbremse und das u.a. COVID-19-bedingte Haushaltsdefizit haben aber die hohen wirtschaftlichen Schäden, die mit einer Pandemie einhergehen, wieder

Investition

1 CHF

Nutzen

4 CHF

COVID-19-
Szenario

65 CHF

“Starke”
Pandemie

129 CHF

“Extreme”
Pandemie

in Erinnerung gerufen und verdeutlichen die Wichtigkeit, solche Schäden bei Ausbruch einer neuen Pandemie künftig zu verringern. Ferner wird das ganze Ausmass menschlicher Verluste erst jetzt langsam sichtbar: Eine Studie kommt zu dem Schluss, dass COVID-19 in der Schweiz nach der Grippepandemie 1918 die zweitgrösste Katastrophe in Bezug auf die Sterblichkeit darstellt.¹ Ferner zeigt die erstmals seit COVID-19 vorliegende offizielle Spitalstatistik für die ersten beiden Jahre der Pandemie, dass in diesem Zeitraum insgesamt 72'605 Personen wegen COVID-19 hospitalisiert werden mussten² – fast doppelt so viele wie ursprünglich vom Bundesamt für Gesundheit BAG gemeldet.³

Die Schweiz verfügt über wirkungsvolle klinische Systeme zur Früherkennung und Überwachung von übertragbaren Krankheiten und hat im Zuge der Pandemie ein Monitoring des Abwassers sowie ein Programm zur Sequenzierung von Einzelfällen zur genomischen Überwachung von SARS-CoV-2 aufgebaut. Die Sequenzierungsdaten konnten über eine gemeinsame zentrale Datenbank – die Swiss Pathogen Surveillance Platform – koordiniert, analysiert und mit den Gesundheitsbehörden, wie etwa dem BAG, geteilt werden. Dies erlaubte, (i) das Auftreten neuer Varianten (engl. *variants of concern*, VOCs) frühzeitig zu erkennen und abzuschätzen, ob die Ansteckung erhöht und der Impfschutz der Bevölkerung gefährdet ist. Des

Weiteren (ii) konnten die Fallzahlen und die Dynamik der Pandemieentwicklung mit epidemiologisch-mathematischen Modellen prognostiziert werden, was die Ansteckungsrate und zu erwartende Fallbelastung der folgenden Wochen betraf. Diese wichtigen Komponenten der Früherkennung und Überwachung von Infektionskrankheiten, im Folgenden als «Frühwarnsystem» bezeichnet, sind eine ausgezeichnete Grundlage, um hohe menschliche und wirtschaftliche Verluste, die aufgrund einer zukünftigen Pandemie in noch grösseren Umfang entstehen könnten, zu verringern und bestenfalls gänzlich zu vermeiden. Ferner ermöglicht eine bessere Datengrundlage auch eine effizientere Planung für Spitäler und Labore, z.B., um logistische Engpässe besser abschätzen und vermeiden zu können. Damit ein Frühwarnsystem für künftige Pandemien funktionieren und gefährliche Erreger frühzeitig erkennen kann, muss es sowohl regelmässig in Betrieb sein, d.h. institutionalisiert werden, als auch weitere, potenziell pandemische Erreger erkennen und laufend überwachen können.

Die vorliegende Studie betrachtet die Institutionalisierung eines gestärkten Pandemie-Frühwarnsystems; darunter fallen:

1. Kontinuierliche Überwachung von fünf Erregern mit dem grössten Pandemie-Potential in 50 Abwasserreinigungsanlagen (ARA) sowie kurzfristige Skalierung auf 100 ARA im Pandemiefall in der gesamten Schweiz
2. Kontinuierliche Sequenzierung von fünf Erregern aus unterschiedlichen Quellen (Spitäler, Arztpraxen, Abwasser)
3. Datenprozessierung, -management, -analyse & -interpretation für Massnahmenverordnung

Die Nutzen-Kosten-Analyse eines solchen Systems zeigt, dass sich die Investition in ein institutionalisiertes Pandemie-Frühwarnsystem in der Schweiz ausserordentlich lohnt.

1. Unter konservativen Annahmen ergibt sich im Falle einer Pandemie ein Nutzen von einer bis rund 31 Milliarden Franken.
2. Damit ist der Nutzen vier bis maximal 129-mal höher als die damit verbundenen Kosten.
3. Bei einer COVID-19-ähnlichen Pandemie erzielt jeder investierte Franken einen Nutzen von rund vier Franken, bei extremen Pandemieszenarien sogar bis zu 129 Franken.
4. Da die Studie nur einen kleinen Teil des Nutzens rechnerisch abbildet, kann davon ausgegangen werden, dass der tatsächliche Nutzen um ein Vielfaches höher ausfällt.

DIE SCHWEIZ VERFÜGT ÜBER EINE AUSGEZEICHNETE GRUNDLAGE, UM EIN FRÜHWARNSYSTEM FÜR PANDEMIEEN ZU INSTITUTIONALISIEREN. DASS DIES LOHNENSWERT IST, ZEIGT DIE NUTZEN-KOSTEN-ANALYSE DIESER STUDIE.

Quellenangaben

1 Staub et al. 2022.

2 Hospitalisierungen mit einer Covid-19-Diagnose, 2020 und 2021, BFS: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/aktuell/neue-veroeffentlichungen.gnpdetail.2022-0165.html> (12.12.2022).

3 Zeitungsartikel Tagesanzeiger, 8.12.2022: <https://www.tagesanzeiger.ch/neue-daten-zeigen-covid-hospitalisierte-massiv-unterschaetzt-291801432342>.



Impressum

Projektleitung: Pour Demain

Daria Zanni, Projektleitung Inhalte
Daniel Staudenmann, Projektmitarbeit Inhalte
Patrick Stadler, Gesamtprojektleitung

Externe Projektbearbeitung: Eraneos

Dr. Sophia Ding, externe Projektleitung für Kapitel 5.1 Kostenstruktur und Kapitel 6 Volkswirtschaftlicher Nutzen, Managing Consultant
Belinda Müller, Consultant

Externe Projektbearbeitung: INFRAS

Anna Vettori, Unterstützung und Inputs zu den Kapiteln 4.2.2 Schätzung potenzieller Infektionen und 6.3.3 Nutzenberechnung in sechs Schritten sowie zum Design der qualitativen Befragung, Projektleiterin
Beatrice Ehmann, wissenschaftliche Beraterin

Involvierte Fachpersonen

Fachpersonen aus der Verwaltung und Wissenschaft wurden in die Studie einbezogen, siehe Kapitel 2 Datenerhebung

Projektsteuerung

Ralph Baumgartner, Head of Healthcare Eraneos
Thomas von Stokar, Geschäftsleiter INFRAS
Laurent Bächler, Programmleitung Biosicherheit Pour Demain

Pour Demain ist ein gemeinnütziger Think-Tank, der sich für eine sichere und positive Zukunft für unsere Kinder, Grosskinder und deren Nachkommen einsetzt. Biosicherheit und Pandemievorsorge gehören zu den Schwerpunkten. Pour Demain engagiert sich für eine wirkungsvolle und wissenschaftlich fundierte Politik
www.pourdemain.ch

INFRAS ist ein 1976 gegründetes Schweizer Forschungs- und Beratungsunternehmen
www.infras.ch

Eraneos Group ist eine internationale Management-& Technologieberatungsgruppe, die Dienstleistungen von Strategie bis Implementierung anbietet. Sie ist aus dem Zusammenschluss von Ginkgo Management Consulting, Quint Group und AWK Group hervorgegangen
www.eraneos.ch

Inhaltsverzeichnis

Management Summary	2	6. Volkswirtschaftlicher Nutzen des institutionalisierten Frühwarnsystems	46
1. Einleitung	10	6.1. Wirkungsmodell Nutzen	46
2. Datenerhebung	16	6.1.1. Nutzen durch Abwassermonitoring	46
3. Institutionalisiertes Frühwarnsystem für Pandemien	18	6.1.2. Nutzen durch Sequenzierung von Abwasser- und Patientenproben	49
3.1 Definition institutionalisiertes Frühwarnsystem	18	6.1.3. Datenprozessierung, -management, -analyse & -interpretation für Massnahmenverordnung	50
3.2 Definition normale und besondere/ausserordentliche Lage	21	6.2. Enge Nutzendefinition für quantifizierbare Aussagen	50
3.2.1. Normale Lage	22	6.3. Schätzung des Nutzens	52
3.2.2 Besondere/ausserordentliche Lage	22	6.3.1. Zeitfaktor	53
3.2.3 Berücksichtigung der Lagen in der Nutzen-Kosten-Bilanz	22	6.3.2. Entscheid über Massnahmen und Umsetzung	53
3.3 Zuständigkeiten	23	6.3.3. Nutzenberechnung in sechs Schritten	53
4. Vorannahmen Kosten- und Nutzenmodell	26	6.4. Nutzen des Abwassermonitorings vs. Nutzen der Sequenzierung/weiterer Aspekte des Frühwarnsystems	60
4.1 Zeithorizont mittels Wiederkehrperiode einer Pandemie	26	6.5. Gesamtnutzen Frühwarnsystem	61
4.2. Schadensszenarien	27	6.5.1. Nutzen bei fünf Tage früherer Massnahmenverordnung	61
4.2.1. Schadenswerte COVID-19	27	6.5.2. Nutzen bei zehn Tage früherer Massnahmenverordnung	63
4.2.2. Schätzung potenzieller Infektionen einer zukünftigen Pandemiewelle mit der Renewal-Equation Formel	28	6.6. Aussagekraft der Quantifizierung	64
4.2.3. Schadenswerte «starke» Pandemie	31	7. Synthese und Beurteilung der Nutzen-Kosten-Bilanz	66
4.2.4. Schadenswerte «extreme» Pandemie	31	8. Fazit & Empfehlungen	70
4.3. Erweiterung des Frühwarnsystems & Baseline	32	9. Bibliografie	77
4.4. Wahrscheinlichkeit der Detektion einer Pandemie	32	A. Anhang	84
4.5. Parameter lagespezifische Szenarien	33	A.1. Grundlagendaten Nutzenberechnung	84
5. Kosten des institutionalisierten Frühwarnsystems	40	A.2. Grundlagendaten Kostenberechnung (Jährliche Kosten)	86
5.1. Kostenstruktur	40	B. Verzeichnisse	87
5.1.1. Kosten Abwassermonitoring	40	B.1. Abbildungsverzeichnis	87
5.1.2. Kosten Sequenzierung	41	B.2. Tabellenverzeichnis	87
5.1.3. Datenprozessierung, -management, -analyse & -interpretation für Massnahmenverordnung	42		
5.2. Gesamtkostenschätzung Frühwarnsystem	43		

1.

Einleitung

dar.⁸ Die Pandemie liess ferner die globale Armutsquote⁹ sowie die Ungleichheit – auch in der Schweiz – ansteigen, weil vor allem Haushalte mit niedrigem Einkommen stark unter der Corona-Krise litten¹⁰.

Die zahlreichen negativen Auswirkungen von COVID-19 unterstreichen die Wichtigkeit, Pandemien¹¹ möglichst zu verhindern oder zumindest abzufedern – einerseits aufgrund der drohenden gesundheitlichen Verluste, andererseits aufgrund der wirtschaftlichen und damit einhergehenden sozialen Schäden. Weitere Pandemien sind aufgrund unterschiedlicher Faktoren sehr wahrscheinlich. Beispielsweise leben bereits heute 56 % der Weltbevölkerung in Städten, bis 2050 werden es zwei Drittel sein.¹² Die Bevölkerungsdichte und die damit verbundene Mobilität sind starke Risikofaktoren und begünstigen die rasche Transmission von infektiösen Krankheitserregern. Historisch betrachtet treten drei bis vier Pandemien pro Jahrhundert auf, die mehr als eine Million Tote verursachen – 1889, 1918, 1957, 1968 und 2019¹³ – oder anders gesagt: In den letzten 100 Jahren traten vier Influenza-Pandemien im Abstand von 15 bis 30 Jahren auf.¹⁴ Wenn man bedenkt, dass auch HIV/AIDS, Cholera und Tuberkulose als Pandemien definiert sind, die aktuell stattfinden, dürfte die Wahrscheinlichkeit für neue Pandemien, insbesondere für Pandemien mit ähnlich hohem Schadensausmass wie die COVID-19-Pandemie, deutlich grösser sein als

bisher angenommen.¹⁵ Forschende am *Global Health Institute der Duke University* kommen zu dem Schluss, dass die jährliche Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer COVID-ähnlichen Pandemie bei ca. 2 % liege und sich in den kommenden Jahrzehnten verdoppeln könne.¹⁶ Forschende des Startups *Metabiota*, das auf die Sammlung globaler Daten zur Prognostizierung von Krankheitsausbrüchen spezialisiert ist, schätzen jährlich gesehen die Wahrscheinlichkeit des Eintritts einer COVID-ähnlichen Pandemie auf ca. 2,5-3,3 % bzw. auf ca. 50 % in den nächsten 25 Jahren.¹⁷ Eine Analyse der historischen Daten über die Häufigkeit und geografische Verteilung von Epidemien deutet ferner darauf hin, dass die nächste Pandemie sogar verheerendere Folgen haben könnte als COVID-19: Häufigkeit und Schweregrad von Infektionskrankheiten, die direkt vom Wildtierwirt auf den Menschen übertragen werden, nehmen stetig zu.¹⁸

Mithilfe der Früherkennung und Überwachung von Krankheitserregern lassen sich hohe gesundheitliche und volkswirtschaftliche Schäden verringern, da wichtige epidemiologische Informationen früher und detaillierter vorliegen und Entscheide auf Regierungsebene zur Eindämmung einer Pandemie früher und gezielter getroffen werden können. Forschende des *Imperial College London* haben berechnet, dass durch Investitionen in die Pandemievorbereitung im Durchschnitt je nach Land zwischen ca. 50 und 125

Todesfälle pro 100'000 Einwohner:innen verhindert werden können. Jeder investierte US-Dollar würde also zu einem Gewinn von ca. 2'800 US-Dollar führen (gesundheitlicher plus volkswirtschaftlicher Nutzen).¹⁹ Ferner zeigt eine Studie des Beratungsunternehmens *McKinsey & Company*, dass in den nächsten Jahren global ca. fünf US-Dollar pro Person ausreichen würden, um die Wahrscheinlichkeit der nächsten Pandemie erheblich zu verringern.²⁰ Insgesamt bestehen jedoch wenige ökonomische Studien zur Pandemievorbereitung.

Die Lehren aus der Pandemie sind weltweit – auch in der Schweiz – im Schatten des Ukraine-Krieges sowie dessen globalen Auswirkungen und seit Aufhebung der «besonderen Lage» in der COVID-19-Verordnung aus dem Fokus gerückt. Die Schweiz hat jedoch dank ihrer Fortschritte im Zuge der Bewältigung von COVID-19 ideale Voraussetzungen, um das schädliche Muster von Panik und Vernachlässigung in Pandemien zu antizipieren und zu vermeiden²¹. Sie hat bereits Elemente eines Frühwarnsystems für die Überwachung von SARS-CoV-2 aufgebaut und teilweise für andere Erreger institutionalisiert:

- **Meldesysteme:** Die Schweiz verfügt über etablierte Meldesysteme klinischer und laboranalytischer Befunde von Infektionskrankheiten, die sich bewährt haben (vgl. [Kapitel 3.1](#)).²²
- **SARS-CoV-2 Abwassermonitoring:** Während der Pandemie hat das BAG gemeinsam mit Partnerorganisationen ein [Abwassermonitoring](#) zur Überwachung von SARS-CoV-2 aufgebaut, dessen längerfristige Weiterführung allerdings unklar bleibt.
- **Genomisches Überwachungsprogramm für SARS-CoV-2:** Die genetische Überwachung von SARS-CoV-2 ist ein wesentlicher Bestandteil der Kontrolle der COVID-19-Pandemie.²³ Die Sequenzierung des viralen Genoms ermöglicht die Aufschlüsselung der Informationen des Erbguts eines Krankheitserregers mit höchster Auflösung und erlaubt so, problematische Varianten (sogenannte «variants of concern», VOC) einfach und rasch zu erkennen. Die längerfristige Weiterführung bleibt unklar.
- **Digitale Plattformen:** Mit dem [COVID-19-Dashboard](#) und der [Swiss Pathogen Surveillance Platform](#) verfügt die Schweiz über digitale Instrumente zur Datenprozessierung, zum Datenmanagement, zur Datenanalyse und -interpretation sowie zur Visualisierung von Pathogenen. Ferner arbeitet das BAG daran, ein nationales Informationsportal für ansteckende Krankheiten (EPI) aufzubauen, das über Daten zu SARS-CoV-2 hinausgehen soll. Die längerfristige Weiterführung der SPSP ist unklar.

Diese wichtigen Elemente eines Frühwarnsystems, die sich momentan hauptsächlich auf den SARS-CoV-2-Erreger beschränken, zu erweitern und institutionalisieren, ist sinnvoll. Damit kann die Schweiz künftig sowohl COVID-19-Infektionswellen als auch andere auftretende Epidemien und Pandemien frühzeitig eindämmen. Dies bedingt im Kontext der digitalen Plattformen nicht nur einen koordinierten und schnellen Datenaustausch in der Schweiz, sondern auch die Verknüpfung mit internationalen und europäischen Datenbanken.

Gleichzeitig gilt es zu betonen, dass **ein Früherkennungssystem für Pandemien nur eines von mehreren wichtigen Instrumenten** darstellt, damit die Schweiz besser auf die nächste Pandemie vorbereitet ist. Der Think-Tank Pour Demain engagiert sich für weitere effektive Massnahmen in der Wirkungskette *Prevent, Detect, Respond*.²⁴



Quellenangaben

- 4 Our World in Data: https://ourworldindata.org/explorers/coronavirus-data-explorer?facet=none&Metric=Confirmed+deaths&Interval=Cumulative&Relative+to+Population=false&Color+by+test+positivity=false&country=~OWID_WRL (10.01.2023).
- 5 Covid-19 Schweiz, BAG: <https://www.COVID19.admin.ch/de/overview> (12.12.2022).
- 6 Bundesschulden, EFD: <https://www.efd.admin.ch/efd/de/home/finanzpolitik/bundesschulden.html#:~:text=Die%20Corona%2DPandemie%20macht%20hohe,von%2025%2D30%20Milliarden%20Franken> (12.12.2022); Artikel SRF, 8.6.2022: <https://www.srf.ch/news/schweiz/finanzhaushaltsgesetz-nationalrat-streitet-ueber-den-abbau-der-coronaschulden> (12.12.2022).
- 7 Städteverband, COVID-19 schlägt hohe Wellen in den öffentlichen Haushalten: <https://staedteverband.ch/cmsfiles/pwc.pdf?v=20221005091253> (12.12.2022).
- 8 Exkurs: Corona-Krise – Auswirkungen auf das BIP im internationalen Vergleich, SECO: https://www.seco.admin.ch/dam/seco/de/dokumente/Wirtschaft/Wirtschaftslage/Konjunkturtendenzen/kt_2021_03_exkurs_bip_corona.pdf.download.pdf/KT_2021_03_Exkurs_BIP_Corona.pdf (10.01.2023).
- 9 World Bank Blogs: <https://blogs.worldbank.org/developmenttalk/COVID-19-leaves-legacy-rising-poverty-and-widening-inequality#:~:text=About%2097%20million%20more%20people,less%20than%20%245.50%20a%20day> (10.01.2023).
- 10 ETH Zürich, KOF: <https://kof.ethz.ch/news-und-veranstaltungen/medien/medienmitteilungen/2021/02/corona-krise-verschaerft-ungleichheit-in-der-schweiz.html> (12.12.2022).
- 11 Unter «Pandemie» versteht die Studie gemäss Begriffsdefinition vom Robert Koch Institut «eine neu, aber zeitlich begrenzt in Erscheinung tretende, weltweite starke Ausbreitung einer Infektionskrankheit mit hohen Erkrankungszahlen und i.d.R. auch mit schweren Krankheitsverläufen»: https://www.rki.de/DE/Content/Service/Publikationen/Fachwoerterbuch/Infektionsschutz.pdf?__blob=publicationFile (12.12.2022).
- 12 The World Bank, Urban Development: www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview (12.12.2022).
- 13 Asterisk: <https://asteriskmag.com/issues/1/how-to-prevent-the-next-pandemic> (12.12.2022).
- 14 European Commission, Horizon, The EU Research & Innovation Magazine: <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/qa-future-pandemics-are-inevitable-we-can-reduce-risk> (12.12.2022).
- 15 Marani et al. 2021.
- 16 Ibid.
- 17 Center for Global Development, The Next Pandemic Could Come Soon and Be Deadlier: <https://www.cgdev.org/blog/the-next-pandemic-could-come-soon-and-be-deadlier> (12.12.2022).
- 18 Ibid.
- 19 Center for Global Development, What is the Return on Investment of Pandemic Preparedness?: <https://www.cgdev.org/event/what-return-investment-pandemic-preparedness> (12.12.2022).
- 20 McKinsey & Company: <https://www.mckinsey.com/industries/public-and-social-sector/our-insights/not-the-last-pandemic-investing-now-to-reimagine-public-health-systems> (12.12.2022).

- 21 CEPI: https://cepi.net/wp-content/uploads/2021/11/CEPI-Investment-Case-German_MARCH2021.pdf, S. 9 (21.01.2023); The World Bank: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/979591495652724770/pdf/115271-REVISED-FINAL-IWG-Report-3-5-18.pdf> (12.12.2022).
- 22 Infektionskrankheiten, BAG: <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/krankheiten/infektionskrankheiten-bekaempfen/meldesysteme-infektionskrankheiten.html> (12.12.2022).
- 23 Medienmitteilung 28.05.2021, BAG: [https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-83732.html#:~:text=Nextstrain%20\(https%3A%2F%2Fnextstrain.org,Screening%20nach%20neuen%20Varianten%20zust%C3%A4ndig](https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-83732.html#:~:text=Nextstrain%20(https%3A%2F%2Fnextstrain.org,Screening%20nach%20neuen%20Varianten%20zust%C3%A4ndig) (12.12.2022).
- 24 Vgl. Empfehlungen Biosicherheit von Pour Demain: <https://www.pourdemain.ch/blog>.



2.

Datenerhebung

Für die Studie hat die Autor:innenschaft Fachpersonen aus Behörden, Wissenschaft und dem Gesundheitssektor mündlich und/oder schriftlich befragt. In alphabetischer Reihenfolge handelt es sich um folgende Personen:

DR. PD CHRISTIAN ALTHAUS

Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Bern, Epidemiologe und Leiter der Forschungsgruppe INPUT – Interfaculty Platform for Data and Computational Science

DR. NICOLAS BANHOLZER

Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Bern, Postdoctoral Research Fellow

VALERIE BARBIE

Swiss Institute of Bioinformatics, Klinische Bioinformatik, Direktorin

STEFAN BREM

Risikogrundlagen und Forschungskoordination, Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS, Chef

DR. HELMUT BÜRGMANN

Abteilung Oberflächengewässer – Forschung & Management, Forschungsgruppe Mikrobielle Ökologie, Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Abteilungsleiter

DR. PATRICK DOOHAN

Faculty of Medicine, School of Public Health, Imperial College, Research Associate

PROF. DR. ADRIAN EGLI

Institut für Medizinische Mikrobiologie, Universität Zürich, Direktor und Projektleiter sowie Mitgründer von SPSP

REY EYER

Abwasserreinigungsanlage Zürich-Werdhölzli, Klärwärter

ALAIN FELLMANN

Meldesysteme, Bundesamt für Gesundheit BAG, Leiter Meldesysteme

DR. MICHAEL GASSER

ANRESIS/Institut für Infektionskrankheiten, Universität Bern, Epidemiologe

SIMON GOTTWALT

Humanbereich StAR, Bundesamt für Gesundheit, Leiter

DR. EMMA HODCROFT

Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Bern, Postdoctoral Research Fellow/Epidemiologin

DR. PETER INDRA

Amt für Gesundheit, Gesundheitsdirektion Kanton Zürich, Leiter

ROB JOHNSON

Faculty of Medicine, School of Public Health, Imperial College, Research Associate

PROF. DR. TIMOTHY JULIAN

Abteilung Umweltmikrobiologie, Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Abteilungsleiter

MIRJAM MÄUSEZAHN-FEÜZ

Sektion Epidemiologie, Bundesamt für Gesundheit BAG, Leitung

DR. CHRISTOPH ORT

Abteilung Siedlungswasserwirtschaft, Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Abteilungsleiter

DR. THOMAS PLATTNER

Kanton Freiburg, Kantonsarzt

DR. TIM ROLOFF

Institut für Medizinische Mikrobiologie, Universität Zürich, Bioinformatiker, Technischer Leiter Sequenzierfacility

PROF. DR. RALPH SCHLAPBACH

Functional Genomics Center Zurich, ETH Zürich, Direktor

PROF. DR. TANJA STADLER

Department of Biosystems Science and Engineering, ETH Zürich, Professorin

PROF. DR. MARCEL TANNER

Direktor emeritus Swiss TPH, Präsident Akademien der Wissenschaften Schweiz

RAFFAEL THEILER

École polytechnique fédérale de Lausanne, Doktorand

BARBARA WEIL

Eidgenössische Kommission für Pandemievorbereitung und -bewältigung (EKP), Präventions-Fachexpertin

Die Verantwortung für die Entwicklung der Kosten- und Nutzenmodelle und alle Aussagen in dieser Studie liegt bei Pour Demain sowie Eraneos und INFRAS. Die obigen Personen haben Inputs im Rahmen von Expert:innengesprächen gegeben, waren aber nicht in die Analyse und/oder Verschriftlichung der Studie involviert.

Ferner wurden wissenschaftliche Studien und Artikel herangezogen, die insbesondere der Ausarbeitung des Nutzenmodells dienten (vgl. Bibliografie in [Kapitel 9](#)).

3.

Institutionalisiertes Frühwarnsystem für Pandemien

bilden zusammen mit dem im Zuge der COVID-19-Pandemie aufgebauten Abwassermonitoring eine geeignete Grundlage für ein weiterentwickeltes Frühwarnsystem zur Überwachung von potenziell pandemischen Erregern. Unter Frühwarnsystem versteht die Studie den Auftrag zur Früherkennung und Überwachung gemäss Epidemiengesetz (insb. [Art. 2 EpG](#), [Art. 4 Abs. 1 EpG](#), [Art. 11 EpG](#) und [Art. 3 Epidemienverordnung EpV](#)).

