

MODUS-COVID Bericht vom 22.03.2022

Sebastian Alexander Müller¹, William Charlton¹, Natasa Djurdjevac Conrad², Ricardo Ewert¹, Sydney Paltra¹, Christian Rakow¹, Jakob Rehmann¹, Tim Conrad², Christof Schütte², Kai Nagel¹

¹Verkehrssystemplanung und Verkehrstelematik ("VSP"), TU Berlin

nagel@vsp.tu-berlin.de

²Zuse-Inst. Berlin ("ZIB")

Available via TU Berlin repository: <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-15347>

Date of this version: 22-march-2022

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Website: <https://covid-sim.info>

1 Zusammenfassung

Wir betrachten verschiedene Szenarien für den weiteren Pandemieverlauf bis Anfang 2023, und analysieren basierend auf diesen Szenarien die maximal möglichen Wirkungen von Impfpflicht-Konzepten. Wir definieren dazu u.a. ein eher günstiges Szenario (die Eigenschaften des Corona-Virus ändern sich nicht wesentlich) und ein eher ungünstiges Szenario (die Eigenschaften des Corona-Virus ändern sich, mit negativen Folgen für die Bevölkerung und die zu erwartende Infektionsdynamik) (vgl. Abschnitt 4, S. 3).

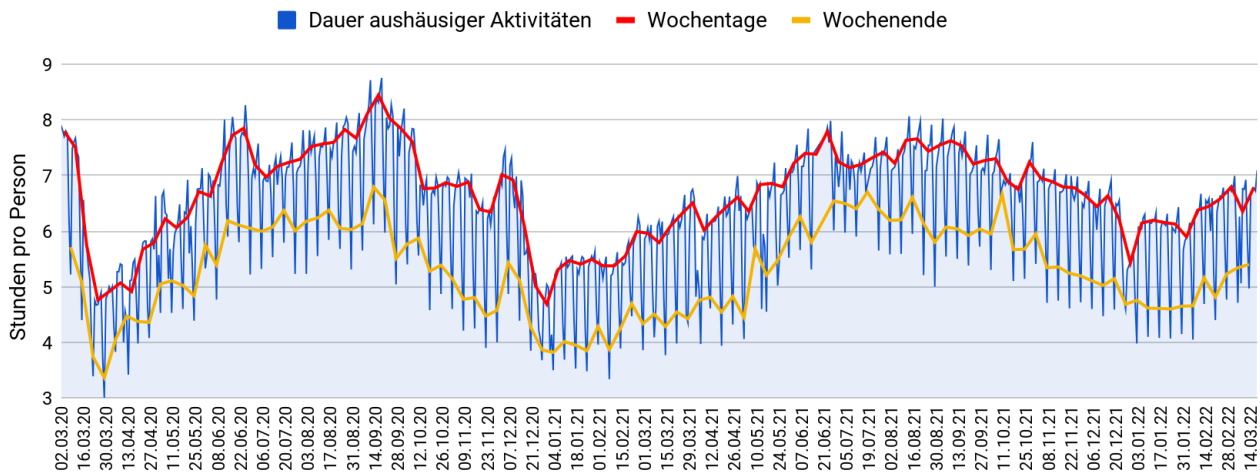
Im günstigen Szenario prognostiziert unser Modell eine Welle für den nächsten Winter mit einer ähnlichen Höhe wie jetzt. Im ungünstigen Szenario prognostiziert das Modell eine Welle, welche das Gesundheitssystem um ein Vielfaches überlasten könnte - sollten keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden (vgl. Abschnitt 5, S. 4).

In beiden Szenarien würde eine Impfpflicht, welche alle über 18-Jährigen betrifft, die Krankenhauszahlen laut Modell um maximal einen Faktor 2 reduzieren. Im ungünstigen Szenario könnte eine Impfpflicht alleine eine Überlastung des Gesundheitssystems also nicht verhindern. Die Impfpflicht zu schließen stellt einen wichtigen Baustein dar, der aber mit weiteren Maßnahmen kombiniert werden müsste (vgl. Abschnitt 6, S. 5f.).

