

MODUS-COVID Bericht vom 27.02.2023

Arbeitsgruppe Prof. Dr. Kai Nagel, Verkehrssystemplanung und Verkehrstelematik
("VSP"), TU Berlin, nagel@vsp.tu-berlin.de
Arbeitsgruppen Prof. Dr. Christof Schütte, PD Dr. Tim Conrad, Zuse-Inst. Berlin ("ZIB")
<https://covid-sim.info/>

Zusammenfassung

Wenn wir uns die vergangenen drei Jahre der Corona-Pandemie anschauen, ergeben sich aus unserer Sicht als ModelliererInnen verschiedene Erkenntnisse und Ideen für die Zukunft. Daher beschäftigen wir uns in diesem Bericht mit einem Rückblick auf Bereiche, die einen Zusammenhang mit unseren Daten, Modellen und Simulationen während dieses Zeitraums hatten.

Für uns wichtig sind die folgenden zwei Einsichten, die wir im Text herausarbeiten:

1. Die während der jeweiligen Pandemie-Wellen gewählten Maßnahmenpakete waren nicht alternativlos.
2. Der Wegfall einer bestimmten Maßnahmenkategorie hätte den Einsatz einer anderen Maßnahme zwingend erforderlich gemacht, um das Infektionswachstum zu stoppen.

Weiterhin schlagen wir vor, zukünftige pandemiebezogene Entscheidungen transparenter und nachvollziehbarer zu gestalten, indem die zentralen Ziele und geplanten Maßnahmen offengelegt und – so weit wie möglich – begründet werden. In diesem Sinne schlagen wir zwei Strategien vor, um mögliche zukünftige Pandemien effektiver zu bekämpfen.

I. Rückblick

Die Pandemie lässt sich entlang der Wellen (Abb. 1 oben) in Phasen unterteilen. Abgesehen von der zweiten Welle wurde jede neue Welle durch eine neue, leichter übertragbare Virusvariante verursacht (Abb. 1 unten). Im Folgenden wollen wir die jeweils unterschiedlichen Herausforderungen einer jeden Welle kurz betrachten.

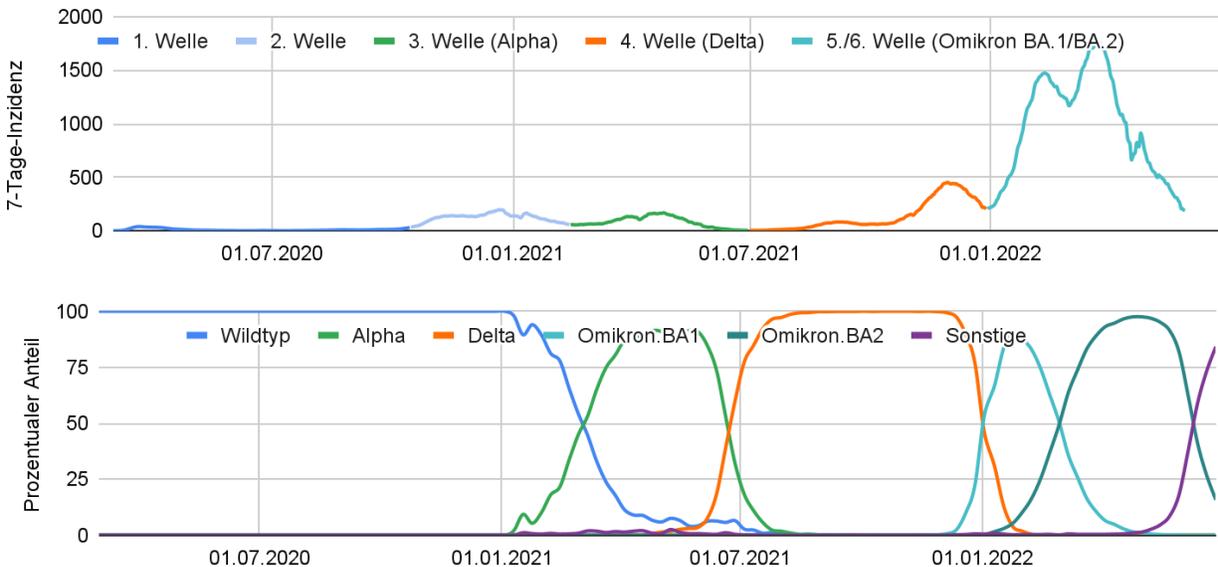


Abbildung 1: 7-Tage-Inzidenz (oben) sowie Anteile der Virusvarianten (unten) über die Zeit. Sequenzierungsdaten werden vom RKI gesammelt und wöchentlich veröffentlicht (RKI 2022), eigene Darstellung. Bemerkung: Die Zeitreihen enden Mitte 2022, weil die Inzidenzen wegen zunehmender Dunkelziffer zunehmend unzuverlässig wurden und damit ein sinnvoller Vergleich mit früheren Wellen nicht möglich ist.

Erste Welle: Verhaltensanpassung der Bevölkerung führte zum Brechen der Welle

Die erste Welle von Corona-Infektionen begann in Deutschland im Februar 2020 und ebte im April 2020 wieder weitgehend ab. Ausweislich unserer Mobilfunkdaten reagierte die Bevölkerung zu Beginn der Welle mit einer sehr deutlichen Reduktion der aushäusig verbrachten Zeit auf ca. 70% des vor-pandemischen Niveaus. In anderen Worten: die Bevölkerung hat deutlich mehr Zeit zu Hause verbracht. Eine so starke Reaktion wurde nur nochmal zum Jahreswechsel 2020/2021 erreicht. Durch die Reduktion der aushäusigen Aktivitäten wurde eine Vielzahl von Infektionen verhindert. Das Infektionswachstum wurde – weil Aktivitätsreduktionen außerhalb des eigenen Haushalts quadratisch wirken ($70\% \times 70\% = 49\%$)¹ – rechnerisch auf 49% des Wertes abgesenkt, welcher sich ohne diese Aktivitätsreduktionen ergeben hätte.

¹ Die Reduktion der Aktivitätendauern wirkt quadratisch, weil sie sowohl auf die bereits infizierte, infektiöse als auch auf die nicht-infizierte, empfängliche Person wirkt. In anderen Worten: Bei einer Reduktion auf ein Aktivitätsniveau von 70% ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine infektiöse Person an der Aktivität teilnimmt, nur 0,7. Ebenso ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine empfängliche Person an der Aktivität teilnimmt nur 0,7. Diese Wahrscheinlichkeiten gilt es zu multiplizieren. Vgl. Müller et al. (2021).