Ein institutionalisiertes Frühwarnsystem ist als Institutionalisierung folgender zentraler Komponenten des gegenwärtigen SARS-CoV-2-Überwachungsprogramms auf vier weitere Pathogene zu verstehen:

- **Abwassermonitoring:** Systematische Überwachung der Erregerlast und -varianten im Abwasser durch Erreger- bzw. Variantennachweis im Abwasser
- **Genomische Sequenzierung²⁵ von positiven Abwasser- und Patientenproben aus Spitälern/ Arztpraxen (Einzelfälle) via Labor- und Meldesystemen (Meldepflicht, Sentinella, CH-SUR):** Genetische Überwachung von Erregern zur Beobachtung von Mutationen mit epidemiologischen oder klinischen Auswirkungen (erhöhte Ansteckungsgefahr, erhöhte Pathogenität) sowie Herleitung von Übertragungsketten

- **Datenprozessierung, -management, -analyse & -interpretation für Massnahmenverordnung:** Zentrale Plattform für die Daten der Sequenzierungslabors sowie zusätzliche Bundesstellen zur schnellen und akkuraten Interpretation der Daten für konkrete Massnahmenverordnung sowie Kommunikation über das epidemiologische Geschehen

Unter Institutionalisierung wird einerseits die Erweiterung der Komponenten auf vier weitere, potenziell pandemische Erreger verstanden. So sollen Abwassermonitoring und Sequenzierung in Zukunft auch wichtige, sich gegenseitig ergänzende Instrumente zur Bekämpfung von anderen bzw. künftigen Epidemien/Pandemien sein. Andererseits sollen die Komponenten der Überwachung nicht nur in bestehenden Epidemie-/Pandemiekontexten, d.h. in besonderen und ausserordentlichen Lagen, sondern auch in normalen Lagen²⁶ in Betrieb sein. Damit kann auch nach Übergang in die normale Lage ein in der Bevölkerung zirkulierender Erreger weiterhin überwacht und das Risiko einer weiteren Welle minimiert werden. Gleichzeitig kann zeitnah auf neue Epidemien/Pandemien reagiert werden, die künftig auf die Schweiz zurollen könnten.

Wie im Kapitel zum Nutzen eines Frühwarnsystems ausführlich erläutert

werden wird (vgl. [Kapitel 6.1](#)), ermöglicht die Kombination von Abwassermonitoring und Sequenzierung nicht nur die frühzeitige Erkennung von Erregern, sondern auch ein besseres Verständnis des Vorkommens, der Übertragungsketten, der geographischen Verteilung und der Evolution von Krankheitserregern sowie der sich im Umlauf befindenden Varianten, inklusive derjenigen, welche besorgniserregend (VOC) und daher von besonderem Interesse sind. Die so gewonnenen Informationen erlauben der Regierung eine bessere, evidenzbasierte Entscheidungsgrundlage für die Umsetzung von früheren und gezielteren Massnahmen, die sich je nach Zeitpunkt einer Pandemie auf nicht-pharmazeutische Interventionen wie Maskenpflicht, Lockdowns, Einreisebeschränkungen, Versammlungsverbote etc. oder Impfkampagnen, gruppenspezifisch intensivere Testregimes etc. beziehen können. Die verordneten Massnahmen lassen sich ferner über diese beiden Komponenten des Frühwarnsystems besser auf ihre tatsächliche Wirksamkeit hin prüfen.

3.1. Definition institutionalisiertes Frühwarnsystem

Die Schweiz verfügt über wirkungsvolle Systeme zur Früherkennung und Überwachung von übertragbaren Krankheiten via Meldesystem meldepflichtiger Infektionskrankheiten, Sentinella Meldesystem, Spital Sentinel Überwachungssystem CH-SUR, Labor-Meldesystemen sowie nationalem Erhebungssystem zur Erfassung von seltenen pädiatrischen Krankheitsbildern (Swiss Paediatric Surveillance Unit; vgl. [Kapitel 1](#)).

Die klinischen und Labor-Meldesysteme

FRÜHWARNSYSTEM ZUR BEOBACHTUNG VON KRANKHEITSERREGERN

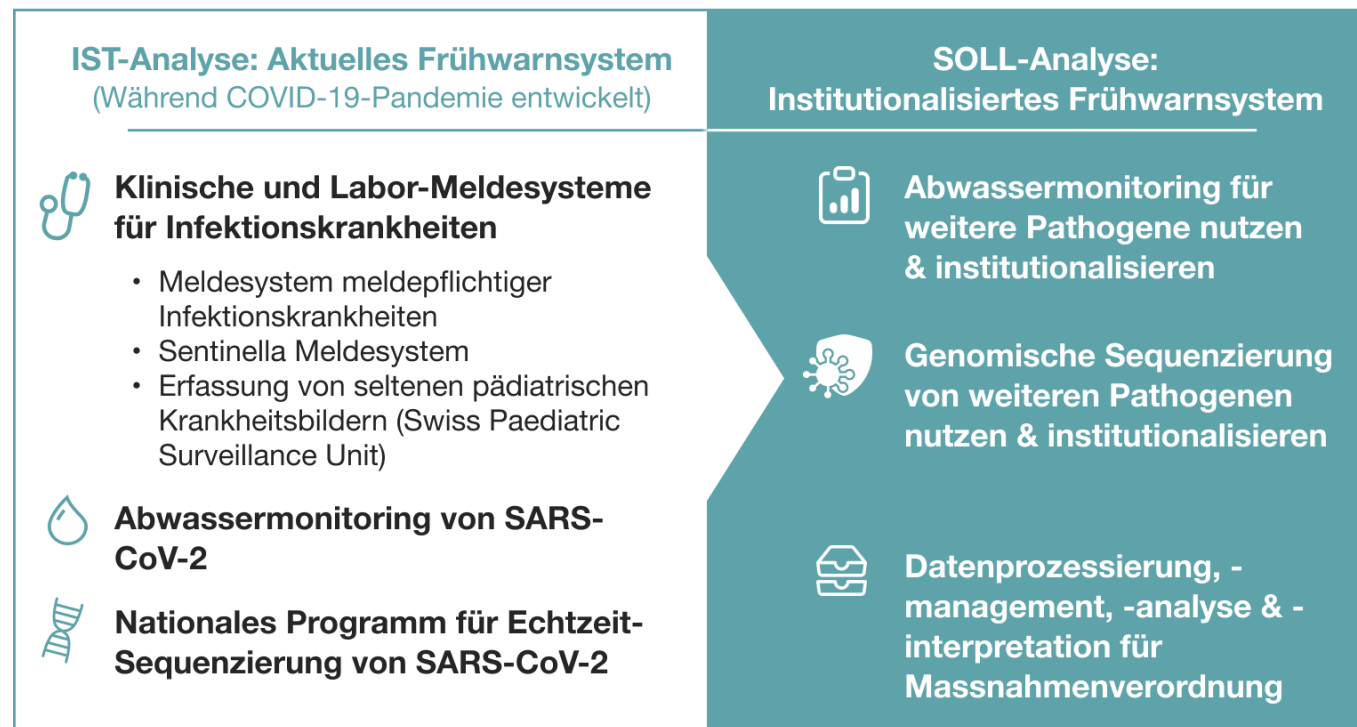


Abbildung 1: Institutionalisiertes Frühwarnsystem, Fokus der Studie

PROZESSE INSTITUTIONALISIERTE FRÜHWARNUNG PANDEMIEN

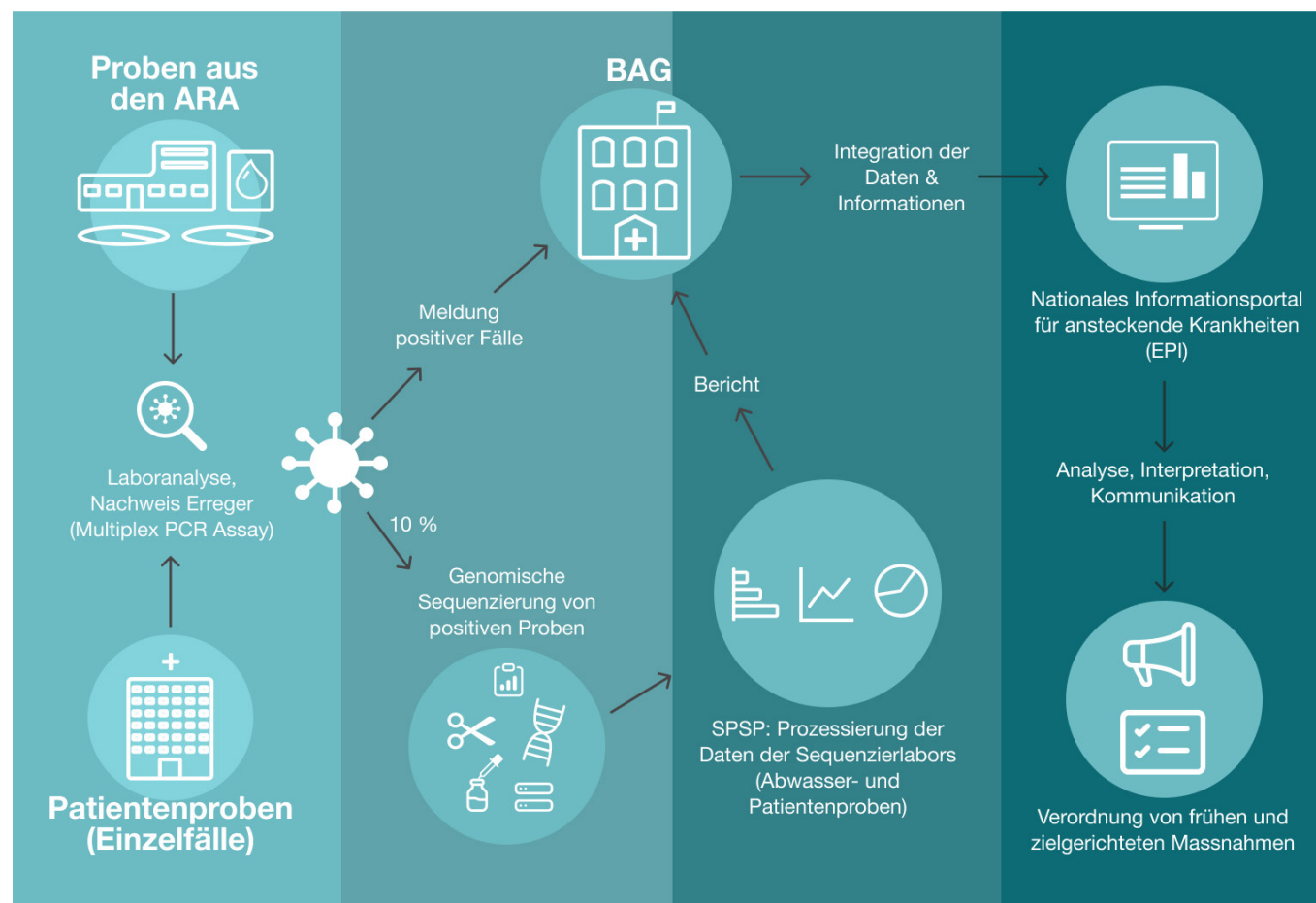


Abbildung 2: Prozesse Institutionalisiertes Frühwarnsystem

Damit aus den im Abwasser und durch Sequenzierung gewonnenen Informationen schnell und einfach Massnahmen abgeleitet werden können, bedarf es auch eines zentralisierten Datenportals, das den epidemiologischen Verlauf von Infektionen durch Daten aus den Sequenzierlaboratorien sammelt, interpretiert und visuell aufbereitet. Die [Swiss Pathogen Surveillance Platform](#) wurde im Rahmen des NRP72-Programms des Schweizerischen Nationalfonds als Plattform für die molekular-epidemiologische Überwachung von Antibiotikaresistenzen entwickelt. Die Datenbank konnte während der Pandemie umgebaut werden und sammelt aktuell alle genomischen Sequenzierungen von Einzelfällen – in Spitzenzeiten von insgesamt 17 Partnerinstitutionen. Im Rahmen der dritten Komponente des Frühwarnsystems soll sie daher einen zentralen Platz einnehmen, während das nationale Infoportal für ansteckende Krankheiten (EPI) nicht Gegenstand der Nutzen-Kosten-Analyse ist, da das BAG die Planung des EPI bzw. das Projekt Digitalisierung Meldeprozesse bereits lanciert hat. Ferner umfasst die dritte Komponente Bundesstellen für die Datenanalyse und -interpretation für gezielte und schnelle Massnahmenverordnungen sowie die adressatengerechte Kommunikation derselben. Untenstehende Grafiken (vgl. Abbildungen 1 und 2) stellen das Zielsystem, das Gegenstand der vorliegenden Studie ist, sowie die einzelnen Prozesse schematisch dar.

Ein möglichst kosteneffizienter Betrieb des Frühwarnsystems unterscheidet sich in seinem Aufwand zwischen normaler und besonderer/ausserordentlicher Lage. Lagen und lagespezifische Szenarien für das erweiterte Frühwarnsystem werden daher im Folgenden definiert.

3.2. Definition normale und besondere/ausserordentliche Lage

Die Studie modelliert den Verlauf einer zukünftigen Pandemie nach den Erfahrungen gemäss SARS-CoV-2, um im Schweizer Kontext auf dem aktuellsten Pandemieereignis aufzubauen. Ein **Pandemieverlauf im Zeithorizont von 37 Jahren** – der Zeitraum, innerhalb dessen angenommen wird, dass eine Pandemie auftritt (vgl. [Kapitel 4.1.](#)) – wird daher wie folgt definiert:

- **Normale Lage, präpandemisch:** Ein langer, präpandemischer Zeitraum mit wenigen Infektionen – 31 Jahre und elf Monate
- **Besondere/ausserordentliche Lage:** Eine hohe Zahl an Infektions- und Todesfällen bei Ausbruch der Pandemie – zwei Jahre und ein Monat²⁷
- **Normale Lage, postpandemisch:** Die Zeit unmittelbar nach der Pandemie, in welcher noch mit Infektionen zu rechnen ist, die Zahlen aber tiefer

sind und die Überwachung wieder reduziert werden kann – drei Jahre

3.2.1. Normale Lage

Unter einer normalen Lage werden zwei Situationen verstanden:

- Einerseits eine **präpandemische Situation** gemäss [Art. 2](#) und [Art. 8 Abs. 2 lit. a. EpG](#), in welcher Ausbruch und Verbreitung übertragbarer Krankheiten zu verhüten und bekämpfen sind²⁸, indem Bund und Kantone Vorbereitungsmaßnahmen «zur Erkennung und Überwachung von übertragbaren Krankheiten»²⁹ treffen. Diese Situation ist vergleichbar mit der regelmässigen Überwachung von endemischen Pathogenen sowie saisonalen Pandemien wie etwa Influenza, die zeitlich beschränkt in der Schweiz zirkulieren. Sie ist ebenfalls vergleichbar mit den Jahren vor dem Ausbruch einer Pandemie in der Schweiz, also z.B. 2018-2019, in der aufgrund der regelmässigen Überwachung durch das Frühwarnsystem schnell auf einen neuen Erreger, der sich global rasch ausbreitet, reagiert werden kann.
- Andererseits ist unter der normalen Lage eine **postpandemische Situation** zu verstehen, in der die besondere Lage infolge

einer Pandemie ([Art. 6 EpG](#)³⁰) aufgehoben wurde, obwohl das Pathogen nach wie vor in der Bevölkerung zirkuliert und die WHO von einer Pandemie spricht³¹ (entspricht z.B. der COVID-19-Situation ab April 2022). In dieser Lage wird angenommen, dass die Dunkelziffer relativ hoch ist, da sich die Bevölkerung grösstenteils nur noch über Antigen-Schnelltests zuhause testet, die von den Meldesystemen nicht erfasst werden.

3.2.2. Besondere/ausserordentliche Lage

Das EpG unterscheidet gemäss [Artikel 6](#) und [7](#) zwischen besonderer und ausserordentlicher Lage.³² Der Einfachheit halber, weil die beiden Lageeinordnungen teilweise fließend und schwierig auseinanderzuhalten sind und derzeit in der Schweiz ein definierter, effizienter Prozess der Lagebeurteilung laut Expert:innen fehlt³³, werden sie zusammengefasst.

3.2.3. Berücksichtigung der Lagen in der Nutzen-Kosten-Bilanz

Gemäss Expert:innen ist der Nutzen eines Frühwarnsystems im Zeithorizont eines ganzen Pandemieereignisses schwierig zu berechnen. Die Einflussfaktoren zur Schätzung des tatsächlichen Nutzens sind vielfältig. Während einer Pandemie ist eine schnell veränderte Dynamik zu erwarten, in der beispielsweise neue Varianten auftauchen und die Immunitätslage sich durch Infektionen, Impfungen sowie

die Einführung von verschiedenen und sukzessiven nicht-pharmazeutischen Massnahmen verändert.

Da es innerhalb eines gesamten Pandemieereignisses mit mehreren Wellen demnach schwierig ist, klar abzugrenzen, wie der effektive Beitrag eines Frühwarnsystems wirklich ausfällt, beschränkt sich die Studie auf die **Berechnung des Nutzens in einer ersten Welle**, d.h. auf eine Lockdown-definierte Zeitspanne in der besonderen/ausserordentlichen Lage – diese entspricht im Falle von COVID-19 der Zeit vom 17. März bis 26. April 2020³⁴. So kann der Nutzen eines Frühwarnsystems in einer klar definierten Zeitspanne mit klarem Beginn und Ende des Lockdowns am akkuratesten erfasst werden. Weitere Wellen während der Hochphase der Pandemie werden nicht berücksichtigt.

Die **Kosten eines Frühwarnsystems** werden hingegen nicht nur für die erste Welle berechnet, sondern im **Zeithorizont von 37 Jahren**, in welcher alle Lagen (präpandemisch, pandemisch, postpandemisch) durchlaufen werden (vgl. [Kapitel 4.1](#)). Auch wenn so zwar die **Nutzen-Kosten-Bilanz** massiv unterschätzt wird, berücksichtigt diese Rechnung die Tatsache, dass ein institutionalisiertes Frühwarnsystem für Pandemien nicht nur in einer ausserordentlichen Lage während einer Welle, sondern laufend in Betrieb ist.

3.3. Zuständigkeiten

Abwassermonitoring und die Sequenzierung von Abwasser- und Patientenproben (Einzelfällen) sind als System zur Früherkennung und Überwachung gemäss [Art. 11 EpG](#)³⁵ zu verstehen. Bund und Kanton teilen sich grundsätzlich die Zuständigkeiten bei der Erkennung und Überwachung von übertragbaren Krankheiten. Zur Identifikation der Staatsebene, welche für die Früherkennung und Überwachung verantwortlich ist, ist massgebend, ob Ausbrüche und Epidemien lokal, regional oder national auftreten.³⁶

Im Rahmen einer Pandemie, welche definitionsgemäss viele Länder betrifft³⁷, scheint die Zuständigkeit demnach beim Bund zu liegen. Ein Frühwarnsystem in einer normalen Lage, die nicht unmittelbar auf die Aufhebung der besonderen Lage folgt, ist allerdings in seiner Funktion mit der Durchführung von regelmässigen epidemiologischen Abklärungen vergleichbar, für die gemäss [Art. 15 EpG](#) die Kantone zuständig sind, es sei denn, es «liegt eine besondere Lage vor», die «Massnahmen (...) im internationalen Personenverkehr» erforderlich macht, oder es handelt sich um «kantonsübergreifende Epidemien»³⁸.

Die Konferenz der kantonalen Gesundheitsdirektor:innen GDK misst dem Surveillance-System des Bundes betreffend COVID-19 eine hohe Bedeutung zu. Gerade in Bezug auf neue

besorgniserregende Virusvarianten seien nationale und internationale Daten aus Sicht der Kantone wichtig, da die Kantone nur über eigene Systeme für die lokale und regionale Überwachung verfügten.³⁹ Gerade in kleineren Kantonen stehen meist nicht genügend Sequenzierdaten zur

Verfügung, um die Wachstumsrate einer neuen Pathogenvariante festzustellen. Daten im grösseren Massstab, d.h. auf nationaler und internationaler Ebene, sind daher dringend erforderlich, um Pandemieverläufe möglichst genau einschätzen zu können.

Quellenangaben

25 Im Folgenden wird vereinfacht der Begriff «Sequenzierung» verwendet.

26 Definition Lagen gemäss Faktenblatt, 28. Februar 2020, BAG: <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/60477.pdf> (22.11.2022).

27 Gemäss Dauer der besonderen und ausserordentlichen Lage in der COVID-19-Pandemie in der Schweiz.

28 Fedlex, EpG, Art. 2: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2015/297/de> (12.12.2022).

29 Ibid., Art. 8.

30 Ibid., Art. 6.

31 Es gibt keine allgemein vereinbarten Kriterien, die definieren, wann eine Pandemie zu Ende ist.

32 Vgl. Fussnote 28, Artikel 6 und 7.

33 Universität Bern, Prüfung des Eskalationsmodells (Art. 6 und 7 EpG) unter besonderer Berücksichtigung der Epidemiologie übertragbarer Krankheiten sowie von Public-Health-Aspekten: https://www.ispm.unibe.ch/unibe/portal/fak_medizin/ber_vkhum/inst_smp/content/e93993/e95206/e1295336/e1295350/Thesenpapier-Eskalationsmodell_eng.pdf (12.12.2022).

34 ETH Zürich, Center for Security Studies: https://css.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/gess/cis/center-for-securities-studies/pdfs/Bulletin_2020_07_Chronologie.pdf (12.12.2022).

35 Vgl. Fussnote 28, Art. 11.

36 Vgl. Fussnote 26.

37 Vgl. Fussnote 11.

38 Ausbruchsuntersuchungen und epidemiologische Abklärungen, BAG: Ausbruchsuntersuchungen, epidemiologische Abklärungen: <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/krankheiten/ausbrueche-epidemien-pandemien/ausbruchsuntersuchungen.html> (admin.ch) (12.12.2022).

39 Rebound Papier III, GDK: https://www.gdk-cds.ch/fileadmin/docs/public/gdk/themen/praevention_gesundheitsfoerderung/ansteckende_krankheiten/NZ_Rebound_III_def_d.pdf, S.4 (12.12.2022).



4.

Vorannahmen Kosten- und Nutzenmodell

in deren Zeitraum im Mittel einmal eine Pandemie auftritt.

Laut BAG zeigt der Blick auf immer wieder neuartige Epidemien oder Pandemien im vergangenen Jahrhundert, dass «Infektionskrankheiten immer noch ein ernstzunehmendes Gesundheitsrisiko darstellen».⁴⁰

Die Studie nimmt, gestützt auf die Erläuterungen in [Kapitel 1](#), an, dass die **Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Pandemie in der Grössenordnung von COVID-19 in den nächsten 25 Jahren bei ca. 50 % liegt**.⁴¹ Die Studie berechnet in Anlehnung an das Gefährdungsdossier Influenza-Pandemien des BABS⁴² und, wie in Gefährdungs-/Risikoanalysen üblich, die Wiederkehrperiode x wie folgt:

$$\left(1 - \frac{1}{x}\right)^{25} = \frac{1}{2}$$
$$x = \frac{1}{\left(1 - \sqrt[25]{\frac{1}{2}}\right)} = 36.57$$

Die Kosten eines institutionalisierten Frühwarnsystems werden demnach in einem Zeithorizont von 37 Jahren betrachtet – der Zeitspanne, in welcher eine Pandemie statistisch zu erwarten ist – und dem Nutzen in der Zeitspanne der ersten Welle gegenübergestellt (vgl. [Kapitel 3.2.3](#)). Mit 37 Jahren wird

ein konservativerer Wert angenommen als im Bericht des von Vertreter:innen der Versicherungswirtschaft und der Bundesverwaltung (SIF, SECO, Bundesamt für Justiz) durchgeführten Projekts «Pandemieversicherung», der mit einer Wiederkehrperiode von 33 Jahren rechnet.⁴³ Dieser Zahl stehen 55 Jahre gegenüber, die das BABS für Influenza-Pandemien vorsieht.⁴⁴ Es sind aber weitaus mehr Krankheitserreger mit pandemischem Potenzial als nur Influenza möglich. Die Berechnung der Wiederkehrperiode mit Vergleich COVID-19 ist auch als konservativ einzustufen, da kleinere, häufiger auftretende Ereignisse nicht berücksichtigt werden.

4.2. Schadensszenarien

Die Intensität einer zukünftigen Pandemie wurde analog zum Gefährdungsdossier für Influenza-Pandemien des BABS⁴⁵ in die Schadensszenarien «**stark**» und «**extrem**» unterteilt. Die Schadensszenarien dienen dazu, die möglichen Auswirkungen einer Pandemie (Anzahl Infizierter, Hospitalisierter usw.) je nach ihrer Intensität zu antizipieren. Das **COVID-19-Szenario gilt als Basisszenario** und Referenzwert. Das Schadensszenario «erheblich», das zufolge der Werte des BABS weniger stark als COVID-19 ausfallen würde, wird in dieser Studie nicht berücksichtigt, da mit dem hier analysierten Frühwarnsystem nur Erreger mit höchstem Pandemiepotential gescreent werden.

Die Studie übernimmt die Charakterisierung des Schadens einer Pandemie anhand der folgenden **Kriterien gemäss BABS: Anzahl Infektionen, Hospitalisationen, Todesfälle und Hospitalisationen auf der Intensivstation**. Die Werte werden jedoch nicht im Hinblick auf eine ganze Pandemie, sondern nur bezogen auf die erste Welle definiert.