2 Mobilitätsdaten

Die Entwicklung der aushäusigen Aktivitätendauern für Berlin und Köln sind in den beiden folgenden Abbildungen dargestellt (Abb. 1). Nach der Reduktion der aushäusigen Aktivitätendauern an den Wochentagen während der Winterferien in Berlin ist dort das Niveau der aushäusigen Aktivitätendauern wieder leicht angestiegen, auf jetzt ca 6,8 Stunden pro Tag. Das Niveau liegt aber immer noch niedriger als in Köln (ca. 7,4 Stunden pro Tag). An den Wochenenden lässt sich in beiden Regionen ein deutlicher Anstieg erkennen. Auswertungen für alle Landkreise und Bundesländer sind auf unserer Webseite <https://covid-sim.info/mobility-counties/> abrufbar.

Durchschnittliche Dauer aushäusiger Aktivitäten Berlin



Durchschnittliche Dauer aushäusiger Aktivitäten Köln

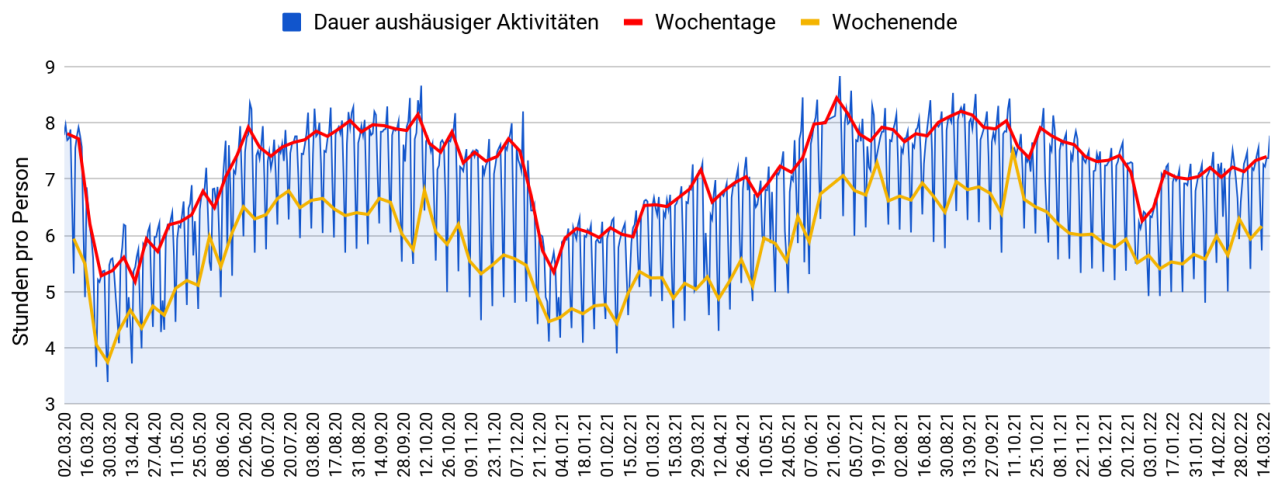


Abbildung 1: Im Mittel aushäusig verbrachte Zeit pro Person und Tag in Berlin (oben) und Köln (unten); ermittelt aus anonymisierten Mobilfunkdaten. Rot: Mittelwerte über die Wochentage der jeweiligen Woche. Gelb: Mittelwerte über die Wochenend- und Feiertage (einschl. Samstag) der jeweiligen Woche. Eigene Darstellung; Datenquelle: Senozon (2020).

3 Impfpflicht

Die Politik diskutiert derzeit unterschiedliche Konzepte für eine mögliche Impfpflicht. Wir beschäftigen uns in diesem Bericht mit den zu erwartenden Wirkungen dieser verschiedenen Impfpflicht-Konzepte. Um diese Wirkungen im weiteren mittel- und langfristigen Verlauf der Pandemie quantifizieren zu können, definieren wir unterschiedliche Szenarien für den weiteren Pandemieverlauf. Anhand dieser Szenarien simulieren wir die möglichen Konsequenzen der jeweiligen Impfpflicht-Konzepte mittels unseres Modells. Diese Szenarien werden im Folgenden beschrieben. Anschließend präsentieren wir die Ergebnisse der Modellsimulationen für die Impfpflicht-Konzepte.