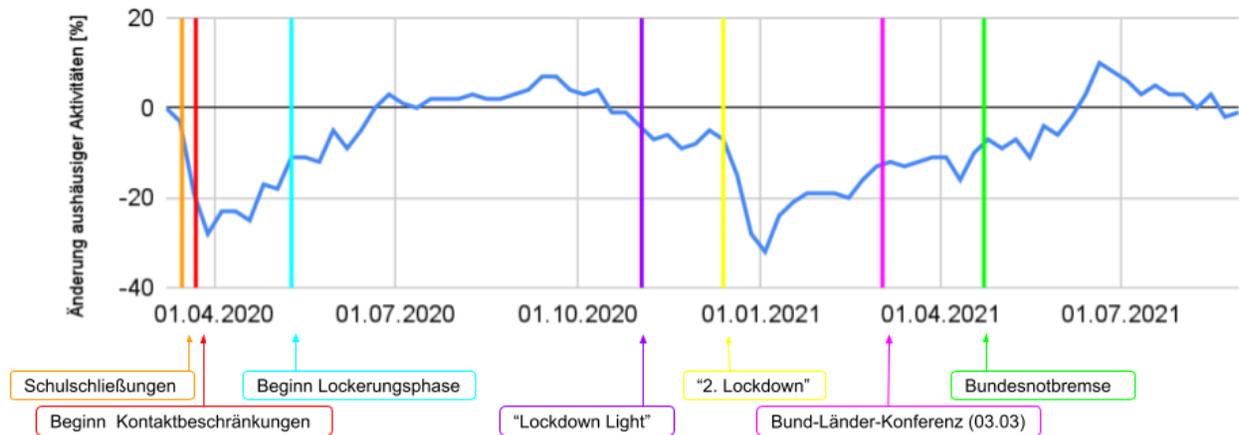


Abbildung 2: Prozentuale Veränderungen der aushäusig verbrachten Zeit im Pandemieverlauf in Deutschland, verglichen mit der Woche vom 2. bis 8.3.2020. Datenquelle: Senozon (2020), eigene Darstellung.

Die Verhaltensanpassung der Bevölkerung hat maßgeblich dazu beigetragen, dass die Welle "gebrochen" wurde. Dieser Eigenbeitrag hängt sicherlich auch stark mit der medialen Berichterstattung, beispielsweise aus Italien, zusammen, wo die Infektionswelle ca. 2 Wochen vorher begann. Zum Zeitpunkt der Ansprache der damaligen Bundeskanzlerin am 18.03.2020 (Merkel 2020) waren die aushäusigen Aktivitätsdauern bereits stark zurückgegangen und erreichten wenige Tage später ihr Minimum (siehe Abbildung 2).

Ähnliches, aber in umgekehrter Richtung, geschah bei der anschließenden Rücknahme der eingeführten Maßnahmen: während die Politik die mögliche Lockerung der Restriktionen diskutierte, stieg das Aktivitätsniveau der Bevölkerung bereits wieder an, in Richtung des vorpandemischen Niveaus (Die Bundesregierung 2020c).

Bewertung aus Sicht unserer Modelle und Daten

Dieser Anstieg des aushäusigen Aktivitätsniveaus hätte laut unserem Modell bei schlechtem Wetter und niedrigen Temperaturen zu einer weitaus längeren Dauer der ersten Welle geführt.² Durch das bessere Wetter wurden die aushäusigen Aktivitäten - statt in geschlossenen Innenräumen - oft im Freien durchgeführt, wo das Infektionsrisiko geringer ist.

Zweite Welle: Besser spät als gar nicht

Die zweite Welle begann im Herbst 2020. Im Vergleich zur ersten Welle wurden die Aktivitäten der Bevölkerung erst später und weniger deutlich reduziert bzw. von der Politik durch den sog. "Lockdown light" eingeschränkt (Die Bundesregierung 2020a, 2020d). Erst Mitte Dezember wurden die Infektionsschutzmaßnahmen deutlich verstärkt, etwa durch die Schließung der meisten Geschäfte und Schulen bzw. Kindergärten (Die Bundesregierung 2020b). Gleichzeitig

² Für Simulationsergebnisse siehe <https://covid-sim.info/cologne/2023-02-15/2-firstWave>.

erreichten die meisten Gesundheitsämter ihre Kapazitätsgrenze, wodurch u.a. eine zeitnahe Kontaktnachverfolgung kaum noch gewährleistet werden konnte.

Bewertung aus Sicht unserer Modelle und Daten

Unsere Simulationen zeigen, dass frühere Maßnahmen zur Absenkung des R-Wertes – etwa durch angeordnete Kontaktbeschränkungen – die Höhe der Welle deutlich reduziert hätten. Dies wird durch folgende Überlegung auch intuitiv klar:

Infektionswachstum ist ein exponentieller Prozess. Die Inzidenzen wachsen also von einer zur nächsten Woche prozentual, also z.B. jeweils um 30% gegenüber der Vorwoche. Dies sieht zunächst unproblematisch aus, also z.B. von 10 auf 13 und dann von 13 auf 17. Einige Wochen später ergeben die gleichen 30% eine gewaltige Welle, z.B. von 1000 auf 1300 und dann auf 1700. Aus diesem Grund ist ein frühzeitiges Eingreifen vorteilhaft, um das schnelle Wachstum zu begrenzen bzw. abzubremsen, wie in Abbildung 3 zu erkennen ist. (Siehe auch Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Epidemiologie vom 21.03.2020 (DGEpi 2020)).

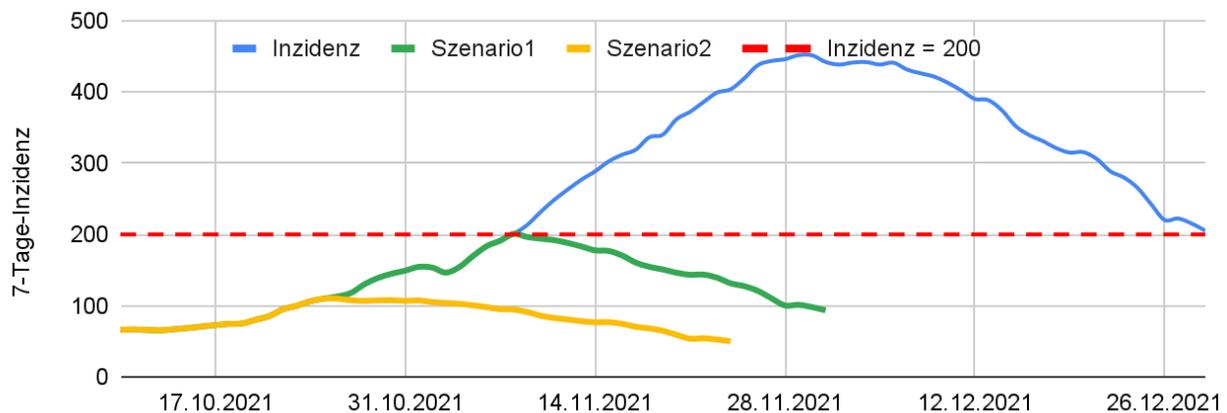


Abbildung 3: Visualisierung von Maßnahmeneinführungen zu verschiedenen Zeitpunkten. Inzidenz = reale Inzidenz der vierten Welle (RKI 2023a). Szenario 1 : Sobald eine Inzidenz von 200 (Beispielwert) erreicht wird, werden Maßnahmen eingeführt. Die prozentuale Abnahme ist analog zu der Abnahme der blauen Kurve nach Erreichen des Maximums. Szenario 2 : Analog zu Szenario 1, Maßnahmen werden zwei Wochen früher eingeführt.