4.2.1. Schadenswerte COVID-19

In der Schweiz fand der erste Lockdown, verstanden als «Schliessung öffentlich zugänglicher Einrichtungen mit Ausnahme von essenziellen Betrieben», zwischen dem 17. März und 26. April 2020 statt.⁴⁶ Zur Quantifizierung des Nutzens werden die durch das Frühwarnsystem vermiedenen Infektionen in diesem Zeitraum betrachtet. Da die Folgen einer Infektion zeitlich verzögert auftreten, werden Hospitalisationen während des Lockdowns und noch eine Woche länger betrachtet. Für Intensivstationsaufenthalte bis zu zehn Tage danach sowie für Todesfälle bis zu zwei Wochen länger.⁴⁷

Die vorliegende Studie stützt sich auf eine Reihe von Annahmen, die getroffen werden müssen, damit ein quantifizierbares Nutzen-Kosten-Verhältnis ermittelbar wird. Sie werden im Folgenden erläutert.

4.1. Zeithorizont mittels Wiederkehrperiode einer Pandemie

Pandemien, welche eine «epidemiologische Notlage» oder gar «nationale Bedrohungslage» auslösen, treten zum Glück nicht jedes Jahr auf. Um das jährliche Nutzen-Kosten-Verhältnis eines Frühwarnsystems zu ermitteln, muss deshalb die durchschnittliche Wiederkehrperiode berechnet werden,

**DIE STUDIE GEHT
VON DER KONSERVA-
TIVEN ANNAHMEN
AUS, DASS IN
DEN NÄCHSTEN
37 JAHREN EINE
PANDEMIE AUFTRITT.**

Tabelle 1 fasst die Eckdaten für COVID-19 im ersten Lockdown zusammen. Diese bilden das Grundszenario für die Studie ab:

Folgen der ersten COVID-19-Welle, Frühling 2020 ⁴⁸					
	Infektionen (= positiv Getestete)	Hospitalisationen	Hospitalisationen auf der Intensivstation	Todesfälle	Long-COVID-Fälle ⁴⁹
Betrachtungszeitraum	17.3.2020-26.4.2020	17.3.2020-3.5.2020	17.3.2020-6.5.2020	17.3.2020-10.5.2020	Kein Zeitraum, Prozentzahl der Infektionen
Fälle	29'313	3'991	1'099 ⁵⁰	1'689	2'931
Anteil	0,34 % der Bevölkerung	13,6 % der positiv Getesteten/ Infizierten	27,5 % der Hospitalisierten	5,76 % der positiv Getesteten/ Infizierten	10 % der positiv Getesteten/ Infizierten

Tabelle 1: Folgen der ersten COVID-19-Welle, Frühling 2020

Auf der Grundlage der COVID-19-Werte für Hospitalisationen (auf der Intensivstation), Todesfälle und Long-COVID-Fälle bzw. langfristige gesundheitliche Probleme werden die entsprechenden Schadenswerte für die Pandemie-Szenarien «stark» und «extrem» geschätzt, die stärker als COVID-19 ausfallen. Die Infektionen werden anhand der Renewal-Equation Formel simuliert, deren Eingabewerte sich wiederum am COVID-19-Szenario orientieren.

4.2.2. Schätzung potenzieller Infektionen einer zukünftigen Pandemiewelle mit der Renewal-Equation Formel

Die Anzahl der Neuinfektionen bzw. totalen Infektionen einer Welle werden mit dem sogenannten «diskreten Erneuerungsprozess» (englisch: discrete renewal process) simuliert, einem

stochastischen Modell, das die Verteilung von Erwartungswerten in kontinuierlicher Zeit prognostiziert. Hierfür wird untenstehende Formel⁵¹ verwendet, die in wissenschaftlichen Studien mehrfach zur Einschätzung des Effekts von nicht-pharmazeutischen Massnahmen im Pandemiekontext angewendet wurde⁵². Die Formel berechnet die Anzahl der Infektionen c zum Zeitpunkt t im Land m iterativ anhand der vergangenen Infektionszahlen relativ zur Populationsgrösse N . Sie nutzt dazu die Reproduktionszahl R zum Zeitpunkt t , d.h. die durchschnittliche Anzahl von Personen, die eine infizierte Person ansteckt, sowie die Generationszeit g , d.h. den zeitlichen Abstand zwischen der Infektion einer Person und den Sekundärinfektionen, die von ihr ausgehen.

$$C_{t,m} = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{t-1} C_{i,m}}{N_m}\right) R_{t,m} \sum_{\tau=0}^{t-1} C_{\tau,m} g_{t-\tau},$$

Die Generationszeit g wird berechnet unter Annahme einer Gamma-Verteilung mit konstantem Mittelwert und Variationskoeffizient. Der entscheidende Faktor, der über die Zeit variiert, ist die Reproduktionszahl R . Da die Formel auf den vergangenen Infektionszahlen basiert, muss das Modell für jeden Tag neu berechnet werden, ausgehend vom Zeitpunkt t_0 . Die Basisreproduktionszahl R_0 bildet den Ausgangswert zu Beginn einer Pandemie und verändert sich im Verlauf je nach Immunität und Verhalten der Bevölkerung (effektive Reproduktionszahl R_e). Im Rahmen dieser Studie wird die durch einen Lockdown veränderte R_e simuliert (vgl. auch Kapitel 6.3.3, Schritt 1). Die Wirksamkeit dieser Massnahme wird ausgedrückt in der Zeitspanne, bis der R -Wert unter eins fällt und damit die exponentielle Ausbreitung der Infektionen unter Kontrolle gebracht wird. Für COVID-19 geht die Studie von einem R_e -Wert zum Zeitpunkt der Einführung des Lockdowns in der Schweiz von 1,75 aus.⁵³

Vereinfachend nimmt die Studie ausserdem an, dass der R -Wert nach Massnahmeneinführung innert sieben bzw. 14 Tagen auf 0,9 fällt und auf diesem Niveau

konstant bleibt, obwohl er in der Realität durchaus noch weiter sinken kann. Ferner wird das Infektionsgeschehen nur über eine Zeitspanne von 41 Tagen betrachtet, unter der Annahme, dass ein Lockdown für zukünftige Pandemieszenarien gleich lang dauert, wie dies für COVID-19 in der ersten Welle der Fall war.

Im COVID-19-Pandemieszenario ist der Verlauf der Infektionszahlen bekannt bis zur und auch nach Einführung der Massnahme. In den Szenarien «starke» und «extreme» Pandemie ist der Verlauf der Pandemie vor und nach Einführung der Massnahme nicht bekannt und muss simuliert werden. Die Infektionszahlen werden, analog zu Flaxman et al.⁵⁴, für die ersten sechs Tage vor Zeitpunkt t_0 , d.h. vor Beginn einer Pandemiewelle, mit einem Poisson-Prozess mit exponentiellen Zwischenansteckungsintervallen mit Mittelwert $1/\tau$ ($\tau=0,03$) generiert.

COVID-19-Pandemie, erste Welle	
Reproduktionszahl R_0 am 17.3.2020	1,75 ⁵⁵
Generationszeit unter Annahme einer Gamma-Verteilung g	Mittelwert = 6,5 Tage ⁵⁶ Variationskoeffizient = 0,62 Gamma (2,6; 2,5) ⁵⁷
Zeitspanne bis $R_0 < 1$	7 Tage ⁵⁸

Tabelle 2: COVID-19-Pandemie, Werte erste Welle

Tabelle 2 fasst die entsprechenden Werte für COVID-19 in der ersten Welle in der Schweiz zusammen, aufgrund welcher die Werte für die «starke» und «extreme» Pandemie geschätzt werden.

Bei schwererem Pandemieverlauf ist davon auszugehen, dass die Schweizer Regierung auch ohne Frühwarnsystem schneller als im Frühjahr 2020 reagieren würde. Für die Simulation der Szenarien «stark» und «extrem» wurde die Massnahmeneinführung deshalb auf den Tag elf, t_{11} , definiert, da zu diesem Zeitpunkt die täglichen Infektionen bereits über 4'500 liegen und angenommen werden kann, dass die Regierung in einem solchen Fall auch ohne Frühwarnsystem handeln würde.

Für schädlicher als COVID-19 ausfallende Pandemien geht die Studie ferner davon aus, dass das verursachende Pathogen ansteckender ist, die Basisreproduktionszahl R_0 also etwas höher als bei COVID-19 (2,78⁵⁹) ist und die Zeitspanne zwischen einer und der nächsten Infektion kürzer ausfällt (d.h., dass die Generationszeit im Mittel kürzer als 6,5 Tage ist). Ausserdem wird davon ausgegangen, dass die Ausbreitung des Pathogens durch die Einführung eines Lockdowns ähnlich gut kontrolliert werden kann wie bei COVID-19, die Zeitspanne, bis R_0 vom höheren Ausgangswert unter eins fällt, jedoch etwas länger ist (14 statt sieben Tage).

Entsprechend werden für die Pandemieszenarien, die stärker als COVID-19 ausfallen, folgende Werte angenommen:

Pandemien «stark» und «extrem», erste Welle	
Reproduktionszahl R_0	4
Generationszeit unter Annahme einer Gamma-Verteilung g	Mittelwert = 4,5 Tage Variationskoeffizient = 0,62 Gamma (2,6; 1,73)
Zeitspanne bis $R_0 < 1$	14 Tage

Tabelle 3: Pandemie «stark» und «extrem», erste Welle

Mit den Werten gemäss Tabelle 3 infizieren sich innerhalb des Lockdowns von 41 Tagen 204'321 Menschen, d.h. 2,3 % der Schweizer Bevölkerung.

4.2.3. Schadenswerte «starke» Pandemie

Aus den Infektionszahlen werden folgende Schadenswerte für die erste Welle einer «starken» Pandemie angenommen:

Schadenswerte erste Welle, «starke» Pandemie					
	Infektionen erste Welle	Hospitalisationen ⁶⁰	Hospitalisationen auf der Intensivstation	Todesfälle	Langfristige Gesundheitsfolgen (vergleichbar mit Long-COVID)
Fälle	204'321	40'864	4'086	20'432	20'432
Anteil	2,3 % der Bevölkerung	20 % der Infizierten ⁶¹	10 % der Hospitalisierten	10 % der Infizierten	10 % der Infizierten

Tabelle 4: Schadenswerte erste Welle, «starke» Pandemie

4.2.4. Schadenswerte «extreme» Pandemie

Während für eine «extreme» Pandemie im Vergleich zur «starken» keine zusätzlichen Infektionen in der ersten Welle angenommen werden, wird in einer «extremen» Pandemie gemäss Tabelle 5 von einem Erreger mit höherer Virulenz und entsprechend einer höheren Anzahl von Hospitalisationen und Todesfällen ausgegangen. Folgende Schadenswerte werden damit berechnet:

Schadenswerte erste Welle, «extreme» Pandemie					
	Infektionen erste Welle	Hospitalisationen	Hospitalisationen auf der Intensivstation	Todesfälle	Langfristige Gesundheitsfolgen (vergleichbar mit Long-Covid)
Fälle	204'321	61'296	12'259	40'864	20'432
Anteil	2,3 % der Bevölkerung	30 % der Infizierten	20 % der Hospitalisierten	20 % der Infizierten	10 % der Infizierten

Tabelle 5: Schadenswerte erste Welle, «extreme» Pandemie

4.3. Erweiterung des Frühwarnsystems & Baseline

Die vorliegende Studie beleuchtet die Nutzen-Kosten-Bilanz eines Frühwarnsystems, welches vier weitere Krankheitserreger überwacht. **Mit SARS-CoV-2 wären also insgesamt fünf Erreger in das Frühwarnsystem integriert.** Es wird angenommen, dass die bereits existierende Infrastruktur zur Überwachung von SARS-CoV-2 ohne zusätzliche Investitionskosten auf ähnliche Erreger ausgeweitet und über die nächsten Jahre hinweg genutzt werden kann.

Die Studie beschränkt sich aktuell auf vier weitere Erreger, da sämtliche von Pour Demain intern befragte Expert:innen folgende vier Erreger prominent nannten: **Influenza-Viren, Corona-Viren ausserhalb SARS-19, Pocken und Masern.** Die genaue Zusammensetzung könnte jedoch in einem strukturierten Prozess ausserhalb dieser Studie bestimmt werden und auch eine Ausweitung auf mehr als fünf überwachte Erreger wäre denkbar.

Von den ausgewählten Erregern wird angenommen, dass sie sich in verschiedener Weise ähnlich wie SARS-CoV-2 verhalten: Sie sind ebenfalls im Abwasser nachweisbar, weisen dieselbe Nachweisgrenze im Abwasser und vergleichbare Testparameter auf (Inkubationszeit, diagnostisches Fenster, Korrelation des Ausmasses der im Abwasser nachgewiesenen Erreger mit

dem Ausmass der durch die Erreger bedingten Krankheitslast) und es können Vorkehrungen getroffen werden, die sich als ähnlich wirksam wie die behördlichen Massnahmenpakete im Frühjahr 2020 erweisen.

4.4. Wahrscheinlichkeit der Detektion einer Pandemie

Die Studie trifft im Sinne einer engen Nutzendefinition folgende Annahmen: Das Frühwarnsystem

- überwacht regelmässig insgesamt fünf verschiedene, bereits bekannte Pathogene
- kann schnell auf neue global auftauchende Pathogene angepasst werden
- entdeckt die Erreger mit einer 80%igen Wahrscheinlichkeit früher als ohne Frühwarnsystem

Die Wahrscheinlichkeit der Detektion einer Pandemie durch ein Frühwarnsystem hängt von den zu überwachenden Pathogenen und deren Wahrscheinlichkeit, pandemisch zu sein, ab. Es ist deshalb entscheidend, die von Expert:innen als gefährlichste Pathogene eingestuften Erreger zu überwachen. Aus historischer Sicht scheinen wenige, in vielerlei Hinsicht ähnliche humanpathogene Erreger für eine Vielzahl an Pandemien verantwortlich zu sein (z.B. Corona-Viren: COVID-19, MERS, SARS; Influenza: Schweinegrippe, Spanische Grippe⁶³).

Das enge Nutzenverständnis der Studie (vgl. [Kapitel 6.2](#)) erfasst nicht den Nutzen, den ein institutionalisiertes Frühwarnsystem hätte, wenn neue, noch unbekannte Pathogene in der Schweiz erstmals entdeckt würden. Stattdessen wird davon ausgegangen, dass eine neue Pandemie nicht in der Schweiz beginnen, sondern zuerst im Ausland nachgewiesen würde – auch das zur historischen Erfahrung passend. **Ein institutionalisiertes Frühwarnsystem könnte auf die Erkennung neuer Erreger angepasst werden, die im globalen Kontext auftreten. Laut Expert:innen hätte ein bereits existierendes Abwassermonitoring von Influenza in der Schweiz eine sofortige und unkomplizierte Umstellung auf SARS-CoV-2 ermöglicht.**

Verschiedene Faktoren wie etwa ungünstige Wetterbedingungen mit starkem Niederschlag, die den Nachweis von Erregern im Abwasser erschweren, führen dazu, dass ein Erreger nicht in 100 % der Fälle nachgewiesen bzw. frühzeitig erkannt werden kann. Mit einer **80%igen Wahrscheinlichkeitsprognose für frühere Entdeckung** wird daher sichergestellt, dass der Nutzen eines Frühwarnsystems nicht überschätzt wird. Wird nur ein einzelner Erreger im Frühwarnsystem beobachtet, ist die Wahrscheinlichkeit, den betroffenen Erreger zu detektieren, entsprechend geringer, als wenn mehrere Erreger beobachtet würden.

4.5. Parameter lagespezifische Szenarien

Sowohl für das Abwassermonitoring wie auch für die Sequenzierung stellt sich einerseits die Frage, wie häufig Proben entnommen, analysiert und sequenziert werden sollen, und andererseits, wie viele Abwasserreinigungsanlagen (ARA) für ein effektives Abwassermonitoring benötigt werden. Aus den internen Expert:innengesprächen von Pour Demain ergibt sich keine abschliessende Antwort, da diese Frage Gegenstand der Forschung ist und bleiben wird, aus verschiedenen Perspektiven beleuchtet werden kann und auch abhängig von den zu untersuchenden Pathogenen und Pandemieverläufen besteht.

Forschende wie auch Public Health-Beauftragte sind sich jedoch einig, dass die **kleinstnötige Anzahl von ARA und von Proben, die noch ausreichend repräsentativ und aussagekräftig sind, angestrebt werden soll.**⁶⁴ Gleichzeitig werden derzeit, basierend auf Erfahrungen aus dem nationalen Abwassermonitoringprogramm, praktische und kostengünstige Lösungsansätze diskutiert, die beispielweise Proben kombinieren und zusammenlegen, um Informationen aus dem Abwasser häufiger im Verhältnis zur Anzahl der Proben zu erhalten.

Anzahl ARA

Für die Anzahl der ARA, die in das Abwassermonitoring aufgenommen werden, bedeutet das, dass (1) alle Kantone ausgewogen abgedeckt sein müssen, (2) die Anlagen mit der grössten Anzahl angeschlossener Personen ausgewählt werden, (3) grösstenteils städtische, aber auch einzelne ländliche Gebiete abgedeckt sind und (4) diejenigen Anlagen von besonderem Interesse sind, die sich an sogenannten strategischen Orten befinden (Tourismusregion, Grenzregion, Nähe Flughafen, Ballungszentren etc.). Beispielsweise sind laut der Leitlinien der Umweltüberwachung der Global Polio Eradication Initiative (GPEI) zum Nachweis von Polioviren ARA mit einem Einzugsgebiet von 100'000 bis 300'000 Einwohner:innen zu bevorzugen.⁶⁵

Die 10 grössten ARA der Schweiz, die sich in den Kantonen Bern, Basel-Stadt, Genf, Luzern, Tessin, Waadt, Zug und Zürich befinden, weisen ein Einzugsgebiet von rund 120'000 bis maximal 450'000 Einwohner:innen auf.⁶⁶ Sie allein decken bereits 25 % der Bevölkerung ab. Wählt man beispielsweise die grössten Anlagen in fast jedem Kanton aus, wären mit 50 ARA 50 % der Bevölkerung abgedeckt. Diese 50 ARA könnten ein ausgewogenes Bild der Lage im Hinblick auf die kantonale Verteilung sowie Ballungszentren in den einwohnerreichsten Städten bzw. Kantonen liefern und vereinzelt auch kleinere Einzugsgebiete (unter 50'000) in eher ländlichen Regionen repräsentieren,

damit selbst bei Erregern mit tieferer Nachweisgrenze bei bereits kleiner Anzahl Infizierter ein Signal feststellbar wird.

Die Studie nimmt deshalb an, dass für das Abwassermonitoring in einer normalen Lage, sowohl prä- wie auch postpandemisch, 50 ARA beteiligt sind.

Diese Annahme ist mit der Planung des BAG kongruent, welches die Anlagen im Jahr 2023 auf 50 herunterfahren wird, da so immer noch ein Grossteil der Bevölkerung abgedeckt sei und Trends hinreichend abgeschätzt werden könnten.⁶⁷

Für eine besondere/ausserordentliche Lage werden, wie dies für SARS-CoV-2 in der entsprechenden Lage der Fall war, 100 ARA angenommen, die ca. 70 % der Bevölkerung abdecken,⁶⁸ da es sich laut den von Pour Demain befragten Expert:innen lohnt, das Abwassermonitoring in einer Pandemiesituation auf möglichst viele Anlagen hochzufahren.

Nachweisgrenze ARA

Die Nachweisgrenze⁶⁹ in Abwasserproben hängt vom jeweiligen Erreger ab und liegt nach Meinung der befragten Expert:innen im Falle von SARS-CoV-2 bei einer bis zehn Infizierten pro 100'000 Personen. Wie erwähnt, geht die Studie davon aus, dass für andere Erreger dieselbe Nachweisgrenze gilt. Die 100 grössten ARA in der Schweiz haben ein Einzugsgebiet von durchschnittlich ca. 60'000 Einwohner:innen, womit im Schnitt bei bereits sechs infizierten Personen ein

Signal im Abwasser nachgewiesen werden könnte. Nur zehn ARA haben (Stand 2017) ein Einzugsgebiet von mehr als 100'000 Einwohner:innen. Da keines grösser als 500'000 ist, müssten bei dieser Nachweisgrenze höchstens 50 Personen infiziert sein, damit das Signal einer neuen Pandemie im Abwasser erkannt würde.

Anzahl Sequenzierungen und Proben pro Woche

Die notwendige Frequenz von Sequenzierungen hängt stark von den Eigenschaften eines zirkulierenden Pathogens ab: Wie rasch breitet es sich aus, wie häufig mutiert es etc. Basierend auf den Angaben von den befragten

Expert:innen wird angenommen, dass fünf bis zehn % der positiven klinischen Proben sequenziert werden sollten, um ein akkurates Bild des Pandemieverlaufs abbilden zu können. Dies entspricht auch den WHO-Empfehlungen zur genomischen Überwachung von SARS-CoV-2-Varianten.⁷⁰

Für die vorliegende Studie wird die Sequenzierungsfrequenz basierend auf der Anzahl der wöchentlichen COVID-19-Infektionen im ersten Jahr seit Ausbruch berechnet. Die Studie nimmt ferner die höhere Sequenzierfrequenz von zehn % an.

Sequenzierfrequenz in einer besonderen/ausserordentlichen Lage		
Lagen	Sequenzierungsfrequenz der wöchentlichen Infektionen, Grundlage COVID-19	
Besondere/ausserordentl. Lage	Wöchentliche Infektionen im Schnitt im ersten COVID-19-Pandemiejahr	10'640
	Sequenzierfrequenz 10 %	1'064 ⁷¹

Tabelle 6: Sequenzierfrequenz, Grundlage COVID-19

Für die Szenarien «starke» und «extreme» Pandemien, die in der ersten Welle höhere Infektionszahlen verursachen, müsste die wöchentliche Sequenzierfrequenz im ersten Pandemiejahr grundsätzlich höher liegen als im COVID-19-Szenario. Da jedoch davon auszugehen ist, dass sich bei einer höheren Infektionsrate auch eine breitere Immunität einstellt und die Simulation von Infektionen für fiktive Szenarien über einen längeren Zeitraum als eine Welle

sehr ungenau sein könnte, nimmt die Studie dieselbe Sequenzierfrequenz auch für die stärkeren zwei Szenarien an. Die Sequenzierfrequenz hat Auswirkungen auf die Kostenberechnung. Eine potenzielle Unterschätzung der Kosten aufgrund einer gegebenenfalls notwendigen höheren Sequenzierfrequenz in «starken» und «extremen Pandemieszenarien ist insofern kompensiert, als die Nutzen-Kosten-Bilanz die Kosten in einem Zeitraum von

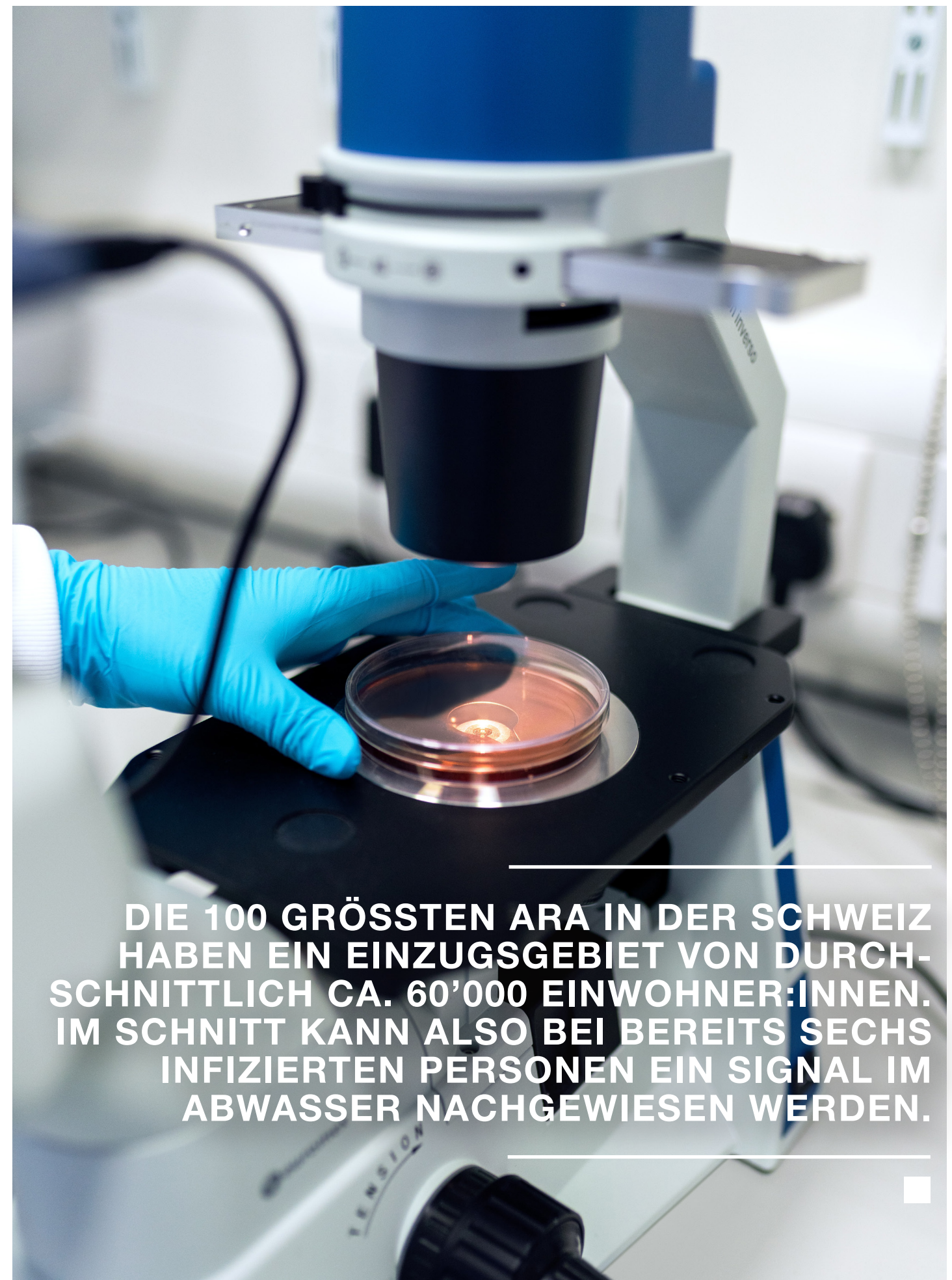
37 Jahren mit dem Nutzen im Zeitraum von nur einer Welle vergleicht.