4 Szenarien für den weiteren Pandemieverlauf

Die britische Expert:innengruppe SAGE¹ hat verschiedene mögliche Szenarien entworfen, wie sich die Pandemie in den kommenden Monaten entwickeln könnte (SAGE 2022). Diese enthalten beispielsweise das Auftauchen neuer Varianten und die damit verbundenen Auswirkungen auf das Infektionsgeschehen bzw. das Gesundheitssystem. Sollten sich im zukünftigen Verlauf neue Varianten des Corona-Virus entwickeln, ist damit zu rechnen, dass diese sich von den bisherigen in drei Haupteigenschaften unterscheiden werden: (1) bei der Übertragbarkeit, (2) in der Fähigkeit zur "Immun-Flucht" (also, wie gut ein vorhandener Immunschutz durch Infektion oder Impfung wirkt) und (3) bei der Krankheitsschwere.

Für die ersten beiden Eigenschaften – Übertragbarkeit und Immun-Flucht – ist eine Veränderung "zum Besseren" kaum zu erwarten, weil sich eine neue Variante damit wahrscheinlich nicht gegen die zum Zeitpunkt des Auftauchens vorherrschende Variante durchsetzen würde. Nur bei der dritten Eigenschaft – Veränderungen in der Krankheitsschwere – sind Entwicklungen in beide Richtungen denkbar. Aus diesen Überlegungen ergibt sich ein "eher günstiger" und ein "eher ungünstiger" Fall:

- *Eher günstiger* Fall: Die zukünftigen Mutationen des Corona-Virus verändern die wesentlichen Eigenschaften nicht und es bleibt bei Omikron BA.2 oder einer ähnlichen Variante.
- *Eher ungünstiger* Fall: Die zukünftigen Mutationen verändern das Virus negativ in allen drei Eigenschaften. Das bedeutet: Die Übertragung des Virus wird noch einfacher, die vorhandenen Impfungen wirken noch weniger und die Schwere einer Infektion wird schwerer als bei allen bisherigen Varianten.

Zwischen diesen beiden extremen Fällen liegen offensichtlich weitere Szenarien, bei denen sich nur eine oder zwei der Eigenschaften negativ verändern. Auch nochmals bessere oder nochmals schlechtere Szenarien sind denkbar; es handelt sich daher explizit *nicht* um best-case oder worst-case Fälle.²

Für die folgenden Betrachtungen haben wir zwei Modelle entwickelt, die diese beiden Fälle – "eher günstig" und "eher ungünstig" – nachbilden. Hinzu kommt ein "mittlerer" Fall, bei dem sich eine neue Variante wegen Immun-Flucht und/oder Erhöhung der Übertragbarkeit leicht ausbreitet, aber die leichtere Krankheitsschwere von Omikron besitzt. Anschließend präsentieren wir die Simulations-Ergebnisse dieser Modelle, wenn verschiedene Impfpflicht-Konzepte angenommen werden.

5 Simulationen ohne Impfpflicht

Auswirkungen auf die Inzidenzen

Unsere Simulationen für den "eher günstigen" Fall ergeben im kommenden Winter eine Welle von Corona-Infektionen, die mit der aktuellen Welle (Januar - März '22) vergleichbar ist. Diese Welle beruht im Wesentlichen darauf, dass die durch die derzeitigen Impfungen bzw. Infektionen erreichte Immunität der Bevölkerung über den Sommer teilweise nachlässt, und die Welle dann durch den "Wintereffekt" ausgelöst wird. Die Höhe dieser Welle ist in unseren Simulationen mit der Höhe der derzeitigen Welle vergleichbar.

¹ Scientific Advisory Group for Emergencies (SAGE)

² Ein "noch schlechterer" Fall kann sich z.B. aus folgenden Gründen ergeben: (1) In den Simulationen müssen wir Zahlenwerte für die Veränderungen von Übertragung und Krankheitsschwere verwenden. Diese richten sich nach der bisherigen Bandbreite der Veränderung des Virus. Aber natürlich kann es für uns nochmals ungünstigere Mutationssprünge geben. (2) Das Virus könnte sich durch Mutation auch entlang anderer Charakteristika verschlechtern, z.B. Unterdrückung des Immunsystems, oder Langfristfolgen.