Dritte Welle (Alpha): Variante mit höherer Übertragbarkeit

Ab ca. Mitte Januar 2021 verbreitete sich auch in Deutschland die Alpha-Variante, die sich durch eine höhere Übertragbarkeit (gegenüber der Wildvariante) auszeichnet (Davies et al. 2021; Graham et al. 2021; RKI 2021, 2022). Durch Sequenzierverfahren konnten die Inzidenzen der verschiedenen Sub-Varianten aufgeschlüsselt und individuell betrachtet werden (siehe Abbildung 4). Die Daten zeigten, dass die Infektionen durch den Wildtyp abnahmen und dadurch die Gesamtinzidenz sank, die Infektionen durch die Alpha-Variante hingegen anstiegen – trotz bereits reduziertem Aktivitätsniveau. Damit war auch ohne Modell klar, dass die bestehenden Maßnahmen nicht ausreichen würden, um diese Variante einzudämmen.

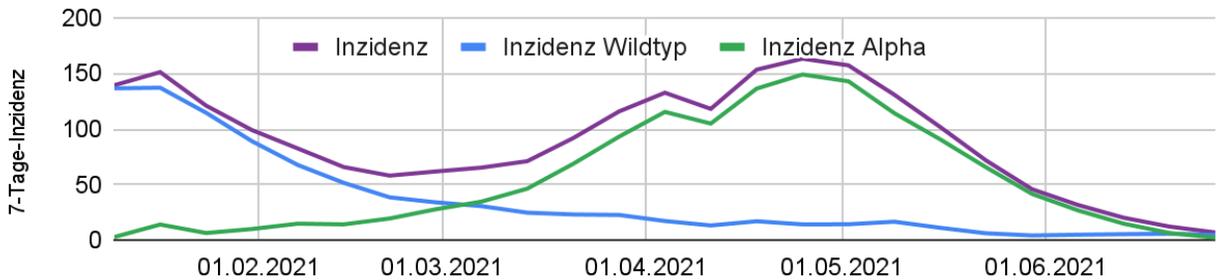


Abbildung 4: 7-Tage-Inzidenz nach Virusvariante. Gesamtinzidenz stammt vom RKI (RKI 2023a), Anteile der Alpha-Variante entstammen den Sequenzierungsdaten des RKI (RKI 2022), eigene Darstellung. $InzidenzAlpha = Inzidenz * AnteilAlpha$, $InzidenzWildtyp = Inzidenz * AnteilWildtyp$.

Andererseits war es vermutlich die Abnahme der Gesamt-Infektionszahlen, die bei der Bevölkerung ab Mitte Februar innerhalb von 4 Wochen zu einem Anstieg des Aktivitätsniveaus von ca. 80% auf ca. 90% führte. Die Videoschaltkonferenz der Bundeskanzlerin mit den Regierungschefinnen und Regierungschefs der Länder (Bund-Länder-Konferenz) (Die Bundesregierung 2021) am 03.03.2021 vollzog mit einem Stufenöffnungsplan nur das nach, was die Bevölkerung ohnehin machte.

Etwa im März 2021 wurden Corona-Schnelltests in großer Stückzahl verfügbar (BMG 2021). Der regelmäßige bzw. anlassbezogene Einsatz von Schnelltests war ein effektives Werkzeug zur Reduktion von Infektionen. Die Impfkampagne begann zum Jahreswechsel 2020/2021, jedoch stand zum Beginn der Alpha-Welle nur eine sehr begrenzte Anzahl an Impfdosen zur Verfügung.

Bewertung aus Sicht unserer Modelle und Daten

Der Effekt der Schnelltests, zusammen mit einer Woche sehr warmen Wetters kurz vor Ostern sowie einem reduzierten Aktivitätsniveau über die Osterfeiertage, haben laut unseren Modellberechnungen maßgeblich dazu beigetragen, dass die dritte Welle eingedämmt wurde. Die zu diesem Zeitpunkt niedrige Impfquote hat dazu laut unseren Simulationen nur in geringem Maße beigetragen.

Der Beitrag der sehr kontroversen Ausgangsbeschränkungen ("Bundesnotbremse") (Bundestag 2021) ist laut unseren Mobilitätsdaten sehr differenziert zu sehen. Beispielsweise in Nordrhein-Westfalen hat sich das abendliche Aktivitätsniveau nach deren Einführung sehr deutlich abgesenkt. In vielen anderen Bundesländern ist in unseren Daten keine Reaktion zu sehen. Dies ist konsistent damit, dass Köln bereits vor der Einführung der Bundesnotbremse eine abendliche Ausgangssperre verhängte, welche mit der Gefahr der Überlastung des Gesundheitssystems auch gerichtsfest begründet werden konnte (Stadt Köln - Die Oberbürgermeisterin 2021; Verwaltungsgericht Köln 2021, 2022). Möglicherweise gab es regional unterschiedliche Problemlagen sowie nicht genügend Zeit, um darauf mit entsprechenden Bundesregelungen differenziert zu reagieren.

Vierte Welle (Delta): Die Impfquoten machen den Unterschied

Über den Sommer 2021 wurden große Teile der Bevölkerung mit einem der neu entwickelten Impfstoffe gegen SARS-CoV-2 geimpft. Die Impfungen waren die Basis für die im Herbst bzw. Winter eingeführten 2G/3G Regeln. Jede Impfung wirkt generell in zwei Richtungen: Zum einen reduziert sie die Übertragung, und zum anderen reduziert sie schwere Krankheitsverläufe (Addo et al. 2022; Ssentongo et al. 2022). Allerdings zeigten erste Daten aus dem Herbst 2021 bereits, dass der Schutz gegen eine Infektion durch die Impfung über die Zeit recht schnell abnimmt (Nordström et al. 2021; UKHSA 2021). Der durch die Impfung eigentlich bestehende schützende Effekt wurde zusätzlich durch die Immunflucht-Eigenschaft der Delta-Variante reduziert (Nordström et al. 2021). Zur selben Zeit hatte sich das Aktivitätsniveau in der Bevölkerung fast wieder auf vor-pandemischem Niveau eingependelt.

Zu dem Zeitpunkt vorliegende Daten aus Israel (Bar-On et al. 2021) legten den Schluss nahe, dass eine Booster-Impfung den Schutz vor Infektionen und auch schwerem Verlauf der Krankheit erneut signifikant erhöhen könnte. Ab November 2021 wurde eine solche Booster-Kampagne "in die Welle hinein" durchgeführt (Bundesministerium für Gesundheit; STIKO 2021).