In der normalen, postpandemischen Lage wird eine wöchentliche Sequenzierungsfrequenz von 191 angenommen. Diese ergibt sich durch zehn % des Mittelwerts des Sieben-Tage-Durchschnitts der COVID-19-Neuinfektionen von 2068 und 1748 zwischen dem 12.12. und 19.12.2022⁷² – eine Referenzwoche in einer postpandemischen, normalen Lage. Für die **präpandemische Phase werden zehn Sequenzierungen pro Woche angenommen**, da die Studie von ca. 100 Infektionen pro Woche ausgeht, von denen zehn % sequenziert werden. Die Annahme orientiert sich an der relativ tiefen Infektionszahl vieler meldepflichtiger Krankheiten wie z.B. Tuberkulose oder Masern. Grundsätzlich fällt die Sequenzierung von nur zehn Proben pro Woche für fünf verschiedene Erreger in der normalen, präpandemischen Lage sehr gering aus. Vor dem Hintergrund der Tatsache, dass die Studie den Nutzen rechnerisch nur für eine erste Welle abbilden kann, die Kosten aber im Zeithorizont von 37 Jahren

betrachtet (vgl. [Kapitel 3.2.3](#)), ist die tief angesetzte Sequenzierungsfrequenz aber gerechtfertigt.

Auch in einer pandemischen und postpandemischen Lage, in der sich die Überwachung primär auf das der Pandemie zugrundeliegende Pathogen ausrichtet, werden parallel 10 Proben pro Woche für die laufende Überwachung anderer Erreger, die nicht pandemisch sind, sequenziert. In einer pandemischen Lage werden demnach insgesamt 1'074 Proben sequenziert, in einer post-pandemischen Lage 201 Proben.

Für den **PCR-Nachweis aus den Abwasserproben** derselben geht die Studie von einer ähnlichen Häufigkeit der Probenentnahme aus, wie diese momentan für das SARS-CoV-2-Abwassermonitoring erfolgt⁷³, nämlich **sechs Proben pro Woche in einer besonderen/ausserordentlichen Lage** sowie drei Proben pro Woche in einer normalen Lage (präpandemisch und postpandemisch). Dieselbe Häufigkeit wird für die Sequenzierung der Abwasserproben angenommen.



DIE 100 GRÖSSTEN ARA IN DER SCHWEIZ HABEN EIN EINZUGSGEBIET VON DURCHSCHNITTlich CA. 60'000 EINWOHNER:INNEN. IM SCHNITT KANN ALSO BEI BEREITS SECHS INFIZIERTEN PERSONEN EIN SIGNAL IM ABWASSER NACHGEWIESEN WERDEN.

Quellenangaben

40 Vergangene Epidemien und Pandemien, BAG: <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/krankheiten/ausbrueche-epidemien-pandemien/vergangene-epidemien-pandemien.html> (12.12.2022).

41 Vgl. Fussnote 17.

42 Gefährdungsdossier Influenza-Pandemie, BABS: https://www.babs.admin.ch/content/babs-internet/de/aufgabenbabs/gefaehrdrisiken/natgefaehrdanalyse/gefaehrrddossier/_jcr_content/contentPar/accordion/accordionItems/gesellschaftsbedingt/accordionPar/downloadlist/downloadItems/157_1604483556672.download/30-Influenza-Pandemie-GD-de.pdf (12.12.2022).

43 Projekt «Pandemieversicherung», EFD: <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/65966.pdf> (12.12.2022).

44 Ergänzende Auskunft zu Katastrophen und Notlagen Schweiz 2020 / Gefährdungsdossier, Influenza-Pandemie, BABS: https://www.babs.admin.ch/content/babs-internet/de/aufgabenbabs/gefaehrdrisiken/natgefaehrdanalyse/gefaehrrddossier/_jcr_content/contentPar/accordion/accordionItems/gesellschaftsbedingt/accordionPar/downloadlist/downloadItems/157_1604483556672.download/30-Influenza-Pandemie-GD-de.pdf (12.12.2022).

45 Ibid.

46 Vgl. Fussnote 34.

47 Gemäss Marschner 2021 vergehen zwischen COVID-Diagnose und Todeszeitpunkt ungefähr 18 Tage. Wir nehmen konservativ 14 Tage an.

48 Die Zahlen beziehen sich auf die Werte im angegebenen Betrachtungszeitraum gemäss COVID-19-Dashboard des BAG, vgl. Fussnote 5.

49 Viele Studien gehen von einer Häufigkeit von rund 20 % aus, doch zeigen andere Ergebnisse eine geringere Prozentzahl von ungefähr 4% aller COVID-Infizierten, vgl. z.B. Hanson et al. 2022. Da die neuen Werte mit grosser Unsicherheit behaftet ist, nehmen wir einen ungefähren Mittelwert von 10% an.

50 Gemäss Quelle aus Fussnote 5 lagen zwischen dem 30.3 und dem 6.5.2020 zwischen 122 und 482 Personen täglich auf der Intensivstation. Unter der Annahme, dass eine Person im Schnitt zwei Wochen auf der Intensivstation verbringt, ergeben sich für den Zeitraum von 51 Tagen (17.3.2020-6.5.2020) 444 bis 1'755 Fälle, im Schnitt also 1'099 Fälle.

51 Flaxman et al. 2020.

52 Nebst Flaxman z.B. auch Fraser 2007, Nouvellet et al. 2018, zu einem gewissen Grad auch Huisman et al. 2020.

53 Scire et al. 2020 kommen zum Schluss, dass der R_0 -Wert im ersten Drittel des Monats März 2020 zwischen 1,5 und 2 lag. Die Studie nimmt daher einen Mittelwert von 1,75 an.

54 Vgl. Fussnote 51.

55 Vgl. Fussnote 53.

56 Wie in der Simulation von Flaxman et al. 2020.

57 Gamma-Verteilung mit den Parametern shape k und scale θ , wobei der Mittelwert $= k * \theta = 6.5$ und der Variationskoeffizient $= k^{-1/2} = 1/\sqrt{k} = 0.62$. $k = (1/0.62)^2 = 2.6$, $\theta = 6.5/2.6 = 2.5$.

58 Gemäss Rugizzi/Gashi 2021 fiel R_0 am 23.3.2020 unter 1, gemäss Lemaitre et al. 2020 sogar bereits am 19.3.2020.

59 Gemäss Althaus 2020. Lemaitre et al. 2020 kommen mit 2,8 auf eine ähnliche Zahl.

60 Ab einer gewissen Anzahl Infizierter, die hospitalisiert werden müssen, sind die Spitalkapazitäten erreicht, aber theoretisch bräuchten diese Personen eine Hospitalisation.

61 Dabei handelt sich um eine Hospitalisationsrate, die rund zwei Mal höher als in der ersten COVID-19-Welle ist.

62 20 % ist eine konservative Annahme, wenn man bedenkt, dass die Sterberate beispielsweise bei einer MERS-CoV Infektion bei rund 35 % liegt, vgl. Centers for Disease Control and Prevention: <https://www.cdc.gov/coronavirus/mers/clinical-features.html> (12.12.2022) oder bei Ebola sogar bei 50%, vgl. WHO, Ebola virus disease: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ebola-virus-disease> (12.12.2022).

63 Piret/Boivin 2021.

64 Gemäss interner Gespräche von Pour Demain mit Expert:innen.

65 Global Polio Eradication Initiative: https://polioeradication.org/wp-content/uploads/2016/07/GPLN_GuidelinesES_April2015.pdf (12.12.2022).

66 Erhebung angeschlossene Einwohner, BAFU: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/massnahmen-zum-schutz-der-gewaesser/abwasserreinigung/erhebung-angeschlossene-einwohner.html> ; https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wasser/fachinfo-daten/ARA_Liste_August2017_Version_Internet_.xlsx.download.xlsx/ARA_Liste_August2017_Version_Internet_.xlsx (12.12.2022).

67 Zeitungsartikel (Tages-Anzeiger), 27.12.2022: <https://www.tagesanzeiger.ch/die-zeit-der-extremen-omikron-wellen-scheint-vorbei-414839150203>.

68 Medienmitteilung 28.05.2021, BAG: <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-88615.html> (12.12.2022). Die EU wird voraussichtlich den Wert von 70 % in der revidierten Abwasserreinigungsrichtlinie vorschlagen, vgl. European Commission, Proposal for a directive of the European parliament and of the council concerning urban wastewater treatment (recast): <https://environment.ec.europa.eu/system/files/2022-10/Proposal%20for%20a%20Directive%20concerning%20urban%20wastewater%20treatment%20%28recast%29.pdf> (12.12.2022).

69 Definition: Die kleinste nachzuweisende Menge des Erregers in einer Probe.

70 WHO, Guidance for surveillance of SARS-CoV-2 variants: <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1361901/retrieve> (12.12.2022).

71 Im Mai 2021 wurden in der Schweiz rund 2'000 positive COVID-19-Proben sequenziert, vgl. Artikel SRF, 19.5.2021: <https://www.srf.ch/news/schweiz/erbgut-des-virus-erforschen-schweiz-sequenziert-weniger-corona-proben-als-andere-laender> (12.12.2022). Über einen Zeitraum eines ganzen Jahres, in der Wellen abflachen und wieder ansteigen, sind die knapp über 1'000 Sequenzierungen pro Woche nicht unterschätzt.

72 Vgl. Fussnote 5.

73 Gemäss Medienmitteilung des BAG zur Erweiterung des Abwassermonitorings auf über 100 Kläranlagen werden Proben zwei bis sechs Mal pro Woche entnommen, vgl. Fussnote 68.

5.

Kosten des institutionalisierten Frühwarnsystems

5.1 Kostenstruktur

Die Kosten eines institutionalisierten Frühwarnsystems bestehen aus den drei Komponenten (1) Abwassermonitoring, (2) Sequenzierung, (3) Datenprozessierung, -management, -analyse und -interpretation für eine Massnahmenverordnung (vgl. [Kapitel 3](#)). Für die Komponenten 1 und 2 orientieren sich die Kosten grundsätzlich an den Betriebskosten der genomischen und Abwasser-Überwachung von SARS-CoV-2, sind aber vorsorglich etwas höher berechnet.

Beispielsweise wurden für die Sequenzierung 20-50 % zusätzliche, indirekte Kosten

mitgerechnet und auch bei den ARA Kosten für die Probenentnahme verrechnet, obwohl diese mit anderen Routine-Analysen koordiniert werden könnten. Transportkosten wurden ebenfalls konservativ eingerechnet, auch wenn bei gewissen ARA das Betriebspersonal die Proben direkt selber zum Analyselabor bringen kann und in dem Fall keine externen Kosten entstünden.

Für die Datenanalyse und -interpretation zur gezielten und frühzeitigen Massnahmenanordnung werden Personalkosten verrechnet und damit zusätzliche Ausgaben einbezogen, die im Rahmen der jetzigen COVID-19-Überwachung noch nicht existieren oder verstärkt werden könnten.

Da es sich bei den einzelnen Kostenstellen um mehrere Kostenschätzungen verschiedener Expert:innen handelt, wurde eine Bandbreite mit tiefstem und höchstem Wert sowie einem Mittelwert ermittelt.

5.1.1. Kosten Abwassermonitoring

Der Kostenblock Abwassermonitoring lässt sich für die laufenden Betriebskosten in folgende vier Kostenstellen einteilen:

Kostenstelle	Kosten in CHF	Beschreibung
Probenentnahme Abwasserreinigungsanlage (ARA)*	0-50; durchschnittlich 25	Aufwand für die Probenentnahme (Entnahme der Probe in der ARA)
Transport*	20	Verpackung und gekühlter Transport von der ARA zum Labor
Labor (Grundtarif)*	185-200; durchschnittlich 192,50 Bevölkerung	Grundtarif Laboranalyse: Probenaufbereitung, Extraktion/Konzentration etc. inkl. Flaschen für die Probennahme
Labor (Nachweis Erreger)**	5-10; durchschnittlich 7,5	Test zum Nachweis des Erregers mit Multiplex PRC Assay

* Abhängig von der Probenanzahl pro Woche und ARA

** Abhängig von der Anzahl Erreger, Probenanzahl pro Woche und ARA. Diese Kosten beziehen sich nur auf die Primer und Sonden des Multiplex PCR Assay pro neue Erreger, da die Kosten für die Probenaufbereitung mit Extraktion/Konzentration in den Labor-Grundtarifkosten enthalten sind.

Die Studie geht ferner davon aus, dass zur Ausweitung des Abwassermonitorings auf weitere Erreger keine weiteren Investitionskosten nötig sind, da im Rahmen der COVID-19-Pandemie eine zulängliche Infrastruktur aufgebaut werden konnte, die für den Betrieb des Abwassermonitorings als komplementäres, nicht aber ausschliessliches Element des Pandemiefrühwarnsystems ausreicht.

5.1.2. Kosten Sequenzierung

Der Kostenblock zur Sequenzierung beinhaltet für Abwasser- und Patientenproben aus den Meldesystemen folgende Kostenstellen:

Kostenstelle	Kosten in CHF	Beschreibung
Sequenzierung pro Probe (inkl. bioinformatische Analyse und Gemeinkosten von 20-50 %)*	Abwasserproben: 174-450; durchschnittlich 271	Nebst den Kosten für die Sequenzierung sind auch Kosten für eine bioinformatische Standard-Analyse sowie Gemeinkosten von 20-50 % verrechnet, sofern diese nicht schon im Grundtarif der Sequenzierung enthalten sind.
Sequenzierung pro Probe (inkl. bioinformatische Analyse und Gemeinkosten von 20-50 %)**	Patientenproben: 100-338; durchschnittlich 244	Nebst den Kosten für die Gensequenzierung sind auch Kosten für eine bioinformatische Standard-Analyse sowie Gemeinkosten von 20-50 % verrechnet, sofern diese nicht schon im Grundtarif der Gensequenzierung enthalten sind.
Transport***	20	Kosten für den gekühlten Transport vom Labor zu den drei Kompetenzzentren für Hochdurchsatzsequenzierung.

* Abhängig von der Probenanzahl pro Woche und ARA

** Abhängig von der Probenanzahl pro Woche

*** Abhängig von der Probenanzahl pro Woche. Falls ein Labor selbst sequenziert, würden diese Kosten wegfallen.

Die Kosten beziehen sich grundsätzlich auf die Sequenzierung von Viren und nicht etwa Bakterien, da beispielsweise Antibiotikaresistenzen im eng definierten Nutzenmodell nicht integriert sind (vgl. [Kapitel 6.2](#)).

Die Studie nimmt an, dass die Preise über die nächsten 37 Jahre stabil bleiben, auch wenn diese in der Zukunft voraussichtlich fallen dürften. Ebenso wenig werden die Skaleneffekte berücksichtigt, die mit der Automation der Sequenziermaschinen in Schritten von 96 Proben erreicht werden können. All dies im Sinne einer konservativen Kostenberechnung, um die tatsächlichen Kosten des Frühwarnsystems nicht zu unterschätzen.

5.1.3. Datenprozessierung, -management, -analyse & -interpretation für Massnahmenverordnung

Für den Betrieb der Datenplattform SPSP sowie deren Ausbau, um vier weitere Pathogene sowie Abwasserdaten zu integrieren, fallen Kosten wie folgt an:

Kostenstelle	Kosten in CHF	Beschreibung
Betrieb SPSP (jährlich)	183'500-300'000; durchschnittlich 241'750	Kosten für die Koordination der Partner, Qualitätskontrolle der Daten, Kommunikation mit internationalen Datenbanken, IT-Infrastruktur, kleinere Anpassungen (bioinformatische Tools etc.)
Ausbau SPSP*	71'000-150'000; durchschnittlich 110'500	Kosten für die Integration neuer Pathogene sowie von Abwasserdaten, entsprechende IT-Anpassungen, Verbindung mit neuen Datenbanken etc.

* Diese Kosten fallen nicht jedes Jahr, sondern einmalig an.

Ferner sind ca. drei bis vier Bundesstellen der Lohnklassen 18-24 notwendig. Einerseits werden zwei Personen mit Fachwissen in Epidemiologie und Bioinformatik benötigt, die Daten aus dem Frühwarnsystem schnell und akkurat interpretieren können, andererseits sind ein:e bis zwei Kommunikationsspezialist:innen erforderlich, welche die entsprechenden Informationen zeitnah und adressat:innengerecht vermitteln können.

Kostenstelle	Kosten in CHF	Beschreibung
Personalaufwand (jährlich)	450'000*	Aufgewendete Zeit für die Datenanalyse, Interpretation und Kommunikation zur konkreten Massnahmenverordnung

* Hierbei handelt es sich um eine grobe Kostenschätzung.

5.2. Gesamtkostenschätzung Frühwarnsystem

Die jährlichen Kosten eines institutionalisierten Frühwarnsystems unterscheiden sich lagespezifisch.

- Die Kosten im Zeitraum einer besonderen/ausserordentlichen Lage belaufen sich pro Jahr im Schnitt auf rund **31 Millionen Franken**.⁷⁴
- Da in der Zeit unmittelbar nach der Pandemie weniger Fälle nachgewiesen und sequenziert werden müssen, sind die Kosten mit rund **sieben Millionen Franken nach Aufhebung der besonderen Lage** tiefer.
- Auch in der **normalen, präpandemischen Lage** fallen **die totalen Kosten des Frühwarnsystems** mit durchschnittlich **rund fünf Millionen** Franken geringer aus als während einer Pandemie.
- Über einen **Zeithorizont von 37 Jahren** belaufen sich **die jährlichen Kosten für das gesamte Frühwarnsystem**, das in allen drei Lagen im Betrieb ist, auf durchschnittlich etwas mehr als **sechs Millionen Franken**, da die tiefsten Kosten in einer Lage angesiedelt sind, die am längsten (gemäss Studienannahme 31 Jahre, elf Monate) dauert, während die höheren Kosten in der besonderen/ausserordentlichen Lage im Verhältnis mit nur zwei Jahren und einem Monat über eine kurze Zeitperiode entstehen. **In einem normalen Jahr betragen die Kosten des Frühwarnsystems rund fünf Millionen Franken.**

Die höchsten Kosten fallen bei der Sequenzierung von Abwasser- und Patientenproben an. In einer besonderen/ausserordentlichen Lage mit einer hohen Infektionsrate nimmt die wöchentliche Sequenzierungsfrequenz zu, weswegen die Kosten für die Sequenzierung von Abwasser- und Patientenproben fast 70 % der Gesamtkosten ausmachen. Die Kosten für das Abwassermonitoring sind bei einem Anteil von rund 28 % an den Gesamtkosten günstiger. Die Kosten für Datenprozessierung, -management, -analyse & -interpretation für etwaige Massnahmenverordnungen stellen mit – je nach Lage – zwei bis 18%igem Anteil an den Gesamtkosten des Frühwarnsystems eine weniger substanzielle Kostenkomponente dar. Die genaue Berechnung der jährlichen Kosten mit den verschiedenen Parametern für die verschiedenen Lagen findet sich im [Anhang A.2](#).

Ø Jährliche Kosten Frühwarnsystem				
Lage	Abwassermonitoring	Sequenzierung	Datenanalyse & Interpretation	Gesamtes Frühwarnsystem
Normal präpandemisch	CHF 2'145'000	CHF 2'145'000	CHF 922'250 ⁷⁵	CHF 5'147'770
Besonders/ ausserordentlich	CHF 8'580'000	CHF 21'488'633	CHF 691'750	CHF 30'760'383
Normal postpandemisch	CHF 2'145'000	CHF 4'513'860	CHF 691'750	CHF 7'350'610

Tabelle 7: Durchschnittliche jährliche Kosten für ein Frühwarnsystem nach Lage



Quellenangaben

74 Die durchschnittlichen Kosten wurden jeweils qua Mittelwert der minimalen und maximalen Kosten ermittelt.

75 Die Kosten fallen in dieser Lage höher aus als in den anderen Lagen, da die einmaligen Kosten für den Ausbau der SPSP hier verrechnet wurden.

6.

Volkswirtschaftlicher Nutzen des institutionalisierten Frühwarnsystems

die Situation zugeschnittene Massnahmen (nicht-pharmazeutische Interventionen, Impfstoffbereitstellung) frühzeitig verordnet werden. Die epidemiologische Entwicklung lässt sich über öffentlich zugängliche Informationsplattformen zudem verständlich aufbereiten und visualisieren, woraus die Bevölkerung freiwillige Massnahmen ableiten kann.

Warum und wie die Informationsgrundlage durch ein Frühwarnsystem besser und früher zugänglich ist, wird für die Hauptkomponenten des Frühwarnsystems im Folgenden konkret erläutert.

6.1.1. Nutzen durch Abwassermonitoring

- **Effizienter:** Mit wenigen Proben aus dem Abwasser kann ein repräsentatives Bild von bis zu ca. 450'000 Einwohner:innen erfasst werden. Damit können die Viruslast in der Population, d.h., die Gesamtmenge der von der gesamten Bevölkerung in das Einzugsgebiet abgegebenen Viren bzw. die Summe aller individuellen Viruslasten von infizierten Personen sowie die Summe der bekannten Virusvarianten, besser abgeschätzt werden. Da die Viruslast aus dem Abwasser laut Expert:innen gut mit den klinisch gemeldeten Fällen korreliert, lassen sich die Daten aus dem Abwasser als Näherungswert für klinisch gemeldete Fälle nutzen. So können mit dem Abwasser

DER GRUNDLEGENDE
NUTZEN DES
FRÜHWARNSYSTEMS
LIEGT DARIN, DASS
FRÜHZEITIG ZUVERLÄSSIGE
INFORMATIONEN ÜBER
DEN PANDEMIEVERLAUF
VORLIEGEN.

6.1. Wirkungsmodell Nutzen

Der grundlegende Nutzen des Frühwarnsystems liegt darin, dass frühzeitig zuverlässige Informationen über den Pandemieverlauf vorliegen, welche zur Eindämmung der exponentiellen Ausbreitung von Infektionskrankheiten genutzt werden können. Fachpersonen und Regierungsmitglieder sind damit genauer über die epidemiologische Situation informiert, was als Entscheidungsgrundlage sowohl für bereits in der Schweiz vorhandene Erreger als auch für solche, die aufgrund einer Epidemie/Pandemie bald in der Schweiz auftauchen könnten, dient. So können sinnvolle, auf



potenziell grosse geografische Regionen getestet und Ressourcen für klinische PCR-Tests und Sequenzierungen gezielt dorthin gelenkt werden, wo besonders viele Infektionen festgestellt werden. Auch andere geographisch beschränkte bzw. regionale Massnahmen wie etwa gezielte Testkampagnen, Teillockdowns in bestimmten Regionen etc. lassen sich so besser ableiten.

- **Weniger Bias:** Berechnungen von epidemiologischen Kennzahlen wie Inzidenzen oder Reproduktionszahl, die ausschliesslich auf klinischen Diagnosen basieren, haben typischerweise Verzerrungen, da sich nicht alle Personen gleich häufig testen lassen. Proben aus dem Abwassermonitoring werden nicht durch Unterschiede im klinischen Prüfungsverhalten verzerrt. Zum einen können auch symptomlose Fälle Erbgut des Erregers ins Abwasser ausscheiden und dadurch erkannt werden⁷⁶, zum anderen werden auch Infektionen von Personen erfasst, die sich trotz Symptomen nicht im Gesundheitswesen testen lassen. Dieser Effekt kommt besonders zum Tragen, wenn keine oder nur wenige klinische Tests zur Verfügung stehen oder wenn die Testbereitschaft in der Bevölkerung niedrig ist (z.B., wenn Tests mit hohen Kosten oder Stigmatisierung verbunden sind, kommerzielle Selbsttests weit verbreitet sind oder bei Erregern, die zu milden, unspezifischen oder asymptomatischen Krankheitsverläufen führen). Dadurch kann eine mögliche Dunkelziffer besser eingeschätzt, aber auch überprüft werden, ob die Krankheitsinzidenz überschätzt wird, wenn beispielsweise eine Testinfrastruktur rasch ausgeweitet wird und sich viele Menschen testen lassen, die schon in den vorgehenden Wochen infiziert wurden.
- **Schneller:** Studien aus verschiedenen Ländern zeigen einen zeitlichen Vorsprung des Abwassermonitorings von fünf bis 14 Tagen gegenüber der Meldung von klinischen Fällen. Dieser zeitliche Vorsprung ist bei einer geringen Anzahl klinisch durchgeführter Tests besonders gross, z.B. in einer präpandemischen oder postpandemischen Phase.⁷⁷ Für viele Erreger bietet das Abwasser damit eine schneller verfügbare Bewertungsgrundlage zur Verbreitung auf Bevölkerungsebene.

Wichtig: Trotz seiner Vorteile ist das **Abwassermonitoring als ergänzender Indikator und nicht als Ersatz für klinische Tests** einzuordnen. Zur Verhinderung und Bekämpfung von Epidemien und Pandemien werden vielseitige und einander ergänzende Werkzeuge benötigt.