Unsere Simulationen sowohl für den “mittleren” als auch für den “eher ungünstigen” Fall ergeben im Winter eine Welle von Corona-Infektionen, die deutlich schwerwiegender als die aktuelle Welle (Januar - März '22) ist. Es zeigt sich, dass sowohl eine Erhöhung der Übertragbarkeit als auch eine erhöhte Immun-Flucht für sich genommen³ bereits zu einer sehr viel steileren, höheren und früheren Welle führen, und auch deutlich höhere Inzidenzen erreicht werden, verglichen mit der aktuellen Welle. Der Zeitpunkt des Maximums dieser Welle hängt vom Zeitpunkt des Auftretens der neuen Variante ab, und könnte dadurch auch im Sommer liegen. Die Höhe dieses Maximums ist in den Simulationen - abhängig von den konkreten Parametern - bis zu 10x so hoch wie die derzeitige Welle (Januar - März '22). Um diese Wucht zu verstehen, muss man sich vor Augen führen, dass (a) bereits eine Immunfluchtvariante, die den Immunschutz gegen Übertragung von 90 auf 70% reduziert, zu einer Ausbreitungsdynamik führt wie bei der originalen Wildvariante, und (b) wir hier davon ausgehen, dass kaum noch Maßnahmen bestehen.

Auswirkungen auf die Krankenhausinzidenzen

Die Krankenhausinzidenzen ergeben sich aus den Infektionszahlen, multipliziert mit den vom Immunstatus abhängigen Wahrscheinlichkeiten für schwere Verläufe. Für die folgende Betrachtung nehmen wir an, dass die durchschnittlichen Krankheitsverläufe – je nach Virus-Mutation – unterschiedlich schwer sein können.

“Mittlerer” Fall: Wir nehmen eine neue Variante mit Immun-Flucht/erhöhter Übertragbarkeit und einer Omikron-artigen Krankheitsschwere an. Hier ergäbe sich trotz einer vielfach höheren Infektionsinzidenz als bisher eine maximale Hospitalisierungsinzidenz, die “nur” ca. 2-3x so hoch liegt wie die bisherigen Maxima. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Bevölkerung durch Infektionen und Impfungen weitere Immunität aufbaut, welche zwar kaum gegen die Übertragung der neuen Variante schützt, aber gegen schwere Verläufe.

Wenn man stattdessen aber eine Delta-artige Krankheitsschwere annimmt, dann ergibt sich in unseren Simulationen eine maximale Hospitalisierungsinzidenz, die das bisherige Maximum um mehr als das 7-fache übertrifft.⁴

Zusammenfassende Beurteilung der Szenarien

Nur wenn es bei den derzeit zirkulierenden Omikron-Varianten bleibt, bekommen wir laut unseren Simulationen im nächsten Winter eine Welle, die mit der aktuellen Situation vergleichbar ist.

Wenn sich hingegen Virus-Varianten verbreiten, die entweder eine Immun-Flucht oder eine Erhöhung der Übertragbarkeit oder eine Kombination davon darstellen, dann ergibt sich eine sehr steile Infektionswelle. Dies liegt hauptsächlich daran, dass diese neuen Varianten viel leichter übertragbar sind als die vorherigen Varianten, und im Modell kaum Gegenmaßnahmen angenommen werden.⁵

Die Belastung der Krankenhäuser hängt von der durch die neuen Varianten verursachte Schwere der Krankheitsverläufe ab. Eine Omikron-artige Krankheitsschwere führt laut unserer Modellsimulationen zu einer 2-3x so hohen Belastung wie an den bisherigen Maxima (im Winter 20/21). Eine Delta-artige Krankheitsschwere führt hingegen laut unserer Simulationen zu einer Belastung, welche die vorhandenen Kapazitäten im Gesundheitssystem um ein vielfaches überschreiten würde.

³ Natürlich ist auch die Kombination beider Verschlechterungen möglich; und nicht unwahrscheinlich.