Bewertung aus Sicht unserer Modelle und Daten

In Bundesländern mit hoher Impf- und später Boosterquote, vor allem in den nordwestlichen Bundesländern, wurde die Delta-Welle durch die Booster-Kampagne eingedämmt, die Inzidenzen gingen zurück. In Bundesländern mit niedriger Impfquote, z.B. Sachsen, Brandenburg, Thüringen, Sachsen-Anhalt, reichte dies nicht aus, um die Infektionswelle zu brechen und die Anzahl der Sterbefälle niedrig zu halten (siehe Abbildung 5). In den nordwestlichen Bundesländern waren durch die niedrigeren Inzidenzen ausreichend Krankenhausbetten verfügbar, um die Fälle aus den östlichen Bundesländern aufzunehmen und somit dort eine Überlastung zu verhindern.

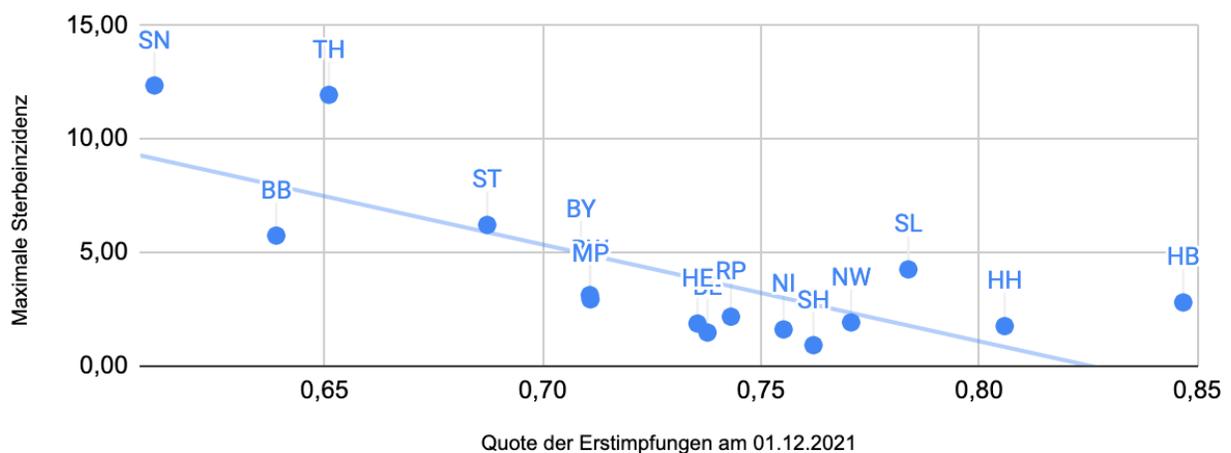


Abbildung 5: Darstellung der Impfquote (am 01.12.2021) vs. die maximale 7-Tage-Sterbeinzidenz im

Zeitraum November-Dezember 2021. Erkennbar ist, dass je höher die Impfquote, desto niedriger die Sterbeinzidenz. Datenquelle Impf- und Sterbezahlen: RKI (2023b, 2023d).³

Fünfte Welle (Omikron): Deutlich weniger schwere Verläufe

Ende 2021 breitete sich die Omikron-Variante in Deutschland aus. Diese Variante zeichnete sich durch eine besonders hohe Übertragbarkeit aus, verglichen mit den vorherigen Varianten. Gleichzeitig war die Wahrscheinlichkeit für einen schweren Verlauf bei dieser Variante deutlich geringer als bei den vorherigen Sub-Typen. Trotz sehr hoher Fallzahlen führte die vergleichsweise niedrige Anzahl an schweren Fällen nicht mehr zu einer Überlastung des Gesundheitssystems (RKI 2023c).

Bewertung aus Sicht unserer Modelle und Daten

Laut den vorliegenden Daten und unseren Modellberechnungen stieg (und steigt) die Bevölkerungsimunität – durch Impfungen und durchgemachte Infektionen – über die Zeit kontinuierlich an (Lange et al. 2022a, 2022b). Schwere Verläufe und dementsprechend Todesfälle belasteten nur noch einen kleinen Teil der Kapazitäten des Gesundheitssystems. Allerdings ist zu beachten, dass die steigenden Infektionszahlen mit einer steigenden Anzahl von Fällen einhergingen, bei denen die Betroffenen vier Wochen (Long-Covid; 15% der Erkrankten) oder sogar zwölf Wochen (Post-Covid; 2% der Erkrankten) nach der Infektion noch Beschwerden haben (Roessler et al. 2022; Zusammen gegen Corona 2022).

II. Erkenntnisse aus der Vergangenheit und Ideen für die Zukunft

Im Folgenden diskutieren wir verschiedene Aspekte aus den zurückliegenden drei Jahren Corona-Pandemie, die sich aus der Sicht unserer Modelle ergeben. Dabei beschränken wir uns auf Bereiche, die einen Zusammenhang mit unseren Modellen und Simulationen während dieses Zeitraums hatten.

Vorbemerkungen

Pandemische Wellen beginnen mit exponentiellem Wachstum, haben dann ihr Maximum in einer Übergangsphase und enden schließlich mit exponentiellem Abklingen. Exponentielles Wachstum bedeutet, dass das Wachstum multiplikativ ist, also dass die Inzidenzen in einer Woche z.B. das 1,5-fache der Vorwoche betragen, oder auch, dass eine infizierte Person im Mittel z.B. 1,5 weitere

³ Ein Bundesland könnte trotz niedriger Impfquote in dieser Grafik eine niedrige Sterberate haben, wenn die Durchseuchung in diesem Bundesland schon wesentlich weiter fortgeschritten wäre. Faktisch lag zu Beginn der Delta-Welle in keinem Bundesland der Anteil der Personen mit bereits durchgemachter Infektion über 10% (RKI et al. 2021, 2022), sodass dieser Effekt hier keine Rolle spielt.

Personen ansteckt (R-Wert).⁴ Inzidenzwachstum und R-Wert sind alternative quantitative Beschreibungen desselben Sachverhaltes.

Die oft in Berichten angegebenen Inzidenzen *resultieren* aus dem exponentiellen Prozess. Ein R-Wert größer als 1 lässt die Inzidenzen zunehmend stark anwachsen; ein R-Wert kleiner 1 lässt die Inzidenzen absinken. Steuerungsmaßnahmen wie z.B. Kontaktreduktionen oder Masken wirken auf den R-Wert. Auf die Inzidenzen wirken sie damit nur indirekt. Ein linearer Zusammenhang zwischen Maßnahmen und Inzidenzen ist daher nicht zu erwarten. Ein linearer Zusammenhang zwischen Maßnahmen und R-Wert bzw. dem Inzidenzwachstum sehr wohl.

Wenn man das Wachstum stoppen will, z.B. weil das Gesundheitssystem auf eine Überlastungsgrenze zuläuft, dann muss also der R-Wert unter 1 gebracht werden. Gelingt dies nicht, so wird das Wachstum nur langsamer, aber nicht gestoppt.

Erkenntnisse aus der Vergangenheit: Es gibt Alternativen zur Schulschließung

Die Maßnahmen im Herbst 2020⁵ haben laut unserem Modell die Anzahl schwerer Verläufe und Todesfälle reduziert. Laut unseren Modellen hätte eine frühere Einführung dies in einem stärkeren Maße getan. Auch hätten die Maßnahmen in anderer Art und Weise gestaltet werden können, wie wir im nächsten Abschnitt ausführen.