6.1.2. Nutzen durch Sequenzierung von Abwasser- und Patientenproben

- **Erkennung von besorgniserregenden Varianten:** Mit der Sequenzierung von Abwasser- und Patientenproben können neue, besorgniserregende Varianten, die in der Bevölkerung zirkulieren, nachgewiesen werden. Das Abwassermonitoring kann mit wenigen Proben auf den Wachstumsverlauf von Erregervarianten in der gesamten Bevölkerung schliessen.⁷⁸
- **Information zu Übertragungswegen/-dynamiken durch sequenzierte Patientenproben:** Neben der Bestimmung des Erregers (z.B. der Virusvariante) kann die Sequenzierung von klinischen Proben Übertragungswege/-dynamiken und Clusterbildungen (lokal, regional) analysieren, da ein Testresultat einer bestimmten Person in den grösseren soziodemografischen Kontext gesetzt werden kann. So lässt sich beispielsweise nachverfolgen, ob eine Häufung von Infektionen in einem Spital oder einer Schule darauf zurückzuführen ist, dass sich die Personen voneinander oder ausserhalb angesteckt haben. Je nachdem können bspw. Einzelisolierungen/-schliessungen effektiver sein als Kollektivlockdowns/-schliessungen; Massnahmen können lokal beispielsweise für nur eine Schule oder ein Spital veranlasst werden. Die Sequenzierung bietet damit ein hilfreiches Tool, um Übertragungswege nachzuvollziehen, v.a. wenn dies via traditionellem Contact Tracing nicht möglich ist – beispielsweise, weil eine Person im Zeitraum zwischen Ansteckung und Ausbruch der Krankheit im Schnitt mit mehreren infizierten Personen in Kontakt war oder bei hoher Dunkelziffer aufgrund asymptomatischer Krankheitsverläufe.
- **Verfolgung des Schweregrads von Erkrankungen:** Durch die Sequenzierung von Patientenproben kann verfolgt werden, ob infizierte Personen bei neuen Varianten eines Erregers (z.B. Virusmutationen) schwerer erkranken.
- **Kontrolle der Wirksamkeit von Massnahmen:** Mittels Informationen aus der Sequenzierung von Patientenproben lassen sich verordnete Massnahmen bzgl. ihrer Wirksamkeit besser bewerten: Wird der richtige Impfstoff geimpft? Werden die nachverfolgten Übertragungswege durch die Massnahmen gezielt unterbrochen oder nicht? Mittels einer Sequenzierung von Abwasserproben lassen sich Massnahmen auf ihre Wirksamkeit hin überprüfen und es wird flächendeckend nachvollziehbar, welchen Einfluss das Ergreifen und das Lockern von Massnahmen auf die Zirkulation einer Virusvariante haben.

- **Wirksamkeit von Impfstoffen bei Varianten:** Durch die Sequenzierung einer geimpften, aber infizierten Person lässt sich ermitteln, auf welche neuen Varianten die Immunabwehr möglicherweise nicht anspricht.

6.1.3. Datenprozessierung, -management, -analyse & -interpretation für Massnahmenverordnung

- **Handlungsfähigkeit durch Datenprozessierung:** Auch wenn wichtige Daten aus Abwasser- und Patientenproben vorliegen, werden sie nur durch schnelle Prozessierung für eine Regierung nützlich. Die Auswertung und Analyse der durch das Frühwarnsystem bereitgestellten Daten ist entscheidend, damit diese nicht rein informativer Natur sind, sondern konkrete Handlungsmöglichkeiten auf Ebene der Regierung und im Idealfall auch freiwillige Verhaltensänderungen der Bevölkerung auslösen können: Nebst behördlichen Massnahmen könnten so bei hoher Ausbreitung eines Erregers beispielsweise die Kontakte zu Risikopersonen freiwillig reduziert werden (vgl. [Kapitel 6.1](#)).
- **Stärkung des Vertrauens zwischen Bevölkerung und Regierung:** Durch ein für alle zugängliches Datenportal, das auch für Laien die aktuelle epidemiologische Lage gut verständlich aufzeigt, können Massnahmenverordnungen einer Regierung besser nachvollzogen werden. So lässt sich das Vertrauen der Bevölkerung in die Regierung stärken.

6.2. Enge Nutzendefinition für quantifizierbare Aussagen

Der gesamte Nutzen, der sich durch die verschiedenen Komponenten des Frühwarnsystems gemäss [Kapitel 6.1](#) ergibt, ist aufgrund der unterschiedlichen Vorteile nur schwer quantifizierbar und würde den Rahmen dieser Studie sprengen. Wie bereits erwähnt, berechnet die enge Nutzendefinition **ausschliesslich den Nutzen des Frühwarnsystems in einer ersten Welle**. Für quantifizierbare Aussagen zum Nutzen eines solchen

Systems wird vereinfachend nur ein Aspekt des Nutzens des Abwassermonitorings abgebildet, nämlich, dass eine Regierung aufgrund des früheren Erkennens epidemiologischer Trends von bekannten Erregern im Abwasser Massnahmen früher verordnen kann. Damit kann die erste Pandemiewelle früher gebrochen und abgeflacht werden. Auf dieser Grundlage wird auch der Nutzen der weniger eindeutig quantifizierbaren Nutzenaspekte des Frühwarnsystems (insbesondere der Sequenzierung) geschätzt.

Gemäss aktueller Studien zu SARS-CoV-2 wird gemeinhin angenommen, dass das Abwassermonitoring gegenüber klinischen Tests einen Informationsvorsprung von fünf bis 14 Tagen aufweist.⁷⁹ Der maximale Wert von zwei Wochen wäre laut der von Pour Demain befragten Expert:innen in einer Situation, in der bereits viele PCR-Tests durchgeführt und die Tests auch schnell ausgewertet werden können, zu hoch angesetzt. Die Studie geht aber ausschliesslich von einer ersten Pandemiewelle aus, in der 14 Tage als maximaler Vorsprung angemessen sind: Personen lassen sich dann noch nicht so häufig testen (z.B., weil Tests noch nicht zur Verfügung stehen, die Regierung noch keine umfassende Testkampagnen eingeführt hat und/oder die Tests noch nicht so schnell ausgewertet werden können wie zu einem späteren Zeitpunkt der Pandemie⁸⁰). Der zeitliche Informationsvorsprung ist vom einzelnen Erreger abhängig. Forschende schätzten beispielsweise für Influenzaviren im Abwasser in Ottawa einen Zeitvorsprung von 17 Tagen.⁸¹ Basierend auf diesen Angaben nimmt die vorliegende Studie an, dass Pathogene maximal 14 Tage früher im Abwasser nachgewiesen werden können.

Fachpersonen des BAG hielten es im Gespräch mit Pour Demain jedoch nicht für realistisch, dass Massnahmen aufgrund eines einzelnen Indikators auch zwei Wochen früher bereits implementiert werden könnten. Auch weitere Faktoren beeinflussen die Massnahmenumsetzung:

z.B. der politische Wille, restriktive Massnahmen einzuführen, und die tatsächliche Befolgung der Massnahmen seitens der Bevölkerung. Die Studie bezieht daher mit ein, dass bis zur Definition und Verordnung eines Massnahmenpakets Zeit verstreicht, und geht von einem realistischen **zeitlichen Vorsprung einer früheren Massnahmenverordnung von fünf bis zehn Tagen aus**.

Statt eines Lockdowns könnten auch diverse andere nicht-pharmazeutische Massnahmen beschlossen werden, denn gerade dank Abwassermonitoring kann künftig in einer besonderen/ ausserordentlichen Lage über regional spezifische Massnahmen als gezielte Alternative zu nationalen Lockdowns besser entschieden werden (vgl. [Kapitel 6.1.1](#)). Ebenfalls aus Gründen der Vereinfachung und um den Effekt der früheren Massnahmeneinführung möglichst sauber und zeitlich klar begrenzt ermitteln zu können, wird dennoch **nur der Lockdown, wie er im Frühjahr 2020 beschlossen wurde, und keine andere Massnahme in Betracht gezogen**. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass bei einem institutionalisierten Frühwarnsystem, welches die epidemiologische Situation laufend, d.h. auch in einer normalen Lage, beobachtet, restriktive Massnahmen wie Lockdowns weniger wahrscheinlich werden, weil die Infektionskurve durch früheres Einführen von weniger einschneidenden Strategien wie beispielsweise einer Maskenpflicht und

geographisch spezifischer Massnahmen bereits zu Beginn einer Welle abgeflacht werden kann.

Durch diese enge Nutzendefinition werden eine Reihe **weiterer Nutzenaspekte**, die zweifellos zentral für ein Pandemie-Frühwarnsystem sind, sich **im Rahmen dieser Studie** jedoch nur schwer quantifizieren lassen, **ausgeblendet**:

- Entdeckung von global neuartigen, potenziell pandemischen Erregern erstmals in der Schweiz (Entdeckung von lokalen Ausbrüchen in der normalen Lage)
- Nachweis von direkten Übertragungen bei lokalen Ausbrüchen (Schulen, Spitäler etc.)
- Beobachtung des Schweregrads von Krankheitsverläufen durch neue Pathogenvarianten
- Public Health-Nutzen eines epidemiologischen Überwachungssystems in der normalen Lage, beispielsweise für die Beobachtung von Antibiotikaresistenzen, Drogen (Suchtmonitoring)⁸² oder Arzneimitteln im Abwasser⁸³
- Nutzen einer gesamten Pandemie bestehend aus mehreren Wellen
- Nutzen für die Impfstoffherstellung, -anpassung und den Impfstoffeinkauf⁸⁴
- Freiwillige Massnahmenumsetzung durch eine öffentlich zugängliche, für Laien verständlich aufbereitete Informationsplattform, die die epidemiologische Lage laufend

dokumentiert.

- Gezielte Verordnung, frühere Aufhebung oder gar Vermeidung restriktiver Massnahmen durch orts- und/oder gruppenspezifische, beinahe Echtzeit-Information über den Pandemieverlauf. So werden durch behördliche Massnahmen bedingte volkswirtschaftliche Schäden verringert.⁸⁵
- Verringerung der Todesfälle und Krankheiten dank weniger Aufschiebungen notwendiger medizinischer Behandlungen wie etwa Operationen

6.3. Schätzung des Nutzens

Als Grundlage für die Schätzung des Nutzens in der ersten Welle dient ein Mengen- und Wertegerüst (vgl. auch [Anhang A.1](#)). Für die Berechnung des Nutzens gehen die Studie jeweils von konservativen Annahmen aus, d.h. bei unterschiedlichen Angaben oder Schätzungen wird mit der konservativeren Annahme gerechnet. Ferner wird nur der Nutzen einer ersten Welle abgebildet. Der **Nutzen des Frühwarnsystems wird als vermiedener Schaden in Franken berechnet**.

Drei Aspekte werden berechnet:

1. Vermiedene Produktionskosten aufgrund vermiedener Arbeitsausfälle durch geringere Infektionszahlen
2. Vermiedene Gesundheitskosten aufgrund weniger Hospitalisierungen,

weniger IPS-Patient:innen und weniger Long-Covid-ähnlicher-Fälle bzw. langfristiger gesundheitlicher Probleme

3. Vermiedene intangible Kosten aufgrund weniger Todesfälle

6.3.1. Zeitfaktor

Grundsätzlich ist zur Bekämpfung eines Pandemieausbruchs der richtige Zeitpunkt massgebend. Wenn der exponentielle Anstieg der Infektionen frühzeitig gestoppt werden kann, statt erst bei hohen Fallzahlen oder Spitalüberlastung zu reagieren, können schwerwiegende wirtschaftliche und soziale Folgen der Pandemie vermieden werden. Je früher eine Regierung also über einen Ausbruch Bescheid weiss, desto besser.

Da zwischen einer Infektion und dem Auftreten der ersten Symptome (Inkubationszeit) sowie dem Nachweis im Gesundheitswesen Zeit verstreicht, ist der automatische Infektionsnachweis im Abwasser v.a. bei geringer Durchführung von Tests und Verzögerungen von klinischen Meldungen für die Früherkennung von Pathogenen besser geeignet (vgl. [Kapitel 6.1.1](#) und [6.2](#)). Die vorliegende Studie geht, wie in [Kapitel 6.1.1](#) erwähnt, von

einem Zeitvorsprung von fünf bis zehn Tagen aus.

6.3.2. Entscheid über Massnahmen und Umsetzung

Zuverlässige und frühzeitige Informationen über den Pandemieverlauf können Entscheidungsträger:innen im Gesundheitswesen, der Wirtschaft und Politik, Wissenschaftler:innen sowie Privatpersonen unterstützen. In der vorliegenden Studie wird jedoch nur der Nutzen berechnet, der von den Behörden durch frühere oder gezieltere Massnahmen für die Wirtschaft und Gesellschaft erzielt werden kann. In der Realität würde ein Teil der Bevölkerung dank der Informationen über das Infektionsgeschehen auf der öffentlich zugänglichen Datenplattform freiwillig auch früher Vorsichtsmassnahmen umsetzen und/oder anderweitig positiv zur Eindämmung der Pandemie beitragen (vgl. [Kapitel 6.1](#) und [6.2](#)).

6.3.3. Nutzenberechnung in sechs Schritten

Die Berechnung des Nutzens in der ersten Welle erfolgt in sechs Schritten für die drei Szenarien COVID-19, «starke» und «extreme» Pandemie.

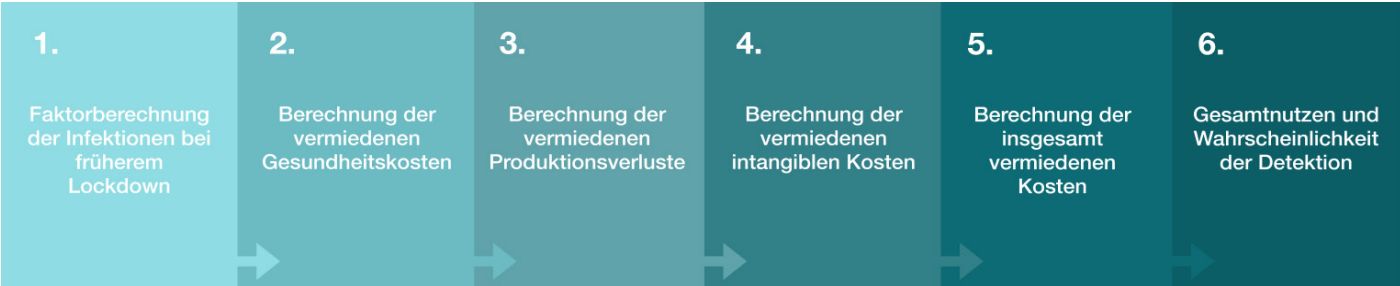


Abbildung 3: Die sechs Schritte der Nutzenberechnung



**ZUR BEKÄMPFUNG EINES
PANDEMIEAUSBRUCHS IST
DER RICHTIGE ZEITPUNKT
MASSGEBEND. WENN
DER EXPONENTIELLE
ANSTIEG FRÜHZEITIG
GESTOPPT WIRD, KÖNNEN
SCHWERWIEGENDE
WIRTSCHAFTLICHE UND
SOZIALE FOLGEN DER
PANDEMIE VERMIEDEN
WERDEN.**

Schritt 1: Faktorberechnung der Infektionen bei früherem Lockdown

Im ersten Schritt der Nutzenberechnung wird ermittelt, wie viele Infektionen in einer ersten Pandemiewelle vermieden werden können, wenn der Lockdown nicht am Tag 23 (entspricht im Szenario COVID-19 dem 17. März 2020), sondern bereits früher eingeführt wird. Zu diesem Zweck simuliert die Studie die kumulative Anzahl von Infektionen mittels der Renewal-Equation Formel (vgl. [Kapitel 4.2.2](#)) für die Varianten a) ohne früheren Lockdown, b) mit fünf Tage früherem Lockdown, c) mit zehn Tage früherem Lockdown. Aus dem Vergleich der Varianten a) und b) respektive a) und c) ergibt sich jeweils ein Faktor, der beschreibt, wie viel weniger Personen infiziert würden. Ein Faktor 2 würde beispielsweise bedeuten, dass sich durch einen früheren Lockdown 2-mal weniger Personen infizieren. Entsprechend würden bei einem früheren Lockdown die Hälfte der Infektionen vermieden werden können. Die Simulation wird in einem Zeitraum von 70 Tagen berechnet. Dieser Zeitraum ergibt sich aufgerundet aus der Zeit zwischen dem Ausbruch der COVID-19-Pandemie in der Schweiz (am 24. Februar 2020) bis zum Ende des Lockdowns (26. April 2020). Ferner wird dadurch auch sichergestellt, dass die Simulation erst dann abbricht, wenn R über mehrere Wochen stabil unter eins liegt und die Zeit der exponentiellen Ansteckung damit vorbei ist.

Für die drei Szenarien COVID-19, «starke» und «extreme» Pandemie werden die Reproduktionszahl R, Generationszeit, die Zeitspanne, bis R auf 0,9 fällt, sowie die Definitionen der Simulationen aus [Kapitel 4.2.2](#) übernommen.

Für das **COVID-19-Szenario** werden die realen Infektionszahlen der ersten 23 Tage bis zur Einführung des Lockdowns sowie im Szenario «0 Tage früher» alle Angaben bis zum Tag 70 gemäss COVID-19-Dashboard des BAG verwendet⁸⁶.

Für die weiteren **Pandemieszenarien («stark», «extrem»)** werden die Infektionszahlen ausgehend von sechs aufeinanderfolgenden Tagen mit einer vordefinierten Anstiegsrate simuliert (vgl. [Kapitel 4.2.2](#)).

COVID-19-PANDEMIEVERLAUF ERSTE WELLE, FRÜHERE MASSNAHMENEINFÜHRUNG

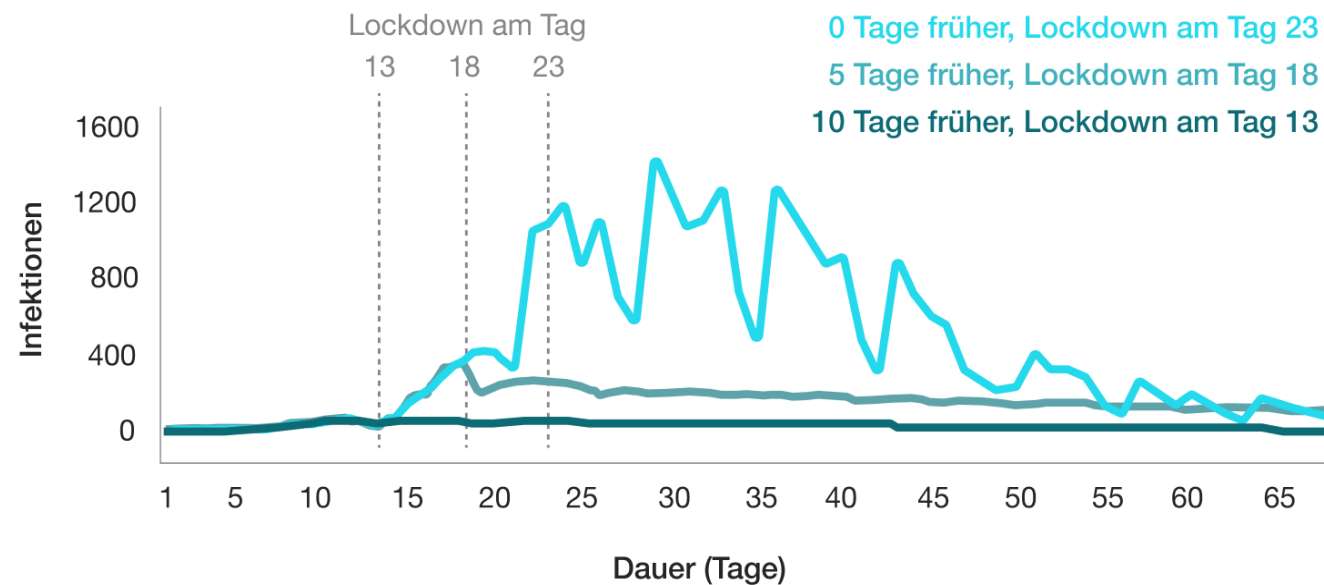


Abbildung 4: COVID-19-Pandemieverlauf der ersten Welle, frühere Massnahmeneinführung

Wie Abbildungen 4 und 5 zeigen, kann die Infektionskurve bei fünf bzw. zehn Tage früherer Einführung eines Lockdowns abgeflacht werden. Die Infektionen innerhalb der betrachteten 70 Tage (definierter Zeitraum der ersten Welle, vgl. [Kapitel 4.2.2](#)) nehmen bei fünf Tage früherer Einführung um **Faktor 2,8**, bei zehn Tage früherer Einführung sogar um Faktor **11,2** ab.

Ausgedrückt in Prozent führt ein fünf bzw. zehn Tage früherer Lockdown zu einer Reduktion der Infektionszahlen um 65 % bzw. 91 %. Zum Vergleich: Althaus et al. 2020 ermitteln einen Faktor von 1,25 pro Tag früherer Einführung⁸⁷, was auf fünf bzw. zehn Tage berechnet einen Faktor von 3,1 (1.25^5) bzw. 9,3 (1.25^{10}) ergibt. Eine weitere Studie in England von Arnold

et al.⁸⁸ kommt mit einer Reduktion um 74 % bzw. 93 % der COVID-19-Infektionen bei einem eine Woche bzw. zwei Wochen früheren Lockdown zu einem ähnlichen Ergebnis.

Das Frühwarnsystem weist insbesondere durch die Sequenzierung einen zusätzlichen Nutzen auf, der nicht genau quantifiziert werden kann. Die Studie nimmt an, dass dieser Faktor, der sich allein durch einen Nutzenaspekt des Abwassermonitorings ergibt, nochmals um konservativ gerechnete zehn % zunimmt. Damit ergibt sich für das Frühwarnsystem mit Abwassermonitoring und Sequenzierung ein Faktor von **3,1** bei fünf Tagen bzw. **12,3** bei zehn Tagen.

VERMIEDENE INFESTIONEN, FRÜHERER LOCKDOWN, ERSTE WELLE, COVID-19

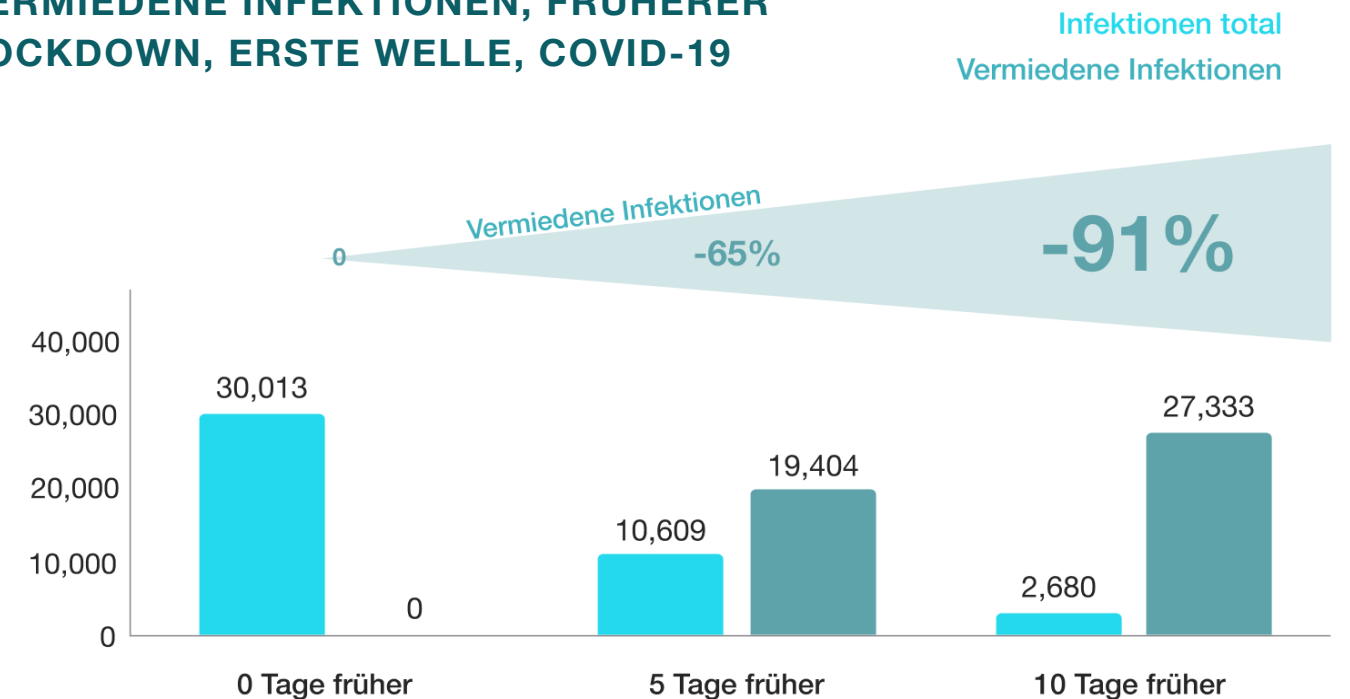


Abbildung 5: Vermiedene Infektionen im Zeitraum der ersten Welle, COVID-19

Für die Pandemieszenarien des Schweregrads «stark» und «extrem», die schwerwiegender als COVID-19 ausfallen, wird von einem höheren R-Wert sowie einer kürzeren Generationszeit ausgegangen (siehe [Kapitel 4.2.2](#)). Ferner wird vermutet,

dass der R-Wert auch in diesen Szenarien wie bei COVID-19 auf unter eins gebracht, d.h. die exponentielle Ausbreitung der Infektionen durch Massnahmeneinführung kontrolliert werden kann.