⁴ An den meisten Standorten war das bisherige Maximum entweder während der ersten Winterwelle Ende 2020, oder während der Alpha-Welle Apr/Mai 2021.

⁵ Das Modell enthält noch Maskenpflichten im öffentlichen Verkehr und im Einzelhandel sowie freiwillige Schnelltests.

Bemerkungen zu möglichen Sommerwellen

Der R-Wert (Reproduktionszahl; = wie viele Personen eine infizierte Person im Mittel ansteckt) ist im Winter ca. 50% höher als im Sommer (Gavenčiak et al. 2021; auch in unserem Modell berücksichtigt). Man beachte, dass dieser Unterschied geringer ist als die Erhöhung der Übertragbarkeit von der Alpha auf die Delta-Variante oder von der Delta- auf die Omikron-Variante. Daraus folgt, dass durch neue Varianten verursachte Wellen prinzipiell auch im Sommer auftreten können. Die Omikron-Welle im Südsommer 21/22 in Südafrika oder die Delta-Welle im (Nord-)Sommer 2021 waren bereits Beispiele hierfür. Während der Delta-Welle konnte allerdings der Gewinn an Übertragbarkeit durch die Impfkampagne kompensiert werden.

6 Simulationen mit Impfpflicht

Mit den oben diskutierten Szenarien für den weiteren Pandemieverlauf können nun verschiedene Impfkonzeppte und ihre Wirkungen auf das zukünftige Infektionsgeschehen bzw. die -dynamik untersucht werden. Wir beschränken uns dabei auf zwei Konzepte, die den zurzeit in der Politik diskutierten Vorschlägen ähnlich sind:

1. **Impfkonzeppt A:** Impfpflicht mit Dreifachimpfung für alle Personen ab 18 ab 1. Oktober
2. **Impfkonzeppt B:** Impfpflicht mit Dreifachimpfung für alle Personen ab 50 ab 1. Oktober

In beiden Konzepten gehen wir davon aus, dass es sich um eine Dreifach-Impfung handelt, wobei die dritte Impfung 3 Monate nach der zweiten durchgeführt wird. Dies entspricht der derzeitigen STIKO-Empfehlung.⁶

Für das Impfkonzeppt A gehen wir davon aus, dass die fehlenden Impfungen ab Anfang Mai nachgeholt werden, bei den bereits doppelt geimpften also durch Boosterung, bei den anderen zunächst durch die Doppelimpfung, nach weiteren 3 Monaten gefolgt von Boosterung.

Das Impfkonzeppt B resultiert aus der Überlegung, dass der größte Teil der schweren Verläufe bei älteren Personen auftritt. Wir setzen die Altersgrenze auf 50 Jahre, um den derzeit in der Politik diskutierten Konzepten ähnlich zu sein.

Insgesamt ist allerdings bei einer gesetzlichen Impfpflicht nicht davon auszugehen, dass sich alle betroffenen Personen tatsächlich impfen lassen werden. Insofern geben die Simulationen Auskunft über die Wirkungen, die im bestmöglichen Fall zu erreichen sind – nämlich wenn sich alle betroffenen Personen entsprechend Impfpflicht impfen lassen, oder alle betroffenen Personen sich nach der Beratung zur Impfung entschließen.

Grundsätzliche Betrachtung möglicher Impfpflicht-Erfolge

Im Folgenden werden wir zunächst die grundsätzlichen Effekte der beiden Impfkonzeppte betrachten. Nehmen wir hierfür an, dass es vor allem Personen über 50 sind, bei denen nach einer Infektion mit einem vergleichsweise schweren Verlauf gerechnet werden muss - wie im Impfkonzeppt B. Nehmen wir weiter an, dass in dieser Bevölkerungsgruppe eine Impfquote α erreicht wird, z.B. $\alpha = 80\%$ - was etwas unter dem derzeitigen Stand (März 2022) liegt. Gehen wir nun davon aus, dass eine Impfung vor schweren Verläufen schützt, und zwar um einen Anteil β .

⁶Im Dezember 2021 hat die STIKO ihre Empfehlung für den Abstand zwischen Grundimmunisierung bzw. Infektion und Auffrischimpfung für Volljährige auf mindestens 3 Monate reduziert (https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2022/02/Art_02.html).