Ein wichtiger Teil der damaligen Maßnahmen war die weitgehende Schließung der Kindergärten und Schulen. Den tatsächlichen Beitrag dieser Schließungen zu quantifizieren, ist mit den in Deutschland vorhandenen Daten nicht möglich. In unseren Modellen⁶ hatten die Schulen damals – noch ohne die Verfügbarkeit von Schnelltests – einen Beitrag von ca. 0,1 zum R-Wert. Gleichzeitig lag der R-Wert insgesamt leicht über 1 (RKI 2020). Aufgrund dieser Situation war die Schließung der Schulen eine mögliche Maßnahme, den R-Wert unter 1 zu drücken. Diskutiert werden kann, ob es alternative Maßnahmen gegeben hätte. Aus Sicht unserer Modelle gibt es hier folgende drei Bereiche:

1. **Bereich Arbeit.** Eine mögliche Variante für den Bereich Arbeit ist, das Arbeiten nur in Einzelbüros, oder mit FFP2-Maske, oder im Homeoffice (Koslow et al. 2022) zuzulassen (mit Ausnahmen für große Hallen). Die Maskenpflicht in Mehrpersonenbüros könnte durch Einzelbüros oder Homeoffice vermieden werden. In der Schweiz wurde diese Variante beispielsweise im Herbst 2020 angeordnet (Der Schweizerische Bundesrat 2021). In Deutschland galt bei mindestens 10 qm pro Arbeitsplatz *keine* Verpflichtung zum Tragen

⁴Da die Generationszeit bei Covid ca. 3-4 Tage beträgt, ist bei Covid der R-Wert kleiner als das wöchentliche Inzidenzwachstum.

⁵ Während des "Lockdown Light" (Die Bundesregierung 2020d) umfassten diese u.a. die Schließung von Restaurants, Bars, Theatern, Freizeiteinrichtungen (Fitnessstudios, Schwimmhallen), die Unterlassung von touristisch veranlassten Übernachtungen, die Ermöglichung des Home Office, "wo immer dies umsetzbar ist" und die Eingrenzung auf Treffen mit maximal 10 Personen. Mit dem Beginn des 2. Lockdowns (Die Bundesregierung 2020b) wurden außerdem Schulen geschlossen, Zusammenkünfte auf maximal 5 Personen aus 2 Haushalten beschränkt und der Einzelhandel durfte nicht mehr öffnen.

⁶ Für Simulationsergebnisse siehe <https://covid-sim.info/2020-12-03> .

einer Maske. Die festgesetzten 10 qm konnten durch (Plexiglas-)Abschirmungen unterschritten werden, obwohl die wissenschaftliche Literatur schon sehr früh (Doron et al. 2021) nachgewiesen hatte, dass solche Abschirmungen die Situation sogar noch weiter verschlechtern können.

2. **Bereich private Besuche.** Eine mögliche Variante für den Bereich der privaten Besuche ist, keine Aufenthalte im öffentlichen Raum zum Zweck eines privaten Besuchs zuzulassen. Damit wird eine allgemeine Ausgangssperre vermieden. Großbritannien hat mit einer solchen Regel ab Anfang 2021 (Uk.gov 2020) die Alpha-Welle eingedämmt. Dabei gab es Ausnahmen für kleine Haushalte, welche sich mit anderen Haushalten zu einer sog. "support bubble" zusammenschließen konnten.
3. **Bereich Schule.** Eine mögliche Variante ist das Singapur Modell (Ministry of Education-Singapore 2020): Hier wurde jeweils die Hälfte einer Klasse in Präsenz (und mit Maske) unterrichtet, die andere Hälfte folgte per Video von zu Hause. Am folgenden Tag wurde getauscht. Unserer Einschätzung nach wäre dies, nach Ausstattung mit nötigem Equipment, zumindest bei den älteren Jahrgängen durchführbar gewesen.

Zusammenfassend stellen wir fest, dass es Alternativen zur Schließung von Schulen und Kindergärten gegeben hätte. Laut unseren Modellen wäre es aber nötig gewesen, eine oder mehrere dieser Alternativen auszuwählen und umzusetzen. Für weitere Details verweisen wir auf unsere MODUS-COVID Projekt-Berichte, vor allem von Ende 2020, z.B. vom 23.10.2020 (Müller et al. 2020) einschließlich dem darin besprochenen "R-Wert-Rechner".

Erkenntnisse aus der Vergangenheit: Abfrage der Ansteckungskontexte notwendig

Ein Plan für die Bewältigung einer möglichen zukünftigen Pandemie sollte unbedingt enthalten, dass einige Orte (Städte, Landkreise) im Rahmen der Kontaktnachverfolgung die Ansteckungskontexte möglichst genau identifizieren, und hier mindestens zwischen

- eigener Haushalt
- haushaltsfremder Besuch in eigenem Haushalt oder eigener Besuch in fremdem Haushalt (differenziert nach innerhalb/außerhalb der Familie)
- private Feiern
- öffentlicher Freizeit (z.B. Kneipen, Restaurants)
- Arbeit
- Schule
- Universität
- Kindergarten
- Einkaufen
- öffentlicher Verkehr

unterscheiden. Nicht alle davon sind über Interviews gut detektierbar, aber zumindest die Unterscheidung zwischen "Ansteckung durch eigenes Haushaltsmitglied" vs. "Ansteckung durch haushaltsfremden Besuch im eigenen Haushalt" wurde teilweise erst recht spät eingeführt. Auch wenn solche Angaben nicht immer absolut verlässlich sind, sind sie trotzdem für die

Dimensionierung von Kontaktbeschränkungen von zentraler Wichtigkeit. Weiterhin sind solche Daten für die Kalibrierung von Modellen hilfreich und führen zu genaueren Ergebnissen.

Ideen für die Zukunft: Die Wahl der Strategie

In der Vergangenheit wurden viele der pandemiebezogenen Entscheidungen – zumindest öffentlich – eher wenig mit klaren Zielvorgaben begründet. Auch eine globale Strategie war selten erkennbar oder wurde zumindest nicht ausreichend kommuniziert. Im Sinne einer transparenten und für die Bevölkerung nachvollziehbaren Politik sollten daher zumindest die zentralen Ziele und die dafür geplanten Maßnahmen – also insgesamt die Strategie – offengelegt und begründet werden. Im Folgenden schlagen wir zwei Strategien vor, anhand derer eine zukünftige Pandemiebekämpfung ausgerichtet und gesteuert werden könnte. Beide Strategien wurden unter dem Eindruck der letzten 3 Jahre erstellt – für Pandemien mit deutlich anderen Eigenschaften gelten möglicherweise andere Empfehlungen. Beide Vorschläge können daher nur der Startpunkt einer entsprechenden Debatte sein, bilden aber eine gute Diskussionsgrundlage. Insbesondere nicht in die Überlegungen eingeflossen sind komplexere systemabhängige Abwägungen, wie etwa Verschiebungen von Belastungen zwischen einer “ermüdeten Bevölkerung” und einem “ermüdeten Gesundheitssystem”, die auch noch kleinteiliger betrachtet werden könnten.