VERLAUF «STARKE» UND «EXTREME» PANDEMIEEN, FRÜHERE MASSNAHMENEINFÜHRUNG

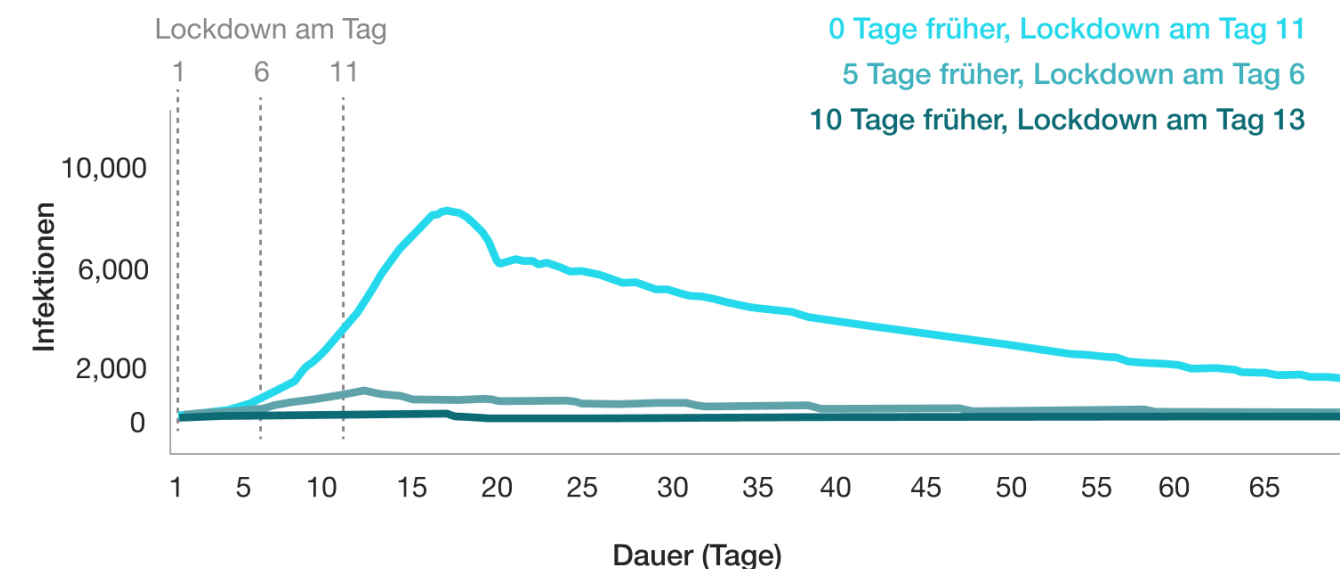


Abbildung 6: Verlauf «starke» und «extreme» Pandemien in der ersten Welle, frühere Massnahmeneinführung

Faktor Szenario «starke» und «extreme» Pandemien

Wie die Abbildungen 6 und 7 zeigen, ist die Diskrepanz zwischen der Anzahl von Infektionen, wenn Massnahmen früher eingeführt werden, noch grösser als im COVID-19-Szenario, da die Infektionskurve schneller ansteigt. Entsprechend ergibt sich ein höherer **Faktor von sieben bzw. 41,5, wenn ein Lockdown fünf bzw.**

zehn Tage⁸⁹ früher eingeführt würde. In Prozent ausgedrückt handelt es sich um eine Reduktion von 86 % bzw. 98 % bei einer fünf bzw. 10 Tage früherer Einführung eines Lockdowns. Inklusive des zusätzlichen Nutzens von zehn % durch die Sequenzierung ergeben sich die Faktoren 7,7 und 45,7.

VERMIEDENE INFEKTIONEN, FRÜHERER LOCKDOWN, ERSTE WELLE, «STARKE» UND «EXTREME» PANDEMIE

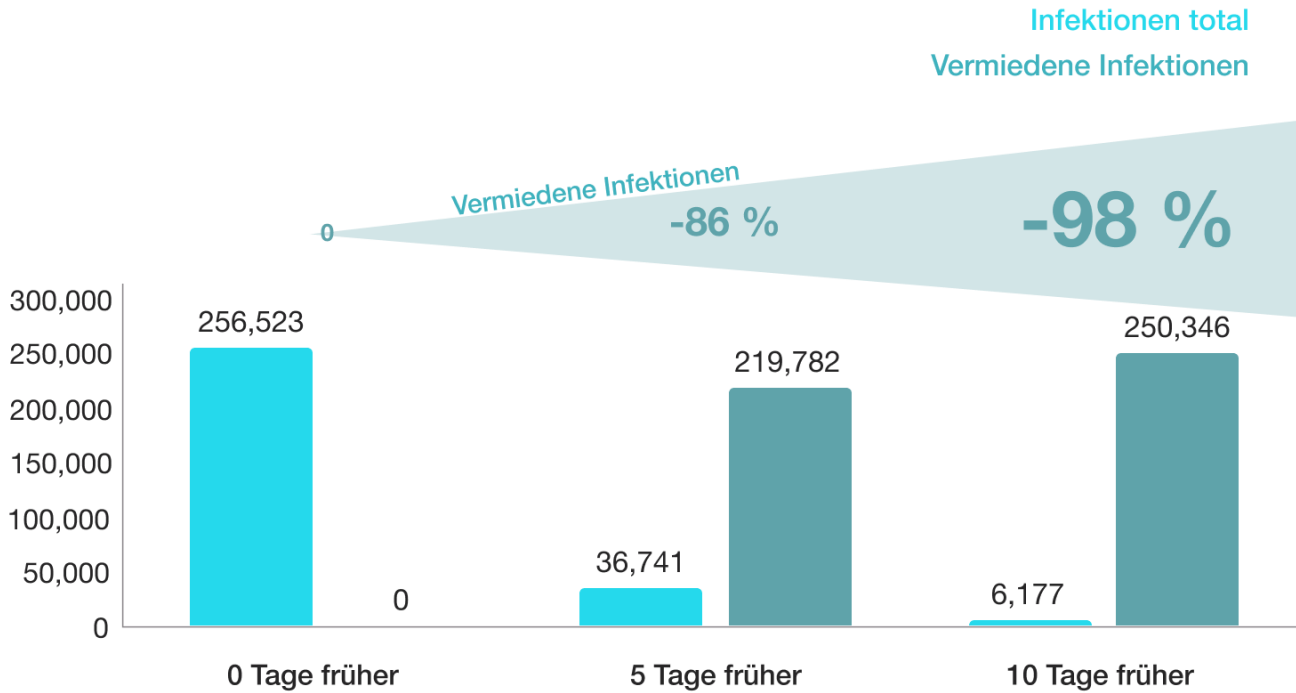


Abbildung 7: Totale Anzahl Infektionen, erste Welle, «starke» und «extreme» Pandemien

Schritt 2: Berechnung der vermiedenen Gesundheitskosten

Bei den Gesundheitskosten betrachtet die Studie die anfallenden **Kosten einer Hospitalisierung, einer Hospitalisierung auf der Intensivstation und die Gesundheitskosten pro Long-Covid-Fall** bzw. für etwaige Langzeitfolgen. Für die

Kosten pro Hospitalisierung und auf den Intensivstationen werden gemäss Angaben von Santésuisse 7'000 bzw. 100'000 Franken angenommen.⁹⁰ Für die mit Long-Covid bzw. langfristigen Erkrankungen einhergehenden Gesundheitskosten wird konservativ ein Wert von 8'500 Franken angenommen.⁹¹

Die vermiedenen Gesundheitskosten ergeben sich aus der Summe der verschiedenen Aspekte im folgenden Mengen- und Wertegerüst:

Aspekte der Gesundheitskosten	Werte	Kosten	Mengen
Kosten pro Hospitalisierung	Vermiedene Hospitalisierte	7'000 CHF	Anzahl vermiedene Hospitalisierte: - Anteil Hospitalisierte - Vermiedene Infizierte
Kosten pro Patient:in auf Intensivstationen	Vermiedene Patient:innen auf Intensivstationen	100'000 CHF	Anzahl vermiedene Patient:innen auf Intensivstationen (IPS): - Anteil IPS-PatientInnen an Hospitalisierten - Vermiedene Hospitalisierte
Kosten pro Long Covid-Fall	Vermiedene Long Covid-Fälle bzw. langfristige Erkrankungen	8'500 CHF	Anzahl vermiedene Long Covid-Fälle: - Anteil Long Covid an Infizierten - Vermiedene Infizierte

Schritt 3: Berechnung der vermiedenen Produktionsverluste

Die Produktionsverluste werden anhand der durchschnittlichen **Kosten eines verlorenen Arbeitstages** und der **Dauer des Arbeitsausfalls pro Infektion** berechnet. Für die Berechnung wird die **Annahme von durchschnittlich fünf Tagen Arbeitsausfall** getroffen⁹². Bei einer Influenza-Infektion liegt die durchschnittliche Anzahl verlorener Arbeitstage über alle Infizierten bei 3,2.⁹³ Ferner werden die Kosten pro ausgefallenen Arbeitstag auf 360 Franken⁹⁴ geschätzt.

Die vermiedenen Produktionsverluste berechnen sich aus dem folgenden Mengen- und Wertegerüst:

Werte	Kosten	Mengen
Kosten pro ausgefallenen Arbeitstag	CHF 360	Anzahl vermiedene ausgefallene Arbeitstage: - Vermiedene Infizierte - Anzahl ausgefallene Arbeitstage pro Infizierte

Schritt 4: Berechnung der vermiedenen intangiblen Kosten

Die intangiblen Kosten werden ausschliesslich über die **Anzahl verlorener Lebensjahre** berechnet. Weitere intangible Kosten, wie vermiedene ökonomische Kosten, werden nicht berücksichtigt. Für die Berechnung wird angenommen, dass der Wert eines verlorenen Lebensjahrs konstant, d.h. unabhängig davon ist, welchen Beitrag das Lebensjahr einer

verstorbenen Person zur Gesellschaft und Wirtschaft geleistet hätte. Ferner wird basierend auf der COVID-19-Grundlage dieselbe Anzahl verlorener Lebensjahre für «starke» und «extreme» Pandemien angenommen, obwohl diese tendenziell höher liegen dürfte. Die Studie nimmt basierend auf den Angaben der National Covid Science Task Force⁹⁵ **sechs verlorene Lebensjahre** von verstorbenen Personen an sowie einen Geldwert eines Lebensjahres von 175'000 Franken⁹⁶.

Die vermiedenen intangiblen Kosten berechnen sich aus dem folgenden Mengen- und Wertegerüst:

Werte	Kosten	Mengen
Wert eines verlorenen Lebensjahrs	CHF 175'000	Anzahl vermiedene verlorene Lebensjahre: - Vermiedene Todesfälle - Verlorene Lebensjahre pro Todesfall

Schritt 5: Berechnung der insgesamt vermiedenen Kosten

Addierung der vermiedenen Gesundheitskosten, Produktionsverluste und intangiblen Kosten.

Schritt 6: Gesamtnutzen und Wahrscheinlichkeit der Detektion

Die in Schritt 5 berechneten total vermiedenen Kosten entsprechen dem Nutzen des Frühwarnsystems, sofern es für den betroffenen Erreger auch tatsächlich anschlägt. Dies ist die Wahrscheinlichkeit der Detektion (vgl. Kapitel 4.4).

Der Gesamtnutzen entspricht den total vermiedenen Kosten multipliziert mit der Wahrscheinlichkeit der Detektion.

6.4. Nutzen des Abwassermonitorings vs. Nutzen der Sequenzierung/weiterer Aspekte des Frühwarnsystems

Die Studie geht davon aus, dass mit dem Frühwarnsystem Massnahmen früher und gezielter umgesetzt werden können. Rechnerisch werden der Nutzen des Abwassermonitorings und der Nutzen der Sequenzierung isoliert betrachtet. Der Nutzen der Sequenzierung wurde nicht separat simuliert. Er entspricht der Differenz zwischen dem Gesamtnutzen und dem gesonderten Nutzen des Abwassermonitorings.

6.5. Gesamtnutzen Frühwarnsystem

Die Grundlage zur Berechnung des Nutzens eines Frühwarnsystems bezieht sich auf die erste Welle einer Pandemie. Die Berechnung basiert dabei auf dem Anteil der Bevölkerung, welcher innerhalb des Lockdowns infiziert wird.

Wie in Kapitel 4.4 erläutert, rechnet die Studie mit einem Frühwarnsystem, das eine Wahrscheinlichkeit der Detektion von 80 % aufweist. Bei einem Frühwarnsystem, bei dem mehr als fünf Erreger abgedeckt würden, wäre der Nutzen entsprechend grösser.

6.5.1. Nutzen bei fünf Tage früherer Massnahmenverordnung

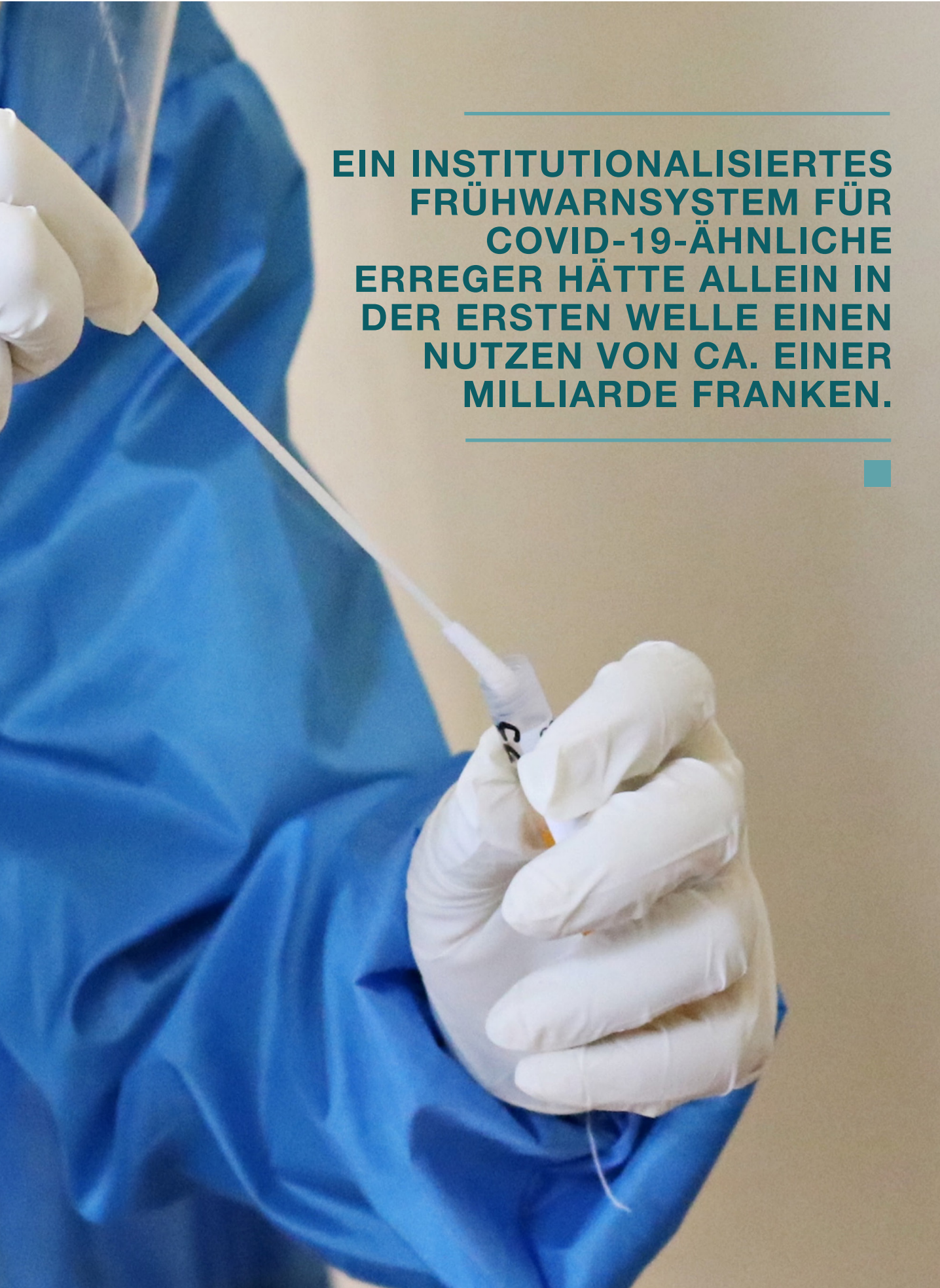
Die nachfolgende Tabelle stellt die Ergebnisse für das COVID-Szenario als Nutzen aus dem Abwassermonitoring und als Nutzen aus der Sequenzierung dar, mit der zugrunde liegenden Annahme, dass Massnahmen aufgrund der durch Abwassermonitoring und Sequenzierung gewonnenen Informationen fünf Tage früher verordnet werden.

- Insgesamt hätte ein institutionalisiertes Frühwarnsystem für Erreger **mit COVID-19-ähnlicher Pandemiestärke allein in der ersten Welle einen Nutzen von ca. einer Milliarde Franken.**

Nutzen (fünf Tage früher): COVID-Szenario, erste Welle	
Erste Welle	Nutzen institutionalisiertes Frühwarnsystem
Nutzen	CHF 1'074'000'000

- Im **Szenario «extrem» hat ein Frühwarnsystem einen Nutzen von rund 31 Milliarden Franken** und liegt damit fast 31-mal höher als im COVID-19-Szenario. Da nicht davon auszugehen ist, dass die nächste Pandemie genau wie COVID-19 verläuft, sondern z.B. nebst Senior:innen auch jüngere Menschen stärker treffen könnte⁹⁷, ist für eine nächste Pandemie tendenziell mit einem noch höheren Nutzen zu rechnen, vergleichbar mit den Szenarien «stark» und «extrem».

Nutzen (fünf Tage früher): Verschiedene Szenarien nach Schweregrad, erste Welle		
Erste Welle	Stark	Extrem
Nutzen	CHF 15'794'000'00	CHF 31'397'000'000



- Die vermiedenen **intangiblen Kosten** (verlorene Lebensjahre) stellen mit – je nach Szenario – **958 Millionen bis rund 30 Milliarden Franken** den grössten Nutzen dar.

Nutzen (fünf Tage früher): nach vermiedenen Kosten und verschiedenen Szenarien nach Schweregrad, erste Welle			
Szenario	Gesundheitskosten	Produktionsverluste	Intangible Kosten
COVID-19-Pandemie	CHF 88'000'000	CHF 28'000'000	CHF 958'000'000
«starke» Pandemie	CHF 604'000'000	CHF 256'000'000	CHF 14'934'000'000
«extreme» Pandemie	CHF 1'273'000'000	CHF 256'000'000	CHF 29'868'000'000

6.5.2. Nutzen bei zehn Tage früherer Massnahmenverordnung

Falls Massnahmen zehn Tage früher eingeführt würden, nimmt der Nutzen nochmals zu.

- In einem **COVID-19-ähnlichen Pandemiekontext** würde sich dieser in der ersten Welle auf mehr als **1,4 Milliarden Franken** belaufen.
- Für die **Szenarien «stark» und «extrem»** ergibt sich ein **Nutzen von rund 18 Milliarden bzw. 35 Milliarden Franken**.
- Die vermiedenen **intangiblen Kosten** (verlorene Lebensjahre) stellen mit – je nach Szenario – **1,3 bis 33,5 Milliarden Franken den grössten Nutzen** dar.

Nutzen (zehn Tage früher): COVID-19-Szenario, erste Welle	
Erste Welle	Nutzen institutionalisiertes Frühwarnsystem
Nutzen	CHF 1'462'000'000

Nutzen (zehn Tage früher): Verschiedene Szenarien, erste Welle		
Erste Welle	Stark	Extrem
Nutzen	CHF 17'754'000'000	CHF 35'293'000'000

Nutzen (10 Tage früher) nach vermiedenen Kosten und verschiedenen Szenarien nach Schweregrad, erste Welle			
Szenario	Gesundheitskosten	Produktionsverluste	Intangible Kosten
COVID-19-Pandemie	CHF 119'000'000	CHF 39'000'000	CHF 1'304'000'000
«starke» Pandemie	CHF 679'000'000	CHF 288'000'000	CHF 16'787'000'000
«extreme» Pandemie	CHF 1'431'000'000	CHF 288'000'000	CHF 33'574'000'000

6.6. Aussagekraft der Quantifizierung

Die Ergebnisse der Quantifizierung sind als Grössenordnungen zu verstehen. Sowohl die Berechnungslogik als auch die Grundlagendaten sind mit Unsicherheiten behaftet und basieren teilweise auf Annahmen (vgl. [Kapitel 4](#) und Tabellen in [Anhang A.1.](#)).

Um den Nutzen einzuordnen, wird dieser im folgenden Kapitel mit den Kosten verglichen.



Quellenangaben

76 Fernandez-Cassi et al. 2021.

77 Vgl. Kumar et al. 2022. Mercier et al. 2022 kommen in einer Studie in Ottawa zum Schluss, dass Influenzaviren sogar ganze 17 Tage früher im Abwasser feststellbar sind.

78 Vgl. auch Caduff et al. 2022.

79 Vgl. Fussnote 77.

80 Coronavirus wastewater monitoring expanded in Switzerland, EAWAG: <https://www.eawag.ch/en/news-agenda/news-portal/news-detail/coronavirus-wastewater-monitoring-expanded-in-switzerland/> (12.12.2022).

81 Vgl. Fussnote 77.

82 Medienmitteilung 24. Mai 2014, EAWAG, <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-53138.html> (12.12.2022).

83 Arzneimittel im Grundwasser, BAFU: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/zustand-der-gewaesser/zustand-des-grundwassers/grundwasser-qualitaet/arzneimittel-im-grundwasser.html#:~:text=Im%20Grundwasser%20nachgewiesen%20werden%20vor,Maximalwert%20pro%20NAQUA%20Messstelle> (12.12.2022).

84 Die Impfstoffherstellung benötigt zwingend qualitativ hochwertige Sequenzierungen des Erregers. Dies muss nicht zwingend auf Proben aus der Schweiz basieren. Im Falle, dass ein neuer Erreger oder eine neue Erregervariante zuerst in der Schweiz erscheinen, wäre dies jedoch unumgänglich.

85 Der verhinderte volkswirtschaftliche Schaden wird im Nutzenmodell nur anhand der krankheitsbedingten Arbeitsausfälle berechnet (vgl. 6.3) und beinhaltet daher keine Ausfälle aufgrund von Todesfällen oder Long-COVID-ähnlichen Erkrankungen.

86 Vgl. Fussnote 5.

87 Althaus et al. 2020.

88 Arnold et al. 2022.

89 Es gilt zu beachten, dass vor Tag 1 bereits über sechs Tage Infektionen stattfanden, d.h. bereits vor Tag 1 Infektionen vorliegen, die durch ein Frühwarnsystem entdeckt werden können.

90 Artikel (MEDINSIDE), 02.6.2020: <https://www.medinside.ch/post/coronavirus-so-teuer-koennen-corona-faelle-werden>.

91 Cutler 2022 geht für COVID-19 von 9'000 USD aus; eine im Business Wire zitierte Studie nennt Kosten von 9'500 USD, vgl. Artikel (Business Wire), 30.8.2022: <https://www.businesswire.com/news/home/20220830005323/en/Long-COVID-Outpaces-Diabetes-in-2022-Employer-Health-Care-Costs-Nomi-Health-Research-Finds>.

92 Tomonoga et al. 2021.

93 Ibid.

94 Ibid.

95 Swiss National COVID-19 Science Task Force: <https://sciencetaskforce.ch/policy-brief/warum-aus-gesamtwirtschaftlicher-sicht-weitgehende-gesundheitspolitische-massnahmen-in-der-aktuellen-lage-sinnvoll-sind/> (12.12.2022).

96 Ibid. Die Swiss National COVID-19 Science Task Force rechnet mit einem Geldwert von 100'000 bis 250'000 Franken. Die Studie nimmt den Mittelwert von 175'000 Franken an.

97 Die Spanische Grippe von 1918 etwa wies eine hohe Sterberate insbesondere unter Personen im Alter von 20 bis 40 Jahren auf. Todesfälle in der Schweiz auf Rekordniveau, BFS: <https://www.bfs.admin.ch/bfsstatic/dam/assets/6467464/master> (12.12.2022).

7.

Synthese und Beurteilung der Nutzen-Kosten-Bilanz

Für die Nutzen-Kosten-Bilanz werden die totalen Kosten im Zeithorizont von 37 Jahren dem totalen Nutzen (= vermiedene Kosten) innerhalb der ersten Welle gegenübergestellt. Die Bilanz wird dadurch zwar unterschätzt. Diese Rechenweise berücksichtigt jedoch die Tatsache, dass ein institutionalisiertes Frühwarnsystem nicht nur in einer Pandemiewelle bzw. in einer besonderen/ausserordentlichen Lage, sondern in allen Lagen im Betrieb sein soll und daher jährliche Kosten verursacht.

NUTZEN-KOSTEN-BILANZ, COVID-19-SZENARIO

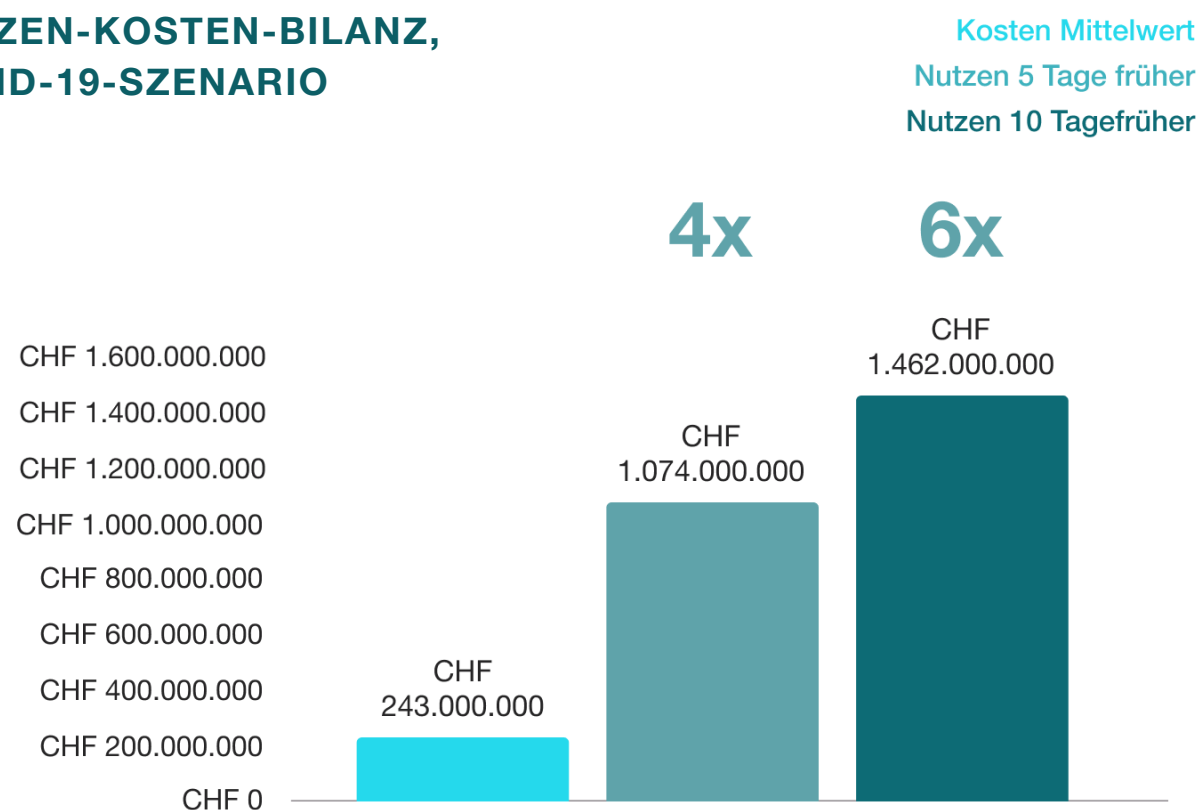


Abbildung 8: Nutzen-Kosten-Bilanz, COVID-19-Szenario, 5 Tage früher

NUTZEN-KOSTEN-VERHÄLTNIS, 5 TAGE FRÜHER

COVID-19
Stark
Extrem

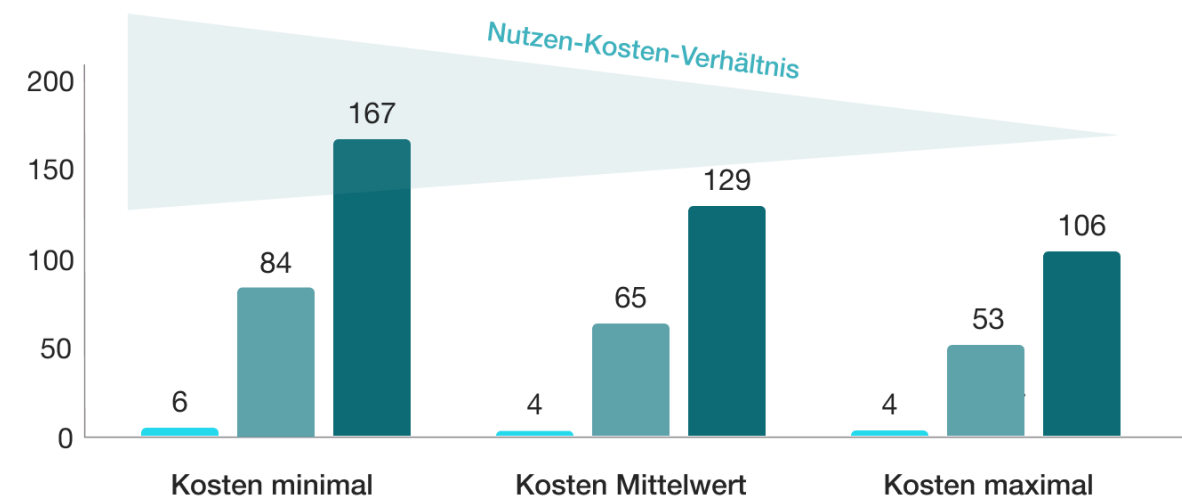


Abbildung 9: Nutzen-Kosten-Verhältnis, verschiedene Szenarien, bei fünf Tage früherem Lockdown

- Die Grafiken unten (Abbildung 9 und 10) zeigen, dass **der Nutzen in einem COVID-19-Szenario bei fünf bzw. zehn Tage früherer Massnähmehneinführung durchschnittlich vier- bzw. sechsmal höher als die Kosten** für den Betrieb eines Frühwarnsystems ist.