Im Januar 2022 folgte eine entsprechende Empfehlung für 12-17-Jährige (https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2022/03/Art_03.html).

Für die aktuellen Impfstoffe kann man in etwa annehmen, dass $\beta = 90\%$ ist.⁷ Eine mögliche Anzahl schwerer Verläufe X verringert sich durch Impfungen also auf

$$(1 - \alpha) \cdot X + \alpha \cdot (1 - \beta) \cdot X = X \cdot (1 - \alpha \cdot \beta),$$

also um $\alpha \cdot \beta$.

Daraus ergibt sich die folgende Tabelle 1, sowie der beispielhaft in Abb. 2 dargestellte Zusammenhang von Impfquote und der resultierenden Belastung durch schwere Verläufe im Vergleich zum Zustand bei einer ungeimpften Bevölkerung:

Impfquote (α)	Schutz vor schwerem Verlauf (β)	Resultierende Minderungswirkung bzgl. schwerer Verläufe	Verbleibende Belastung gegenüber ungeimpfter Bevölkerung
80%	90%	72%	28%
85%	90%	77%	24%
90%	90%	81%	19%
95%	90%	86%	15%
100%	90%	90%	10%

Tabelle 1: Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Impfquote und der resultierenden Belastung der Krankenhäuser durch schwere Verläufe im Vergleich zum Zustand ohne eine Schutzwirkung durch eine Impfung.

⁷ Englische Studien wie die von (Andrews et al. 2021) geben 2-9 Wochen nach Doppelimpfung für die Altersgruppe 65+ eine 92,2%-ige Schutzwirkung gegen Hospitalisierung durch Delta an. 20 Wochen nach der Doppelimpfung ist dieser Schutz auf 76,3% gesunken. Die US-Gesundheitsbehörde CDC (Ferdinands et al. 2022) geht altersunabhängig bei weniger als 2 Monaten nach der Doppelimpfung von einem 94%-igen Schutz gegen Hospitalisierung durch Delta und einem 71%-igen Schutz gegen Hospitalisierung durch Omikron aus. 5 Monate nach Doppelimpfung sinken diese Werte auf 82% bzw 54%. Auch nach der Auffrischimpfung gibt die CDC weniger als 2 Monate nach der Impfung einen 96%-igen Schutz gegen Hospitalisierung durch Delta bzw. einen 91%-igen Schutz gegen Hospitalisierung durch Omikron an. 4 Monate nach der Auffrischimpfung sinken diese Werte auf 76% gegen Delta bzw. 78% gegen Omikron.

α = Impfquote (grün = geimpft; rot = ungeimpft)
 KH = Krankenhausbelastung



Abbildung. 2: Darstellung der resultierenden KH-Belastung in Abhängigkeit von der Impfquote der Bevölkerung. Links: Ohne Impfungen; Mitte: Eine Impfquote von 90% ergibt in unserer Rechnung (siehe Text) eine resultierende KH-Belastung von insgesamt 19% im Vergleich zur KH-Belastung ohne Impfungen; Rechts: Nach Impfung der verbleibenden 10% ergibt sich eine verbleibende KH-Belastung von 10%.

Eine Konsequenz daraus ist, dass in Bundesländern mit einer hohen Impfquote von 90% oder mehr in den relevanten Jahrgängen durch eine vollständige Impfung die Minderungswirkung maximal von 81% auf 90% erhöht werden kann und damit die Belastung von 19% auf 10% abgesenkt würde - also um ca. einen Faktor 2.

Auf der anderen Seite ergibt sich in Bundesländern mit einer niedrigeren Impfquote von 80% in den relevanten Jahrgängen eine Absenkung der Krankenhausbelastung um maximal einen Faktor 3 durch eine Impfpflicht, die die relevante Bevölkerungsgruppe betrifft. Dies gilt auch nur, wenn eine Impfpflicht zu einer 100% Impfquote führt.