Die beiden Strategien können als aufeinander aufbauend gesehen werden: Die erste Strategie (“A”) zielt darauf ab, hohe Inzidenzen gar nicht erst entstehen zu lassen. Die zweite Strategie (“B”) greift, wenn dies nicht gelungen ist, um eine Überlastung des Gesundheitssystems zu vermeiden. Falls bereits eine sehr hohe Inzidenz vorliegt, sollte zunächst mit Strategie B gestartet werden, bis ein R-Wert von unter 1 vorliegt.

Strategie A mit dem Ziel: Unterdrückung von Infektionen bis zur Verfügbarkeit eines Impfstoffes

Das Ziel dieser Strategie ist eine ständige und wirksame Unterdrückung von Infektionen in der gesamten Bevölkerung, bis ein entsprechender Impfstoff und/oder Medikamente verfügbar sind. Das bedeutet, dass der R-Wert ständig unter 1 gehalten werden muss, um hohe Inzidenzen auf Dauer zu vermeiden. Wir nehmen dabei an, dass Infektionen mit entsprechendem Schutz durch eine Impfung (oder Medikamente) generell weniger schwer verlaufen als ohne. Dadurch würden eventuelle langfristige Schädigungen und Todesfälle deutlich reduziert werden. Bei einigen Infektionskrankheiten reicht die Impfung sogar aus, um eine Herdenimmunität zu erreichen; bei Covid war dies nicht der Fall.

Schritt 1: Frühestmögliche Einführung von Maßnahmen, welche Aktivitäten und Kontakte der Bevölkerung reduzieren.

Schritt 2: Bewertung der eingesetzten Maßnahmen im Hinblick auf den R-Wert. Liegt dieser über 1, sollten die Maßnahmen verschärft werden. Liegt er unter 1, können die Maßnahmen vorsichtig gelockert werden.

Strategie B mit dem Ziel: Katastrophale Überlastung des Gesundheitssystems verhindern

Diese Strategie hat das Ziel, eine "katastrophale" – das heißt mehrfache – Überlastung des Gesundheitssystems zu vermeiden. Dieses Ziel lässt sich mit den Werkzeugen einer guten Modellierung in Kombination mit den entsprechenden Maßnahmen erreichen. Dazu muss eine modellbasierte Vorhersage des multiplikativen Wachstums für mindestens zwei Wochen erstellt werden. Zeigt sich in dieser Projektion, dass die (Hospitalisierungs-)Inzidenz eine festgelegte Überlastungsgrenze überschreitet, dann muss der R-Wert durch entsprechende Maßnahmen auf unter 1 reduziert werden (siehe Abbildung 3).

Schritt 1: Frühestmögliche Einführung von Maßnahmen, welche die Reduktion von Infektionen zum Ziel haben. Je nach Bewertung der Lage können das zunächst eher moderate Maßnahmen (z.B. Maskenpflicht in Innenräumen) sein oder bei einer ausgesprochen schlechten Aussicht bereits (Teil-)Lockdowns. Bei Infektionskrankheiten mit anderen Übertragungsmechanismen können andere Maßnahmen nötig werden.

Schritt 2: Bewertung der eingesetzten Maßnahmen im Hinblick auf eine Reduktion des Ausbreitungswachstums. Nach etwa zwei Wochen⁷ kann der Einfluss der Maßnahmen abgeschätzt werden und die Modellierung neu kalibriert werden. Damit kann eine neue Projektion erstellt und die Situation insgesamt neu bewertet werden. Daraus ergibt sich dann gegebenenfalls die Einführung strikterer Maßnahmen, um das Wachstum schlussendlich zu beenden, oder auch die Möglichkeit leichter Lockerungen.

Bemerkung: Die Kontaktnachverfolgung der Gesundheitsämter leistet einen essenziellen Beitrag zur Reduktion des R-Wertes, da die Kontaktbeschränkungen effektiv auf denjenigen Teil der Bevölkerung beschränkt werden, welcher eine höhere Wahrscheinlichkeit der Ansteckung hat. Dieser Beitrag ist nur dann maximal, wenn die Gesundheitsämter dabei nicht überlastet sind, also möglichst schnell nach einer Infektion die Kontakte ermitteln und Isolation anordnen. Die so erhobenen Daten sollten zeitnah in entsprechende Modelle einfließen.

Schlussbemerkung

Aus unserer Sicht als ModelliererInnen gibt es aus den vergangenen drei Jahren Corona-Pandemie verschiedene Erkenntnisse und auch Ideen für zukünftige Strategien, die wir in diesem Bericht skizziert haben. Besonders wichtig sind uns dabei zwei Aspekte, die wir noch einmal hervorheben möchten: Die während der jeweiligen Pandemie-Wellen gewählten Maßnahmenpakete waren nicht alternativlos. Gleichzeitig hätte aber der Wegfall einer bestimmten Maßnahmenkategorie den Einsatz einer anderen Maßnahme zwingend erforderlich gemacht, wie wir am Beispiel der Schulschließungen erläutert haben. Wir haben in diesem Bericht

⁷ Bei COVID-19 geben tagesaktuelle Fallzahlen eher einen Rückblick über die Neuansteckungen vor ca. 2 Wochen. Dies hängt mit der Inkubationszeit und der Geschwindigkeit des Meldesystems zusammen. Bei einer Krankheit mit längerer Inkubationszeit und einem langsameren Meldesystem wäre diese Zeitspanne entsprechend länger.

auf quantitative Details zu den einzelnen Maßnahmen verzichtet, um die Übersichtlichkeit zu erhöhen. Diese Details können aber in unseren früheren Berichten nachgelesen werden (vgl. MODUS-COVID consortium since 2020).

Dieser Bericht ist fokussiert auf diejenigen Aspekte der Pandemie, welche aus der Daten- und Modellierungssicht des MODUS-COVID Projektes besonders relevant waren. Er stellt keine vollständige Aufarbeitung dar und enthält insbesondere keinen umfassenden Katalog von Vorschlägen für die grundlegende Verbesserung der Bekämpfung zukünftiger Pandemien, etwa in Bezug auf eine verbesserte Datenlage. Eine solche Aufarbeitung sollte unter Einbeziehung aller beteiligten Akteure aus Politik, Wissenschaft und Gesellschaft in naher Zukunft angegangen werden.

Dank

Wir danken André Calero Valdez, Martin J. Kühn, Rafael Mikolajczyk und Markus Scholz vom Modellierungsnetzwerk für schwere Infektionskrankheiten (MONID) (Berndt et al. 2022; Bierbaum et al. 2022) für hilfreiche Anregungen und Kommentare, die in diesen Bericht eingeflossen sind.