Je nach Schweregrad der Pandemie, ob Massnahmen fünf oder zehn Tage früher verordnet werden und ob die minimalen, mittleren oder maximalen Kosten angenommen werden, ergeben sich verschiedene Faktoren für das Nutzen-Kosten-Verhältnis.

- Selbst im Falle, dass die Kosten für das institutionalisierte Frühwarnsystem maximal ausfallen und ein Lockdown nur fünf Tage früher verordnet werden kann, ergibt sich für das **COVID-19-Szenario ein Faktor von 4** (vgl. Abbildung 9). Der Faktor liegt in einem **«starken» und «extremen» Pandemieszenario mit 53 bzw. 106 deutlich höher. Bei mittleren Kosten ist der Nutzen in einer COVID-19-ähnlichen Pandemie viermal, in einer «starken» Pandemie 65-mal und in einer «extremen» Pandemie sogar 129-mal höher.**

NUTZEN-KOSTEN-VERHÄLTNIS, 10 TAGE FRÜHER

COVID-19
Stark
Extrem

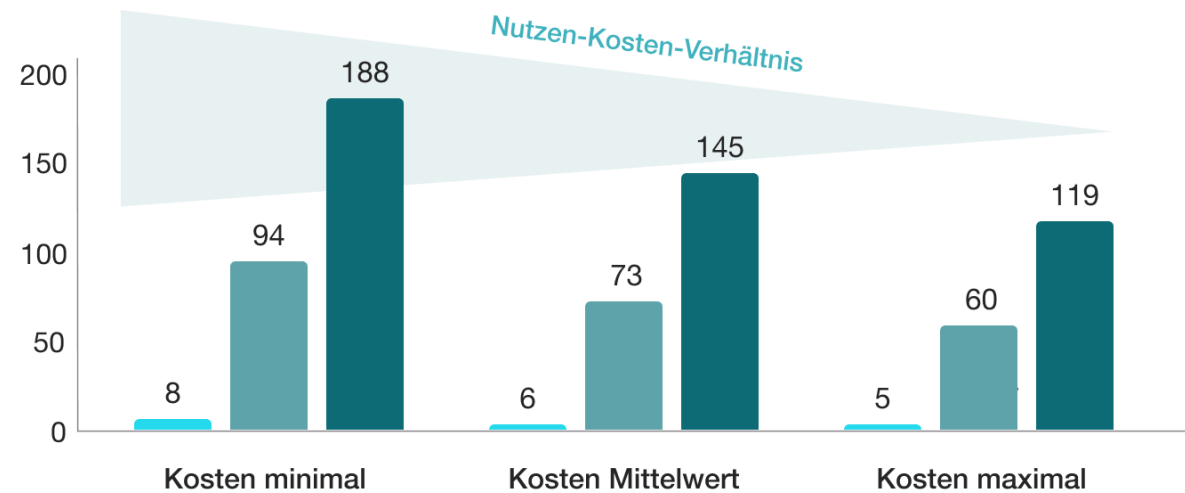


Abbildung 10: Nutzen-Kosten-Verhältnis, verschiedene Szenarien, bei zehn Tage früherem Lockdown

- Die Nutzen-Kosten-Bilanz steigt bei einer **zehn Tage früheren Einführung** eines Lockdowns und liegt im besten Fall, d.h. bei minimalen Kosten, **bei 8**. In einer extremen Pandemie liegt der **Faktor bei 188** (vgl. Abbildung 10).

Die Nutzen-Kosten-Bilanz zeigt, dass sich die Investition in ein institutionalisiertes Frühwarnsystem lohnt, selbst wenn sich der dadurch gewonnene Informationsvorsprung über die epidemiologische Lage in einer nur fünf Tage früheren Massnahmenverordnung niederschlägt.

Unter Annahme von mittleren Kosten ist der Nutzen minimal vier bis maximal 129-mal höher als die damit verbundenen Kosten. Bei einer COVID-

19-ähnlichen Pandemie erzielt jeder investierte Franken einen Nutzen von rund vier Franken, bei extremen Pandemieszenarien sogar bis zu 129 Franken.

Unabhängig von den Kosten: **Die Bilanz mit einem Nutzenvergleich, der sich nicht nur auf die erste Welle bezieht, sondern eine ganze Pandemie abbildet, dürfte um ein Vielfaches höher sein.** Hinzu kommen weitere Faktoren, welche den erwarteten Nutzen erhöhen, aber nicht genauer quantifizierbar sind und deshalb in der vorliegenden Studie rechnerisch ausgeklammert wurden (z.B. ausserpandemischer Public Health-Nutzen durch die Überwachung von Antibiotikaresistenzen, Nutzen in der normalen Lage ausserhalb von Pandemie-Hochphasen etc., vgl. [Kapitel 6.2](#)).



8.

Fazit & Empfehlungen⁹⁸

Eine frühzeitige Erkennung und Überwachung von gefährlichen Pathogenen und Varianten im Abwasser und via Meldesystemen aus Spitälern/Arztpraxen ist zum Schutz der Schweizer Bevölkerung auch in Zukunft essenziell.

Die vorliegende Studie zeigt, dass sich Investitionen in ein regelmässiges Abwassermonitoring und eine laufende Entschlüsselung von Pathogenen mit einem COVID-19-ähnlichen Schadensausmass langfristig um ein Vier- bis Achtfaches lohnen. Bei höherem Schadensausmass in einer «starken» oder «extremen» Pandemie sind die Investitionen noch

lohnenswerter: Jedem investierten Franken stehen 53 bis 94 bzw. 106 bis 188 Franken gegenüber (vgl. [Kapitel 7](#)). Dank des Frühwarnsystems können in der besonderen und ausserordentlichen Lage während einer Pandemie potenzielle Schäden in hohem Masse reduziert werden. Da die Studie nur einen kleinen Teil des Nutzens rechnerisch abbildet, kann davon ausgegangen werden, dass der tatsächliche Nutzen um ein Vielfaches höher ausfällt.

In einer normalen, präpandemischen Lage generiert die regelmässige Überwachung von Erregern Nutzenpotenziale, die im Rahmen der Studie nicht weiter quantifiziert werden konnten. Eine regelmässige Überwachung kann die Ausbreitung von pandemischen Erregern frühzeitig erkennen und damit das Risiko von Krankheitsausbrüchen in der Schweiz erheblich senken. Zwar lassen sich durch internationale Warnungen, dass eine Pandemie auch auf die Schweiz zurollt, bestimmte Vorkehrungen treffen, doch ergibt sich ohne ein bereits in Betrieb befindliches Frühwarnsystem kein zeitlicher Vorsprung in der Einschätzung der tatsächlichen Lage im Land.

INVESTITIONEN IN EIN INSTITUTIONALISIERTES FRÜHWARNSYSTEM BEI PATHOGENEN MIT EINEM COVID-19-ÄHNLICHEN SCHADENSAUSMASS LOHNEN SICH LANGFRISTIG UM EIN VIER- BIS ACHTFACHES.

Aus den Ergebnissen der Studie lassen sich folgende Empfehlungen ableiten:

- **Abwassermonitoring institutionalisieren:** Die Früherkennung und Überwachung von übertragbaren Krankheiten mithilfe des Abwassers sind auf weitere Pathogene zu erweitern und langfristig umzusetzen.
- **Sequenzierung von Krankheitserregern institutionalisieren:** Erreger mit pandemischem Potenzial sind regelmässig zu sequenzieren.

Schnellere Massnahmen mithilfe des Frühwarnsystems

Die Studie zeigt, dass eine möglichst schnelle Anordnung von zielgerichteten Massnahmen menschliche und wirtschaftliche Schäden drastisch reduzieren kann. Dies wiederum bedingt rasche Entscheidungsprozesse vonseiten der kantonalen und nationalen Regierungsmitglieder. Entsprechend ergeben sich folgende Empfehlungen:



DATENFLUSS ZWISCHEN LABORS UND DATENBANKEN VERBESSERN

Künftig ist ein kantonaler, nationaler und internationaler Datenaustausch zwischen Datenbanken und Labors zu gewährleisten und möglichst in Echtzeit zu gestalten (Sequenzdatenbanken, Genomdatenbanken etc.). Die Rollen und der erwartete Informationsgewinn aus den bestehenden Datenplattformen (z.B. SPSP, Nextstrain, CovSpec) sowie Integration von Patienten- und Abwasserdaten für die zentrale Informationsplattform EPI sind unter Berücksichtigung des Datenschutzes klar zu definieren.



ENTSCHEIDUNGSGRUNDLAGEN FÜR EXEKUTIVE WEITERENTWICKELN

Die Kapazitäten innerhalb des BAG zur Interpretation von Daten aus dem Frühwarnsystem sollten für die zeitnahe Erstellung von geeigneten Entscheidungsgrundlagen weiterentwickelt werden.



WICHTIGSTE DATEN FÜR ALLE ZUGÄNGLICH MACHEN

Epidemiologische Daten sind benutzerfreundlich und für die Allgemeinheit einfach lesbar aufzubereiten, sodass Schweizer Bürger:innen je nach Lage noch vor offiziellen Massnahmen oder auch ohne behördliche Vorgaben freiwillig und frühzeitig eigene Massnahmen umsetzen können.



LABORS STÄRKEN

Die Kosteneffizienz der Sequenzierung und Verkürzung der Turn-Around-Zeit der Sequenziermaschinen sind weiter zu stärken.

Über die Studie hinausgehende qualitative Empfehlungen

Ausserdem haben sich folgende, über die enge Nutzen-Kosten-Bilanz der Studie hinausgehende qualitative Empfehlungen für ein institutionalisiertes Frühwarnsystem herauskristallisiert:

- Antibiotika-Resistenzen im Abwasser beobachten:** Das Abwassermonitoring kann zur Eindämmung von Antibiotika-Resistenzen als «stille Pandemien» beitragen, indem Resistenzen im Abwasser laufend beobachtet würden und auf dieser Grundlage gezielte Massnahmen verordnet werden könnten. Expert:innen zufolge liessen sich Abwasserproben ohne grössere Anpassungen zum bestehenden Vorgehen auf Antibiotika-Resistenzen überprüfen. Dadurch könnte nicht nur effizienter beobachtet werden, welche zurzeit noch harmlosen, aber potenziell gefährlichen Resistenzen in der Bevölkerung bereits vorhanden sind, sondern es liessen sich auch gezielte Massnahmen ableiten. Hier sei etwa an eine Anpassung der nationalen Verschreibungsguidelines zu denken, in denen beispielsweise definiert wird, auf welche anderen Antibiotika ausgewichen werden kann. Ferner kann parallel die Antibiotika-Konzentration im Wasser erfasst werden, um zu überprüfen, wie effizient Kläranlagen Antibiotika abbauen, was wiederum einen Einfluss auf die Resistenzbildung hat. Da hochresistente Stämme häufig aus dem Ausland importiert werden, v.a. wenn Personen im Ausland hospitalisiert waren⁹⁹, empfiehlt sich insbesondere der Nachweis in ARA in Tourismus-Regionen und in der Nähe von Flughäfen, allenfalls auch im Abwasser spezifischer Einrichtungen (Flughafen, Hotels, Asylzentren etc.). Im Sinne der Strategie Antibiotikaresistenzen des Bundes¹⁰⁰ empfiehlt sich ferner eine spezifische Überwachung des Abwassers in Tierproduktionsstätten. Heute sterben in der Schweiz wegen antibiotikaresistenter Bakterien jährlich ca. 300 Personen – zum Vergleich: im Verkehr kommen laut Bundesamt für Statistik 200 Menschen pro Jahr um¹⁰¹. Die Tendenz ist besorgniserregend; zwischen 2010 und 2019 nahmen die durch Antibiotikaresistenzen bedingten Todesfälle um 64% zu.¹⁰² Die WHO schätzt Antibiotikaresistenzen als globale Bedrohung ein, für welche dringend bessere Daten nötig sind.¹⁰³ Eine Überwachung von Antibiotikaresistenzen wäre national wie international von vielversprechendem Nutzen.
- Nutzen-Kosten-effiziente Daten generieren:** Die Definition der notwendigen Anzahl von ARA und Proben, die wöchentlich für eine schnelle und akkurate Einschätzung der epidemiologischen Lage entnommen und sequenziert werden müssen, ist eine wissenschaftliche Frage, die möglichst schnell angegangen werden muss. Hierfür sollte künftig eine maximal präzise und gleichzeitig kosteneffiziente

Methode der Datenerhebung, -verarbeitung und -interpretation zur Anwendung kommen, wofür nationale Standards definiert werden. Dabei sind auch internationale Best Practices zu berücksichtigen.

- **Sentinella-Meldesystem fördern:** Nur mithilfe von unterschiedlichen Überwachungselementen kann die Schweiz ein differenziertes Frühwarnsystem etablieren. Die syndromische Überwachung von Erregern über Spitäler und Arztpraxen sollte weiterentwickelt (u.a. über eine Verdoppelung und repräsentative Verteilung der Arztpraxen sowie eine rasche Anpassung des Meldeformulars für neue Erreger).
- **Tierische Seuchenbekämpfung einbeziehen:** Angesichts der zunehmenden Bedeutung des One-Health-Ansatzes für die Pandemievorbereitung¹⁰⁴ sind Ausbrüche von tierischen Krankheiten ebenfalls verstärkt zu überwachen, z.B. metagenomisch. Die entsprechenden Erkenntnisse sollten in eine zentrale Datenplattform wie SPSP einfließen.
- **In pathogen-agnostische Technologien investieren:** Metagenomische, pathogen-agnostische Sequenzierungsmethoden zur Früherkennung von ganzen Erregerfamilien und damit potenziell besorgniserregenden, noch unbekannten Erregern sind zu fördern. Wichtig ist eine Definition von Erregern aus Einzelfällen mit einer zeitnahen Sequenzierung und einer zentralen Datenbank, in der die Daten prozessiert und analysiert werden können (z.B. SPSP).
- **Nutzung von Pandemie-Tools stärken:** Modellierungen zugunsten von Vorhersageszenarien sollten standardmässig als Hilfsmittel für regelmässige Szenario-Übungen und Nutzen-Kosten-Abschätzungen von Massnahmen bzw. für Entscheidungsprozesse genutzt werden (z.B. Modellierung durch Daedalus, Imperial College¹⁰⁵).
- **Genomische Datenplattform institutionalisieren:** Die Schweiz sollte langfristig über eine genomische Datenplattform verfügen können (z.B. Swiss Pathogen Surveillance Platform).
- **Internationale Surveillance und Response unterstützen:** Das Frühwarnsystem der Schweiz ist abhängig von internationalen Daten über Krankheitserreger. Auch in der normalen Lage sollten der Zugang zu epidemiologischen Daten der Nachbarländer und Grundlagen für eine produktive Zusammenarbeit in Krisensituationen

gewährleistet sein.

- **Best Practices zur Pandemie-Früherkennung international austauschen:** Die Schweiz würde mit der vorgeschlagenen Institutionalisierung eines Früherkennungssystems zu den weltweit führenden Ländern auf diesem Gebiet gehören. Schweizer Bundesbehörden und Forschende könnten die entsprechenden Erkenntnisse in internationale Gremien tragen, damit andere Länder vom Erfahrungsschatz der Schweiz profitieren.
- **Rasche politische Entscheidungsprozesse und Einbezug der Wissenschaft in Krisenmanagement fördern:** Der Nutzen der Früherkennung und Überwachung von Krankheiten hängt stark davon ab, wie rasch Massnahmen getroffen werden. Entsprechend sind zeitnahe Analysen, Interpretationen und Entscheidungsprozesse über die lagespezifisch sinnvollsten Massnahmen auf Seiten der Regierung entscheidend.¹⁰⁶ Das Potenzial der Wissenschaft kann in der Bekämpfung einer Pandemie künftig besser ausgeschöpft werden, indem «Grundlagen für eine Kultur der vertrauensvollen Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft, Verwaltung und Politik»¹⁰⁷ geschaffen werden. Beispiele hierfür könnten angepasste rechtliche Bestimmungen sein, aber auch gemeinsame Schulungen und Übungen von Wissenschaftler:innen und Fachleuten des Krisenmanagements¹⁰⁸ oder die Umwandlung des wissenschaftlichen Beratungsgremiums für die Covid-19-Pandemie in ein ständiges Gremium¹⁰⁹.

Quellenangaben

- 98 Die Empfehlungen decken sich mit Optionen, welche das Wissenschaftliche Beratungsgremium COVID-19 aufzeigt, vgl.: https://wiss-gremium-covid19.ch/wp-content/uploads/230120_Re-portWiBeG_D-2.pdf (23.1.2023).
- 99 Fluchini et al. 2019.
- 100 Strategie StAR, BLV: <https://www.blv.admin.ch/blv/de/home/das-blv/strategien/nation-ale-strategie-antibiotikaresistenzen.html> (12.12.2022).
- 101 Verkehrsunfälle, BFS: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/unfaelle-umweltauswirkungen/verkehrsunfaelle.html#:~:text=Im%20Jahr%202021%20er-eigneten%20sich,Eisenbahnunf%C3%A4llen%20und%2010%20bei%20Flugunf%C3%A4l-len> (12.12.2022).
- 102 Gasser et al. 2019.
- 103 Zeitungsartikel (NZZ), 9.12.2022: <https://www.nzz.ch/wissenschaft/who-sieht-in-den-ges-tiegenen-antibiotika-resistenzen-globale-bedrohung-ld.1716314>.
- 104 United Nations, UN News: <https://news.un.org/en/story/2021/02/1084982> (12.12.2022).
- 105 Haw et al. 2022.
- 106 Sowohl betreffend Weiterentwicklung des nationalen Krisenmanagements als auch bezüglich des Einbezugs der Wissenschaft in politische Entscheidungsprozesse wurden bereits mehrere Evaluationen durchgeführt und Empfehlungen erstellt, vgl. Krisenmanagement, BK: <https://www.bk.admin.ch/bk/de/home/dokumentation/fuehrungsunterstuetzung/krisenmanagement.html> (12.12.2022), sowie das Thesenpapier der Universität Bern, Prüfung des Eskalationsmodells (Art. 6 und 7 EpG) unter besonderer Berücksichtigung der Epidemiologie übertragbarer Krankheiten sowie Public-Health-Aspekten, vgl. Fussnote 33.
- 107 Interface, 2022
- 108 Schweizerischer Wissenschaftsrat SWR, 2022.
- 109 Medienmitteilung 22.11.2022, BAG: <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/das-bag/aktuell/medienmitteilungen.msg-id-91826.html> (12.12.2022).

Bibliografie

Wissenschaftliche Studien

- Althaus, C. (2020). Real-time modeling and projections of the COVID-19 epidemic in Switzerland, Institute of Social and Preventive Medicine, University of Bern, Switzerland. Hyperlink: <https://ispmbern.github.io/covid-19/swiss-epidemic-model/>.
- Althaus et al. (2020). Time is of the essence. Containment of the SARS-CoV-2 epidemic in Switzerland from February to May 2020, Institute of Social and Preventive Medicine, University of Bern, Switzerland, 1-13. Hyperlink: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.07.21.20158014v1.full.pdf>.
- Arnold et al. (2022). Estimating the effects of lockdown timing on COVID-19 cases and deaths in England. A counterfactual modelling study, PLOS ONE 1-12. Hyperlink: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0263432>
- Caduff et al. (2022). Inferring transmission fitness advantage of SARS-CoV-2 variants of concern from wastewater samples using digital PCR, Eurosurveillance (27) 10 1-10. Hyperlink: <https://www.eurosurveillance.org/docserver/fulltext/eurosurveillance/27/10/eurosurv-27-10-4.pdf?expires=1673362008&id=id&accname=guest&checksum=C8EAA7434E88D2CF9A01624B0219D9D0>.
- Cutler, D. (2022). The Costs of Long COVID, Jama Health Forum (3) 5 1-2. Hyperlink: <https://jamanetwork.com/journals/jama-health-forum/fullarticle/2792505>.
- Fernandez-Cassi et al. (2021). Wastewater monitoring outperforms case numbers as a tool to track COVID-19 incidence dynamics when test positivity rates are high, ScienceDirect (200) 1-9. Hyperlink: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0043135421004504?token=C266A468ECE7CF82B3A67F5A980A3B67043AD2BE9B46DC9A7A1053384AA8353979C0EFA226FD6F80027CB756AF3786CF&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230111105137>.
- Flaxman et al. (2020). Estimating the effects of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 in Europe, Nature (584) 257-261, Supplementary Information. Hyperlink: https://static-content.springer.com/esm/art%3A10.1038%2Fs41586-020-2405-7/MediaObjects/41586_2020_2405_MOESM1_ESM.pdf.
- Fluchini et al. (2019). Antibiotic-resistant pathogens in different patient settings and identification of surveillance gaps in Switzerland – a systematic review, Epidemiology and Infection 1-11. Hyperlink: https://boris.unibe.ch/138185/1/antibioticresistant_pathogens_in_different_patient_settings_and_identification_of_surveillance_gaps_in_switzerland_a_systematic_review.pdf.
- Fraser, C. (2007). Estimating Individual and Household Reproduction Numbers in an Emerging Epidemic, PLOS ONE (8) 1-12. Hyperlink: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0000758>.
- Gasser et al. (2019). Attributable deaths and disability-adjusted life-years (DALYs) caused by infections with antibiotic-resistant bacteria in Switzerland from 2010 to 2019, ECCMID, 09.-12. Juli 2021. Hyperlink: https://www.anresis.ch/wp-content/uploads/2021/07/2021_ECCMID2021_BoD_gasser.pdf.
- Hanson et al. (2022). A global systematic analysis of the occurrence, severity, and recovery pattern of long COVID in 2020 and 2021, medRxiv, Preprint. Hyperlink: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2022.05.26.22275532v1>
- Haw et al. (2022). Optimizing social and economic activity while containing SARS-CoV-2 transmission using DAEDALUS, Nature Computational Science (2) 223-233. Hyperlink: <https://www.nature.com/articles/s43588-022-00233-0>.

Huisman et al. (2022). Estimation and worldwide monitoring of the effective reproductive number of SARS-CoV-1, eLife (11) 1-48. Hyperlink: <https://edoc.unibas.ch/90655/1/elife-71345-v2.pdf>.

Kumar et al. (2022). Lead time of early warning by wastewater surveillance for COVID-19. Geographical variations and impacting factors, Chemical Engineering Journal (441) 1-10. Hyperlink: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894722014346?via%3Dihub>.

Lemaitre et al. (2020). Assessing the impact of non-pharmaceutical interventions on SARS-CoV-2 transmission in Switzerland, Swiss Medical Weekly (150) 1-9. Hyperlink: <https://smw.ch/index.php/smw/article/view/2801/4534>.

Marani, M. et al. (2021). Intensity and frequency of extreme novel epidemics, PNAS (118) 35, 1-4. Hyperlink: <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.2105482118>.

Marschner, I.C (2021). Estimating age-specific COVID-19 fatality risk and time to death by comparing population diagnosis and death patterns. Australia data, BMC Medical Research Methodology (26) 21-126. Hyperlink: <https://bmcmmedresmethodol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12874-021-01314-w>.

Mercier et al. (2022). Municipal and neighbourhood level wastewater surveillance and subtyping of an influenza virus outbreak, Scientific Reports (12) 1-11. Hyperlink: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-20076-z>.

Nouvellet et al. (2018). A simple approach to measure transmissibility and forecast incidence, Epidemics (22) 29-35. Hyperlink: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28351674/>.