Die beschriebenen theoretischen Überlegungen haben wir zwecks Plausibilitätsprüfung ebenfalls mittels unseres Modells simuliert. Dabei erlaubt die Simulation auch komplexe Zusammenhänge zu evaluieren, etwa durch altersabhängige bisherige Impf- bzw. Boosterquoten sowie altersabhängige Wahrscheinlichkeiten für schwere Verläufe. Die Resultate der Simulationen bezüglich der zentralen Aussagen der obigen theoretischen Überlegungen sind identisch: Bundesweit führt auch hier eine Impfpflicht mit den beiden genannten Konzepten selbst bei vollständiger Befolgung maximal zu einer Absenkung der Krankenhausbelastung um einen Faktor 2 gegenüber dem Status Quo.

Zusammenfassende Beurteilung und Ausblick

Unsere Simulationen ergeben durch die Impfpflicht in keinem der dargelegten Fälle eine Absenkung der bundesweiten Krankenhausbelastung um mehr als einen Faktor 2.

Falls sich der Verlauf der Pandemie in naher Zukunft "eher gut" entwickeln wird - nämlich dass bis zum Winter keine neue Variante auftaucht - ist dies der Unterschied zwischen einer "Belastung

doppelt so hoch wie derzeit" (mit bisheriger Impfquote) und einer "Belastung in etwa so hoch wie derzeit" (mit 100%iger Impfquote).

Sollte sich die Pandemie allerdings "eher schlecht" entwickeln, nämlich dass bis zum Winter eine neue Variante mit einer Delta-artigen Krankheitschwere dominant wird - ist dies der Unterschied zwischen "Belastung ca. 10x so hoch wie an den bisherigen Belastungsmaxima", wenn keine Impfpflicht eingeführt ist und "Belastung ca. 5x so hoch wie an den bisherigen Belastungsmaxima", wenn die Impfpflicht eingeführt werden würde.⁸ Zu beachten ist hier, dass für diese Szenarien kaum noch Maßnahmen bestehen und die neue Variante den bestehenden Immunschutz fast vollständig umgehen kann.

Gerade für das "eher schlechte" Szenario wäre eine weitere Erhöhung der Impfquoten ein wichtiger Baustein zur Reduktion der Krankenhausbelastungen insgesamt. Allerdings wäre dies im Falle des oben ausgeführten "eher schlechten" Szenarios bei weitem nicht ausreichend, um eine Überlastung der Krankenhäuser zu vermeiden.

Quellen

- Andrews, Nick, Elise Tessier, Julia Stowe, Charlotte Gower, Freja Kirsebom, Ruth Simmons, Eileen Gallagher, et al. 2021. "Vaccine Effectiveness and Duration of Protection of Comirnaty, Vaxzevria and Spikevax against Mild and Severe COVID-19 in the UK." *bioRxiv*. doi:10.1101/2021.09.15.21263583.
- Ferdinands, Jill M., Suchitra Rao, Brian E. Dixon, Patrick K. Mitchell, Malini B. DeSilva, Stephanie A. Irving, Ned Lewis, et al. 2022. "Waning 2-Dose and 3-Dose Effectiveness of mRNA Vaccines Against COVID-19–Associated Emergency Department and Urgent Care Encounters and Hospitalizations Among Adults During Periods of Delta and Omicron Variant Predominance — VISION Network, 10 States, August 2021–January 2022." *MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report*. doi:10.15585/mmwr.mm7107e2.
- Gavenciak, Tomáš, Joshua Teperowski Monrad, Gavin Leech, Mrinank Sharma, Sören Mindermann, Jan Markus Brauner, Samir Bhatt, and Jan Kulveit. 2021. "Seasonal Variation in SARS-CoV-2 Transmission in Temperate Climates." *bioRxiv*. medRxiv. doi:10.1101/2021.06.10.21258647.
- SAGE. 2022. "Viral Evolution Scenarios." *GOV.UK*. February 11. <https://www.gov.uk/government/publications/academics-viral-evolution-scenarios-10-february-2022>.
- Senozon. 2020. "The Senozon Mobility Model." *The Senozon Mobility Model*. <https://senozon.com/en/model/>.

⁸ "Ca. 10x" ist zu verstehen als Illustration der im Text genannten Formulierung "um mehr als das 7-fache".