Quellen

- Addo IY, Dadzie FA, Okeke SR, Boadi C, Boadu EF. Duration of immunity following full vaccination against SARS-CoV-2: a systematic review. Arch Public Health [Internet]. 2022 Sep 2;80(1):200. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s13690-022-00935-x>
- Bar-On YM, Goldberg Y, Mandel M, Bodenheimer O, Freedman L, Kalkstein N, et al. Protection of BNT162b2 Vaccine Booster against Covid-19 in Israel. N Engl J Med [Internet]. 2021 Oct 7;385(15):1393–400. Available from: <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMoa2114255>
- Berndt JO, Conrad T, Hasenauer J, Karch A, Kheifetz Y, Kirsten H, et al. Szenarien für den Verlauf der SARS-CoV-2-Pandemie im Winter 2022/23 - Ergebnisse eines Workshops des Modellierungsnetzes für schwere Infektionskrankheiten (Modellierungsnetz) [Internet]. 2022. Available from: <https://zenodo.org/record/7126032>
- Bierbaum V, Calero Valdez A, Conrad T, Hasenauer J, Karch A, Kuhlmann A, et al. 2. Stellungnahme des Modellierungsnetzes für schwere Infektionskrankheiten (MONID) [Internet]. 2022. Available from: <https://zenodo.org/record/7440730>
- BMG. Verordnung zum Anspruch auf Testung in Bezug auf einen direkten Erregernachweis des Coronavirus SARS-CoV-2 (Coronavirus-Testverordnung – TestV) [Internet]. bundesgesundheitsministerium.de. 2021 [cited 2023 Feb 14]. Available from: https://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/3_Downloads/C/Coronavirus/Verordnungen/Corona-TestV_BAnz_AT_09.03.2021_V1.pdf
- Bundesministerium für Gesundheit. Das offizielle Dashboard zur Impfkampagne der Bundesrepublik Deutschland [Internet]. [cited 2023 Feb 14]. Available from: <https://impfdashboard.de/>

- Bundestag. Bevölkerungsschutzgesetz: Bundesweite Notbremse beschlossen [Internet]. bundestag.de. 2021 [cited 2023 Feb 7]. Available from: <https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2021/kw16-de-infektionsschutzgesetz-834802>
- Davies NG, Abbott S, Barnard RC, Jarvis CI, Kucharski AJ, Munday JD, et al. Estimated transmissibility and impact of SARS-CoV-2 lineage B.1.1.7 in England. Science [Internet]. 2021 Apr 9 [cited 2021 Dec 27]; Available from: <https://science.sciencemag.org/content/372/6538/eabg3055.abstract>
- Der Schweizerische Bundesrat. Verordnung über Massnahmen in der besonderen Lage zur Bekämpfung der Covid-19-Epidemie (Covid-19-Verordnung besondere Lage) (Weitere Massnahmenverschärfungen) [Internet]. 2021 [cited 2021 May 31]. Available from: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/oc/2021/7/de>
- DGEpi. Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Epidemiologie (DGEpi) zur Verbreitung des neuen Coronavirus (SARS-CoV-2) [Internet]. dgepi.de. 2020 [cited 2023 Feb 24]. Available from: https://www.dgepi.de/assets/Stellungnahmen/Stellungnahme2020Corona_DGEpi-21032020-v2.pdf
- Die Bundesregierung. Der Beschluss von Bund und Ländern zur Bekämpfung der Corona-Pandemie [Internet]. bundesregierung.de. 2020a [cited 2023 Feb 7]. Available from: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/archiv/bund-laender-beschluss-1805264>
- Die Bundesregierung. Telefonkonferenz der Bundeskanzlerin mit den Regierungschefinnen und Regierungschefs der Länder am 13. Dezember 2020. 2020b Dec 13; Available from: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/1827366/69441fb68435a7199b3d3a89bff2c0e6/2020-12-13-beschluss-mpk-data.pdf>
- Die Bundesregierung. Telefonschaltkonferenz der Bundeskanzlerin mit den Regierungschefinnen und Regierungschefs der Länder am 6. Mai 2020 [Internet]. bundesregierung.de. 2020c [cited 2023 Feb 16]. Available from: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/1750986/fc61b6eb1fc1d398d66cfea79b565129/2020-05-06-mpk-beschluss-data.pdf?download=1>
- Die Bundesregierung. Videokonferenz der Bundeskanzlerin mit den Regierungschefinnen und Regierungschefs der Länder am 28. Oktober 2020. Bundesregierung Deutschland [Internet]. 2020d Oct 28 [cited 2023 Feb 7]; Available from: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975232/1805024/5353edede6c0125ebe5b5166504dfd79/2020-10-28-mpk-beschluss-corona-data.pdf>
- Die Bundesregierung. Videoschaltkonferenz der Bundeskanzlerin mit den Regierungschefinnen und Regierungschefs der Länder am 3. März 2021 [Internet]. bundesregierung.de. 2021 [cited 2023 Feb 14]. Available from: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1872054/66dba48b5b63d8817615d11edaaed849/2021-03-03-mpk-data.pdf?download=1>
- Doron S, Ingalls RR, Beauchamp A, Boehm J, Boucher HW, Chow LH, et al. Weekly SARS-CoV-2 screening of asymptomatic students and staff to guide and evaluate strategies for safer in-person learning [Internet]. bioRxiv. medRxiv; 2021. Available from: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2021.03.20.21253976.abstract>