Piret, J./Boivin, G. (2021). Pandemics Throughout History, Frontiers in Microbiology (11) 1-16. Hyperlink: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2020.631736/full>.

Riguzzi, M./S. Gashi (2021). Lessons from the first wave of COVID-19. Work-related consequences, clinical knowledge, emotional distress, and safety-conscious behavior in healthcare workers in Switzerland, Frontiers in Psychology (12) 1-21. Hyperlink: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2021.628033/full#>.

Scire et al. (2020). Reproductive number of the COVID-19 epidemic in Switzerland with a focus on the Cantons of Basel-Stadt and Basel-Landschaft. Swiss Medical Weekly (150) 1-8. Hyperlink: <https://smw.ch/index.php/smw/article/view/2784/4497>.

Staub et al. (2022). Historically High Excess Mortality During the COVID-19 Pandemic in Switzerland, Sweden, and Spain. Annals of Internal Medicine 1-11. Hyperlink: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35099995/>.

Tomonaga et al. (2021). Productivity losses due to influenza and influenza-like illness in Switzerland. Results of the Swiss Sentinel Surveillance Network in a non-pandemic era, Swiss Medical Weekly (151) 1-11. Hyperlink: <https://smw.ch/index.php/smw/article/view/3056/5075>.

Bundesverwaltungsseiten und -dokumente (inkl. Studien im Auftrag der Bundesverwaltung)

Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS

Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS, Katastrophen und Notlagen Schweiz 2020, Bericht zur nationalen Risikoanalyse: <https://files.static-nzz.ch/2021/3/31/f2585ff9-c6e3-47e4-a11c-b1377cdaf3b8.pdf>.

Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS, Katastrophen und Notlagen Schweiz 2020/Gefährdungsdossier, Influenza-Pandemie: https://www.babs.admin.ch/content/babs-internet/de/aufgabenbabs/gefaehdrisiken/natgefaehrdanalyse/gefaehrdossier/_jcr_content/contentPar/accordion/accordionItems/gesellschaftsbedingt/accordionPar/downloadlist/downloadItems/157_1604483556672.download/30-Influenza-Pandemie-GD-de.pdf.

Bundesamt für Umwelt BAFU

Bundesamt für Umwelt BAFU, Abwasserreinigung, Erhebung angeschlossene Einwohner: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/massnahmen-zum-schutz-der-gewaesser/abwasserreinigung/erhebung-angeschlossene-einwohner.html>.

Bundesamt für Umwelt BAFU, Arzneimittel, Arzneimittel im Grundwasser: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/zustand-der-gewaesser/zustand-des-grundwassers/grundwasser-qualitaet/arzneimittel-im-grundwasser.html#:~:text=Im%20Grundwasser%20nachgewiesen%20werden%20vor,Maximalwert%20pro%20NAQUA%2DMessstelle>.

Bundesamt für Gesundheit BAG

Bundesamt für Gesundheit BAG, Covid-19 Schweiz, Informationen zur aktuellen Lage: <https://www.covid19.admin.ch/de/overview>.

Bundesamt für Gesundheit BAG, Meldesysteme für Infektionskrankheiten: <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/krankheiten/infektionskrankheiten-bekaempfen/meldesysteme-infektionskrankheiten.html>.

Bundesamt für Gesundheit BAG, Medienmitteilung 03. Mai 2022, Covid-19: Bund erweitert Abwassermonitoring auf über 100 Kläranlagen: <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-88615.html>.

Bundesamt für Gesundheit BAG, Medienmitteilung 28. Mai 2021, Nationales SARS-CoV-2-Überwachungsprogramm bestätigt: [https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-83732.html#:~:text=Nextstrain%20\(https%3A%2F%2Fnextstrain.org,Screening%20nach%20neuen%20Varianten%20zust%C3%A4ndig](https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-83732.html#:~:text=Nextstrain%20(https%3A%2F%2Fnextstrain.org,Screening%20nach%20neuen%20Varianten%20zust%C3%A4ndig).

Bundesamt für Gesundheit BAG, Medienmitteilung 22. November 2022, Covid-19: Bund und Kantone wollen weiterhin eng mit der Wissenschaft zusammenarbeiten: <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/das-bag/aktuell/medienmitteilungen.msg-id-91826.html>.

Bundesamt für Gesundheit BAG, Infektionskrankheiten: Ausbrüche, Epidemien, Pandemien: <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/krankheiten/ausbrueche-epidemien-pandemien.html>.

Bundesamt für Gesundheit, Ausbruchsuntersuchungen und epidemiologische Abklärungen: <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/krankheiten/ausbrueche-epidemien-pandemien/ausbruchsuntersuchungen.html>.

Bundesamt für Gesundheit BAG, Strategie Antibiotikaresistenzen StAR, Faktenblatt «Swiss Antibiotic Resistance Report 2022»: https://www.anresis.ch/wp-content/uploads/2022/11/SARR22_Faktenblatt_DE_def.pdf.

Bundesamt für Gesundheit BAG, Faktenblatt 28. Februar 2020, Normale, besondere und ausserordentliche Lage: <https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/60477.pdf>.

Interface, Optionen wissenschaftlicher Politikberatung im Hinblick auf Krisen, Grundlagen für die Beantwortung des Postulats Michel 20.3280 zuhanden der Bundeskanzlei, 23. September 2022: <https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/74010.pdf>.

Universität Bern, Prüfung des Eskalationsmodells (Art. 6 und 7 EpG), Thesenpapier im Auftrag des Bundesamts für Gesundheit (BAG), 08. September 2022: https://github.com/ISPMBern/eskalationsmodell/blob/main/Thesenpapier_Eskalationsmodell.pdf.

Bundesamt für Statistik BFS

Bundesamt für Statistik, BFS Aktuell, Todesfälle in der Schweiz auf Rekordniveau, Die Spanische Grippe von 1918: <https://www.bfs.admin.ch/bfsstatic/dam/assets/6467464/master>.

Bundesamt für Statistik, Verkehrsunfälle: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/unfaelle-umweltauswirkungen/verkehrsunfaelle.html#:~:text=Im%20Jahr%202021%20ereigneten%20sich,Eisenbahnunf%C3%A4llen%20und%2010%20bei%20Flugunf%C3%A4llen>.

Bundeskanzlei BK

Bundeskanzlei BK, Krisenmanagement, Auswertungen des Krisenmanagements der Bundesverwaltung in der Covid-19-Pandemie: <https://www.bk.admin.ch/bk/de/home/dokumentation/fuehrungsunterstuetzung/krisenmanagement.html>.

Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV

Bundesamt für Lebensmittel und Veterinärwesen, Strategie Antibiotikaresistenzen Schweiz (StAR): <https://www.blv.admin.ch/blv/de/home/das-blv/strategien/nationale-strategie-antibiotikaresistenzen.html>.

Eidgenössisches Finanzdepartement EFD

Eidgenössisches Finanzdepartement, Projekt «Pandemieversicherung», Bericht der Arbeitsgruppe, September 2020: <https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/65966.pdf>.

Eidgenössisches Finanzdepartement, Bundesschulden, Ausblick: <https://www.efd.admin.ch/efd/de/home/finanzpolitik/bundesschulden.html#:~:text=Die%20Corona%2DPandemie%20macht%20hohe,von%2025%2D30%20Milliarden%20Franken>.

Fedlex

Fedlex, Bundesgesetz über die Bekämpfung übertragbarer Krankheiten des Menschen: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2015/297/de>.

Swiss National COVID-19 Science Task Force

Swiss National COVID-19 Science Task Force, Policy Brief, Warum aus gesamtwirtschaftlicher Sicht weitgehende gesundheitspolitische Massnahmen in der aktuellen Lage sinnvoll sind, 19. Januar 2021: <https://scienctaskforce.ch/policy-brief/warum-aus-gesamtwirtschaftlicher-sicht-weitgehende-gesundheitspolitische-massnahmen-in-der-aktuellen-lage-sinnvoll-sind/>.

Staatssekretariat für Wirtschaft SECO

Staatssekretariat für Wirtschaft SECO, Exkurs: Corona-Krise – Auswirkungen auf das BIP im

internationalen Vergleich: https://www.seco.admin.ch/dam/seco/de/dokumente/Wirtschaft/Wirtschaftslage/Konjunkturtendenzen/kt_2021_03_exkurs_bip_corona.pdf.download.pdf/KT_2021_03_Exkurs_BIP_Corona.pdf.

Schweizerischer Wissenschaftsrat SWR

Schweizerischer Wissenschaftsrat SWR, Wissenschaftliche Politikberatung in Krisenzeiten, SWR Schrift 3/2022: https://wissenschaftsrat.ch/images/stories/pdf/de/SWR_2022_Wissenschaftliche_Politikberatung.pdf.

Ämter und kantonale Verwaltung

EAWAG, Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs, Medienmitteilung 27. Mai 2014, Abwasser gibt Aufschluss über Drogenkonsum: <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-53138.html>.

EAWAG, Coronavirus wastewater monitoring expanded in Switzerland, 09. März 2021: <https://www.eawag.ch/en/news-agenda/news-portal/news-detail/coronavirus-wastewater-monitoring-expanded-in-switzerland/>.

Konferenz der kantonalen Gesundheitsdirektorinnen und -direktoren GDK, Abfederung im Falle eines Wiederanstiegs von Covid-19 im Herbst / Winter 2022 / 2023 («Rebound Papier III»): https://www.gdk-cds.ch/fileadmin/docs/public/gdk/themen/praevention_gesundheitsfoerderung/ansteckende_krankheiten/NZ_Rebound_III_def_d.pdf.

Verbände

Schweizerischer Städteverband, COVID-19 schlägt hohe Wellen in den öffentlichen Haushalten. Finanzielle Auswirkungen der Pandemie auf die Etats von Schweizer Kantonen, Städten und Gemeinden: <https://staedteverband.ch/cmsfiles/pwc.pdf?v=20221005091253>.

Internationale Organisationen, ausländische Regierungen, Think Tanks, Institute, NGOs, Unternehmen

Centers for Disease Control and Prevention, Middle East Respiratory Syndrome (MERS), MERS Clinical Features: <https://www.cdc.gov/coronavirus/mers/clinical-features.html>.

Center for Global Development, Blog Post: The Next Pandemic Could Come Soon and Be Deadlier, 25. August 2021: <https://www.cgdev.org/blog/the-next-pandemic-could-come-soon-and-be-deadlier>.

Center for Global Development, What is the Return on Investment of Pandemic Preparedness?, Online, 04. Oktober 2022: <https://www.cgdev.org/event/what-return-investment-pandemic-preparedness>.

CEPI, Die Unaufschiebbarkeit des Jetzt, Eindämmung von epidemischen und pandemischen Infektionskrankheiten, März 2021: https://cepi.net/wp-content/uploads/2021/11/CEPI-Investment-Case-German_MARCH2021.pdf.

European Commission, Horizon, The EU Research & Innovation Magazine, 16. Dezember 2021: <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/qa-future-pandemics-are-inevitable-we-can-reduce-risk>.

European Commission, Proposal for a directive of the European parliament and of the council concerning urban wastewater treatment (recast), Brussels, 26. Oktober 2022: <https://environment.ec.europa.eu/system/files/2022-10/Proposal%20for%20a%20Directive%20concerning%20Urban%20wastewater%20treatment%20%28recast%29.pdf>.

ETH Zürich, Center for Security Studies, Bulletin 2020 zur Schweizerischen Sicherheitspolitik, Chronologie des nationalen und internationalen Krisenmanagements in der ersten Phase der Coronavirus-Pandemie: https://css.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/gess/cis/center-for-securities-studies/pdfs/Bulletin_2020_07_Chronologie.pdf.

ETH Zürich, KOF Konjunkturforschungsstelle, Medienmitteilung, Corona-Krise verschärft Ungleichheit in der Schweiz, 23. Februar 2021: <https://kof.ethz.ch/news-und-veranstaltungen/medien/medienmitteilungen/2021/02/corona-krise-verschaerft-ungleichheit-in-der-schweiz.html>.

Global Polio Eradication Initiative, Guidelines on Environmental Surveillance for Detection of Polioviruses, Working draft, März 2015: https://polioeradication.org/wp-content/uploads/2016/07/GPLN_GuidelinesES_April2015.pdf.

McKinsey & Company, Not the last pandemic: Investing now to reimagine public-health systems, 21. Mai 2021: <https://www.mckinsey.com/industries/public-and-social-sector/our-insights/not-the-last-pandemic-investing-now-to-reimagine-public-health-systems>.

Our World in Data, Cumulative confirmed COVID-19 deaths: https://ourworldindata.org/explorers/coronavirus-data-explorer?facet=none&Interval=Cumulative&Relative+to+Population=false&Color+by+test+positivity=false&country=~OWID_WRL&Metric=Confirmed+deaths.

Robert Koch Institut, Infektionsschutz und Infektionsepidemiologie, Fachwörter – Definitionen – Interpretationen: https://www.rki.de/DE/Content/Service/Publikationen/Fachwoerterbuch_Infektionsschutz.pdf?__blob=publicationFile.

Swiss National Science Foundation, Thematic Synthesis of the National Research Programme “Antimicrobial Resistance”, November 2022: <https://www.nfp72.ch/media/de/MRk6j1ZnWcCtHK0m/NRP-72-Thematic-Synthesis-1.pdf>.

United Nations, UN News, Strengthen ‘One Health approach’ to prevent future pandemics – WHO chief, 17. Februar 2021: <https://news.un.org/en/story/2021/02/1084982>.

Wissenschaftliches Beratungsgremium COVID-19 (WiBeG), Zum künftigen Umgang mit COVID-19 und anderen respiratorischen Viren: https://wiss-gremium-covid19.ch/wp-content/uploads/230120_ReportWiBeG_D-2.pdf.

World Bank Blogs, COVID-19 leaves a legacy of rising poverty and widening inequality, 07. Oktober 2021: <https://blogs.worldbank.org/developmenttalk/covid-19-leaves-legacy-rising-poverty-and-widening-inequality#:~:text=About%2097%20million%20more%20people,less%20than%20%245.50%20a%20day>.

The World Bank, Understanding Poverty, From Panic and Neglect to Investing in Health Security: Financing Pandemic Preparedness at a National Level: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/979591495652724770/pdf/115271-REVISED-FINAL-IWG-Report-3-5-18.pdf>.

The World Bank, Urban Development: <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview>.

World Health Organization, Ebola virus disease: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ebola-virus-disease>.

World Health Organization, Guidance for surveillance of SARS-CoV-2 variants, Interim guidance, 09. August 2021: <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1361901/retrieve>.

Zeitungs-/Medienartikel

Tages-Anzeiger, 17. Mai 2020: Der Wert eines Menschen in Franken: <https://www.tagesanzeiger.ch/der-wert-eines-menschen-in-franken-910585616707>.

MEDINSIDE, 02. Juni 2020: So teuer können Corona-Fälle werden: <https://www.medinside.ch/post/coronavirus-so-teuer-koennen-corona-faelle-werden>.

SRF, 18. Mai 2021: Schweiz sequenziert weniger Corona-Proben als andere Länder: <https://www.srf.ch/news/schweiz/erbgut-des-virus-erforschen-schweiz-sequenziert-weniger-corona-proben-als-andere-laender>.

Tages-Anzeiger, 07. September 2021: Covid-Patient auf der Intensivstation kostet über 100'000 Franken: <https://www.tagesanzeiger.ch/covid-patient-auf-der-intensivstation-kostet-ueber-100000-franken-256552141683>.

SRF, 08. Juni 2022: Nationalrat streitet über den Abbau der Coronaschulden: <https://www.srf.ch/news/schweiz/finanzhaushaltsgesetz-nationalrat-streitet-ueber-den-abbau-der-coronaschulden>.

Businesswire, 30. August 2022: Long COVID Outpaces Diabetes in 2022 Employer Health Care Costs, Nomi Health Research Finds: <https://www.businesswire.com/news/home/20220830005323/en/Long-COVID-Outpaces-Diabetes-in-2022-Employer-Health-Care-Costs-Nomi-Health-Research-Finds>.

Asterisk, November 2022: How to Prevent the Next Pandemic: <https://asteriskmag.com/issues/1/how-to-prevent-the-next-pandemic>.

NZZ, 09. Dezember 2022: WHO sieht in den gestiegenen Antibiotika-Resistenzen globale Bedrohung: <https://www.nzz.ch/wissenschaft/who-sieht-in-den-gestiegenen-antibiotika-resistenzen-globale-bedrohung-id.1716314>.

Tages-Anzeiger, 27. Dezember 2022: «Die Zeit der extremen Omikron-Wellen scheint vorbei»: <https://www.tagesanzeiger.ch/die-zeit-der-extremen-omikron-wellen-scheint-vorbei-414839150203>.

A. Anhang

A.1 Grundlegenden Nutzenberechnung

COVID-19-Szenario, fünf Tage früher¹¹⁰

Grundlegenden	Bezugsgrösse	Wert (Szenario COVID-19)	Einheit	Bemerkung und Quellen für COVID-19-Zahlen
Nutzen Abwassermonitoring				
Trends früher nachweisbar		Bis zu 2	Wochen	z.B. Kumar et al. 2022
Entscheid Behörden über Massnahmen früher möglich		5	Tage	Annahme
Infizierte, Hospitalisierte, Todesfälle				
Bevölkerung		8'738'800	Personen	
Anteil Infizierte	Bevölkerung	0,34 %		Covid-Statistik BAG, besondere Lage
Anzahl Infizierte		29'313		Covid-Statistik BAG, besondere Lage
Anteil Infizierte mit Spitalbehandlung	Infizierte	13,6 %		Covid-Statistik BAG, besondere Lage
Anteil Hospitalisierte mit Behandlung auf Intensivstation	Hospitalisierte	27,5 %		Covid-Statistik BAG, besondere Lage
Anzahl Hospitalisierte		3'991		Covid-Statistik BAG, besondere Lage
Anzahl Todesfälle		1'689		Covid-Statistik BAG, besondere Lage
Anteil Todesfälle	Infizierte	5,76 %		Covid-Statistik BAG, besondere Lage
Anteil Covid-Infizierte mit Long Covid	Infizierte	10 %		National Covid Science Task Force 2022
Anzahl Personen mit Long Covid		2'931	Personen	Schätzung basierend auf Hanson et al. 2022.
Infektionen, Hospitalisierungen, Todesfälle, wenn 2 Tage früher Lockdown	1-Faktor x weniger von jeder Variable	2,8	für jede Variable	Faktor für das Abwassermonitoring, welcher mit Python gemäss Formel von Flaxman et al. 2020 berechnet wurde.
Gesundheitskosten				
Kosten Spitalaufenthalt leichte Fälle	pro Patient:in	7'000	CHF	Konservative Annahme basierend auf folgenden Angaben: Santésuisse wird von Medinside (2020) mit Angabe von 7'000 bis 25'000 CHF zitiert; 20 Minuten (2021) nennt 25'000 bis 30'000 CHF.

¹¹⁰ - Für die weiteren Szenarien ändern sich die Werte für «Infizierte, Hospitalisierte, Todesfälle» gemäss den in Kapitel 4.2 aufgeführten Schadenswerten sowie die Faktoren gemäss Python-Simulationen in Kapitel 6.3.3., Schritt 1.

Kosten Aufenthalt auf Intensivstation	pro Patient:in	100'000	CHF	Konservative Annahme basierend auf folgenden Angaben: Santésuisse wird von Medinside (2020) mit 120'000 CHF zitiert; 20 Minuten (2021) nennt weit über 100'000 CHF; Universitätsspital Basel wird im Tagesanzeiger (2021) mit Angabe von über 100'000 CHF zitiert.
Gesundheitskosten Long Covid	pro Person mit Long Covid	8'500	CHF	Konservative Annahme basierend auf folgenden Angaben: Culter 2022 nennt 9'000 USD; Businesswire zitiert eine Studie von Nomi Health (US healthcare company) mit 9'500 USD.
Produktionsverluste				
Arbeitsausfall	je infizierter Person	5	Tage	Annahme: mehr als Influenza; Tomonoga et al. 2021 geben 3,2 Tage an für Influenza.
Kosten Arbeitsausfall	pro Arbeitstag	360	CHF	Berechnung aus Tomonoga et al. 2021. Annahme ist unabhängig davon, ob Kosten krankheits- oder mortalitätsbedingt entstehen.
Intangible Kosten				
Verlorene Lebensjahre von verstorbenen Personen		6	Jahre	Konservative Annahme, basierend auf National Covid Science Task Force 2021 (5.4-6.8 Jahre) und bezogen auf die zweite Welle. SwissRe 2020 geht für die UK von 12-14 Jahren aus.
Geldwert eines Lebensjahrs		175'000	CHF	«Angemessene» medizinische Kosten pro gewonnenes Lebensjahr gemäss Bundesgerichtsurteil von 2010, zitiert von National Covid Science Task Force 2021. Konservative Annahme basierend darauf, dass die National Covid Science Task Force 2021 ein weiteres Szenario mit Kosten von 250'000 CHF berechnet.
Nutzen Sequenzierung				
Schnellere gezielte Massnahmen Umsetzung	1-Faktor x weniger von jeder Variable	3,1		10%ige Zunahme des Faktors für das Abwassermonitoring, welcher mit Python gemäss Formel von Flaxman et al. 2020 berechnet wurde.

A.2 Grundlegendaten Kostenberechnung (Jährliche Kosten)

Abwassermonitoring (Probenentnahme, Laborkosten Erreger-Nachweis, Transport)

	Anzahl Erreger	# pro Woche	Anzahl ARA	Kosten total / Mittelwert pro Jahr	Kosten minimal pro Jahr	Kosten maximal pro Jahr
Szenario normal präpandemisch	5	3	50	CHF 2'145'000.00	CHF 1'794'000.00	CHF 2'496'000.00
Szenario normal postpandemisch	5	3	50	CHF 2'145'000.00	CHF 1'794'000.00	CHF 2'496'000.00
Szenario ausserordentlich	5	6	100	CHF 8'580'000.00	CHF 7'176'000.00	CHF 9'984'000.00

Gensequenzierung aus Abwassermonitoring

	Erreger	# pro Woche	Anzahl ARA	Kosten total / Mittelwert pro Jahr	Kosten minimal pro Jahr	Kosten maximal pro Jahr
Szenario normal präpandemisch	5	3	50	CHF 1'953'120.00	CHF 1'563'120.00	CHF 2'343'120.00
Szenario normal postpandemisch	5	3	50	CHF 1'953'120.00	CHF 1'563'120.00	CHF 2'343'120.00
Szenario ausserordentlich	5	6	100	CHF 7'806'240.00	CHF 6'246'240.00	CHF 9'366'240.00

Gensequenzierung aus Meldesystem

	Erreger	# pro Woche	Anzahl ARA	Kosten total / Mittelwert pro Jahr	Kosten minimal pro Jahr	Kosten maximal pro Jahr
Szenario normal präpandemisch	5	10	N/A	CHF 127'400.00	CHF 62'400.00	CHF 186'160.00
Szenario normal postpandemisch	5	201	N/A	CHF 2'560'740.00	CHF 1'254'240.00	CHF 3'741'816.00
Szenario ausserordentlich	5	1'074	N/A	CHF 13'682'393.00	CHF 6'701'580.00	CHF 19'993'047.00

Datenanalyse & Interpretation für Massnahmenverordnung

	Erreger	# pro Woche	Anzahl ARA	Kosten total / Mittelwert pro Jahr	Kosten minimal pro Jahr	Kosten maximal pro Jahr
Szenario normal präpandemisch, postpandemisch und ausserordentlich	N/A	N/A	N/A	CHF 450'000.00	CHF 450'000.00	CHF 450'000.00
Szenario Ausbau (ausserordentlich)	N/A	N/A	N/A	CHF 450'000.00	CHF 450'000.00	CHF 450'000.00
SPSP (Betriebskosten)	N/A	N/A	N/A	CHF 241'750.00	CHF 183'500.00	CHF 300'000.00
SPSP (Ausbaukosten einmalig)	N/A	N/A	N/A	CHF 230'500.00	CHF 161'000.00	CHF 300'000.00

B. Verzeichnisse

B.1. Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Institutionalisiertes Frühwarnsystem, Fokus der Studie</i>	20
<i>Abbildung 2: Prozesse Institutionalisiertes Frühwarnsystem</i>	20
<i>Abbildung 3: Die sechs Schritte der Nutzenberechnung</i>	53
<i>Abbildung 4: COVID-19-Pandemieverlauf der Welle, frühere Massnahmeneinführung</i>	56
<i>Abbildung 5: Vermiedene Infektionen im Zeitraum der ersten Welle, COVID-19</i>	57
<i>Abbildung 6: Verlauf «starke» und «extreme» Pandemien in der Welle, frühere Massnahmeneinführung</i>	57
<i>Abbildung 7: Totale Anzahl Infektionen, erste Welle, «starke» und «extreme» Pandemien</i>	58
<i>Abbildung 8: Nutzen-Kosten-Bilanz, COVID-19-Szenario, 5 Tage früher</i>	66
<i>Abbildung 9: Nutzen-Kosten-Verhältnis, verschiedene Szenarien, bei fünf früherem Lockdown</i>	67
<i>Abbildung 10: Nutzen-Kosten-Verhältnis, verschiedene Szenarien, bei zehn Tage früherem Lockdown</i>	68

B.2. Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Folgen der ersten COVID-19-Welle, Frühling 2020</i>	28
<i>Tabelle 2: COVID-19-Pandemie, Werte erste Welle</i>	30
<i>Tabelle 3: Pandemie «stark» und «extrem», erste Welle</i>	30
<i>Tabelle 4: Schadenswerte erste Welle, «starke» Pandemie</i>	31
<i>Tabelle 5: Schadenswerte erste Welle, «extreme» Pandemie</i>	31
<i>Tabelle 6: Sequenzierfrequenz, Grundlage COVID-19</i>	35
<i>Tabelle 7: Durchschnittliche jährliche Kosten für ein Frühwarnsystem nach Lage</i>	44

Eine Studie des Think-Tanks Pour Demain
unter Mitwirkung von Eraneos und INFRAS

Pour Demain
Marktgasse 46
3011 Bern
info@pourdemain.ch

Februar 2023



DENKEN
ÜBER
MORGEN