- Graham MS, Sudre CH, May A, Antonelli M, Murray B, Varsavsky T, et al. Changes in symptomatology, reinfection, and transmissibility associated with the SARS-CoV-2 variant B.1.1.7: an ecological study. *Lancet Public Health* [Internet]. 2021 May;6(5):e335–45. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/S2468-2667\(21\)00055-4](http://dx.doi.org/10.1016/S2468-2667(21)00055-4)
- Koslow W, Kühn MJ, Binder S, Klitz M, Abele D, Basermann A, et al. Appropriate relaxation of non-pharmaceutical interventions minimizes the risk of a resurgence in SARS-CoV-2 infections in spite of the Delta variant. *PLoS Comput Biol* [Internet]. 2022 May;18(5):e1010054. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pcbi.1010054>
- Lange B, Jäger VK, Rücker V, Harries M, Hassenstein MJ, Dreier M. 2. Interimsanalyse des IMMUNEBRIDGE-Projektes zur Kommunikation von vorläufigen Ergebnissen an das Modellierungsnetz für schwere Infektionskrankheiten. 2022a Oct 13; Available from: <https://www.bmbf.de/SharedDocs/Downloads/de/2022/20221013-zwischenbericht-immunbridge.html>
- Lange B, Jäger V, Rücker V, Hassenstein M, Harries M, Berner R, et al. Interimsanalyse des IMMUNEBRIDGE-Projektes zur Kommunikation von vorläufigen Ergebnissen an die Modellierungskonsortien der BMBF-geförderten Modellierungsplattformen [Internet]. 2022b [cited 2022 Aug 9]. Available from: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6968574>
- Merkel A. Fernsehansprache von Bundeskanzlerin Angela Merkel am 18. März 2020. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (BPA) [Internet]. 2020 Mar 18 [cited 2023 Feb 7]; Available from: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/fernsehansprache-von-bundeskanzlerin-angela-merkel-1732134>
- Ministry of Education-Singapore. Schools to Implement One Day of Home-Based Learning a Week [Internet]. Ministry of Education - Singapore. 2020 [cited 2023 Feb 14]. Available from: <https://www.moe.gov.sg/news/press-releases/20200327-schools-to-implement-one-day-of-home-based-learning-a-week>
- MODUS-COVID consortium. MODUS-COVID reports [Internet]. since 2020. Available from: <https://depositonce.tu-berlin.de/simple-search?query=modus-covid>
- Müller SA, Balmer M, Charlton W, Ewert R, Neumann A, Rakow C, et al. Predicting the effects of COVID-19 related interventions in urban settings by combining activity-based modelling, agent-based simulation, and mobile phone data. *PLoS One* [Internet]. 2021 Oct 28;16(10):e0259037. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0259037>
- Müller SA, Charlton W, Conrad ND, Ewert R, Rakow C, Wulkow H, et al. MODUS-COVID Bericht vom 23.10.2020 [Internet]. Technische Universität Berlin; 2020. Available from: <https://doi.org/10.14279/depositonce-10662.2>
- Nordström P, Ballin M, Nordström A. Effectiveness of Covid-19 Vaccination Against Risk of Symptomatic Infection, Hospitalization, and Death Up to 9 Months: A Swedish Total-Population Cohort Study [Internet]. 2021 [cited 2021 Nov 19]. Available from: <https://papers.ssrn.com/abstract=3949410>
- RKI. Täglicher Lagebericht des RKI zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19) - 15.12.2020 – AKTUALISIERTER STAND FÜR DEUTSCHLAND. 2020.
- RKI. Bericht zu Virusvarianten von SARS-CoV-2 in Deutschland, insbesondere zur Variant of

- Concern (VOC) B.1.1.7 [Internet]. 2021. Available from: https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/DESH/Bericht_VOC_2021-03-03.pdf .
- RKI. Anzahl und Anteile von VOC und VOI in Deutschland [Internet]. RKI. 2022 [cited 2022 Oct 13]. Available from: https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Daten/VOC_VOI_Tabelle.html
- RKI. 7-Tage-Inzidenz der COVID-19-Fälle in Deutschland [Internet]. 2023a. Available from: <https://zenodo.org/record/7637972>
- RKI. COVID-19-Impfungen in Deutschland [Internet]. 2023b. Available from: <https://zenodo.org/record/7648451>
- RKI. Inzidenz aufgrund von COVID-19 hospitalisierter Fälle nach Altersgruppe und Impfstatus [Internet]. Inzidenz aufgrund von COVID-19 hospitalisierter Fälle nach Altersgruppe und Impfstatus. 2023c [cited 2023 Feb 14]. Available from: https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Daten/Inzidenz_Impfstatus.html
- RKI. Todesfälle nach Sterbedatum (16.2.2023) [Internet]. rki.de. 2023d [cited 2023 Feb 17]. Available from: https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Projekte_RKI/COVID-19_Todesfaelle.html
- RKI, SOEP, IAB. Corona-Monitoring bundesweit (RKI-SOEP-Studie) - Überblick zu ersten Ergebnissen [Internet]. rki.de. 2021 [cited 2023 Feb 24]. Available from: <https://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Studien/lid/Ergebnisse.pdf>.
- RKI, SOEP, IAB, FZ-BAMF. Corona-Monitoring bundesweit – Welle 2 - Überblick zu ersten Ergebnissen (aktualisierte Version vom 14.12.2022) [Internet]. rki.de. 2022 [cited 2023 Feb 24]. Available from: <https://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Studien/lid/Factsheet-CoMoBu-Welle-2.pdf>.
- Roessler M, Tesch F, Batram M, Jacob J, Loser F, Weidinger O, et al. Post-COVID-19-associated morbidity in children, adolescents, and adults: A matched cohort study including more than 157,000 individuals with COVID-19 in Germany. PLoS Med [Internet]. 2022 Nov;19(11):e1004122. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pmed.1004122>
- Senozon. The Senozon Mobility Model [Internet]. The Senozon Mobility Model. 2020 [cited 2020 Mar 19]. Available from: <https://senozon.com/en/model/>
- Ssentongo P, Ssentongo AE, Voleti N, Groff D, Sun A, Ba DM, et al. SARS-CoV-2 vaccine effectiveness against infection, symptomatic and severe COVID-19: a systematic review and meta-analysis. BMC Infect Dis [Internet]. 2022 May 7;22(1):439. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s12879-022-07418-y>
- Stadt Köln - Die Oberbürgermeisterin. Änderung der Allgemeinverfügung vom 2. Oktober 2020 zur regionalen Anpassung der Coronaschutzverordnung an das Infektionsgeschehen in der Stadt Köln vom 16.04.2021 [Internet]. Stadt Köln. 2021 [cited 2023 Feb 14]. Available from:

https://www.stadt-koeln.de/mediaasset/content/bekanntmachungen/2021/2021.04.16_0079-01_coronaschutzvo_regionale_anpassung_vom_16.04.2021.pdf

STIKO. Pressemitteilung der STIKO zur Auffrischimpfung einer COVID-19-Impfung bei Personen ab 18 Jahren (18.11.2021) [Internet]. rki.de. 2021 [cited 2023 Feb 7]. Available from: https://www.rki.de/DE/Content/Kommissionen/STIKO/Empfehlungen/PM_2021-11-18.html .

Uk.gov. Guidance - Making a support bubble with another household [Internet]. 2020 [cited 2022 Jul 12]. Available from: <https://www.gov.uk/guidance/making-a-support-bubble-with-another-household>

UKHSA. COVID-19 vaccine surveillance report - Week 44 [Internet]. gov.uk. 2021 [cited 2023 Feb 16]. Available from: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1032671/Vaccine_surveillance_report_-_week_44.pdf

Verwaltungsgericht Köln. Verwaltungsgericht lehnt Eilantrag ab: Ausgangsbeschränkung in Köln bleibt vorerst bestehen [Internet]. vg-koeln.nrw.de. 2021 [cited 2023 Feb 14]. Available from: https://www.vg-koeln.nrw.de/behoerde/presse/Pressemitteilungen/Archiv/2021/14_21042021/index.php

Verwaltungsgericht Köln. Verwaltungsgericht: Ausgangsbeschränkung in Köln im Frühjahr 2021 war rechters [Internet]. vg-koeln.nrw.de. 2022 [cited 2023 Feb 14]. Available from: https://www.vg-koeln.nrw.de/behoerde/presse/Pressemitteilungen/Archiv/2022/34_19122022/index.php

Zusammen gegen Corona. Long COVID und Post-COVID: Langzeitfolgen einer COVID-19-Erkrankung [Internet]. ZusammengegenCorona. 2022. Available from: <https://www.zusammengegencorona.de/covid-19/long-covid-langzeitfolgen-einer-covid-19-erkrankung>