

MODUS-COVID Bericht vom 18.06.2021

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/>

1 Zusammenfassung

Auch in Deutschland breitet sich die Delta-Mutation aus. Im Spätsommer ist mit einer 4. Welle in den *Übertragungen* zu rechnen, da diese Variante nochmal ansteckender ist als die zur Zeit vorherrschenden Alpha-Variante. Auf diese Möglichkeit sollten wir vorbereitet sein und schnell reagieren können. Auch nach den Sommerferien sollten in den Schulen weiterhin Schnelltests durchgeführt werden, um einen systematische Überblick über das Infektionsgeschehen zu haben (vgl. Abschnitt 3, S. 2).

Die Auswertungen der Mobilitätsdaten auf Landkreisebene zur Wirkung der Ausgangsbeschränkungen während der Bundesnotbremse zeigen, dass die nächtlichen Aktivitäten in Nordrhein-Westfalen und einigen weiteren Regionen Süd-West-Deutschlands reduziert wurden. Bei der insgesamt aushäusig verbrachten Zeit lässt sich eine Reduktion an den Wochenenden erkennen (vgl. Abschnitt 4, S. 4).

Wir zeigen mit unserem mathematischen Modell, wie stark Einreise-Kontroll- bzw. Quarantäne-Maßnahmen gestaltet werden müssen, um die Einschleppung und Ausbreitung einer Corona-Mutation mit den Eigenschaften der Delta-Variante in Deutschland zu verzögern. Um die Ausbreitung um 20 Tage zu verzögern, muss die Wahrscheinlichkeit des Eintrags um einen Faktor 10 reduziert werden (vgl. Abschnitt 5, S. 7).

Unsere Rechnungen zeigen, dass eine Vollöffnung der Schulen nach den Sommerferien ohne jegliche Schutzmaßnahmen einen exponentiellen Anstieg der Übertragungen unter den SchülerInnen zur Folge hätte, unter der Annahme, dass diese bis dahin nicht geimpft werden (vgl. Abschnitt 6.1, S. 11).

Da Impfungen besser schützen als eine Kombination aus Schnelltests und Masken, können diese die Maskenpflicht prinzipiell ersetzen. Jedoch ist eine dringende Empfehlung zum Tragen von FFP2-Masken für ungeimpfte Personen in Innenräumen zum Selbstschutz weiterhin angebracht (vgl. Abschnitt 6.2, S. 12).

2 Mobilitätsdaten

Seit dem letzten Bericht hat sich das Aktivitätsniveau weiter erhöht, und liegt jetzt auf dem Niveau im Monat vor der Pandemie. Das Niveau des letzten Sommers ist noch nicht ganz erreicht.

Durchschnittliche Dauer aushäusiger Aktivitäten Berlin

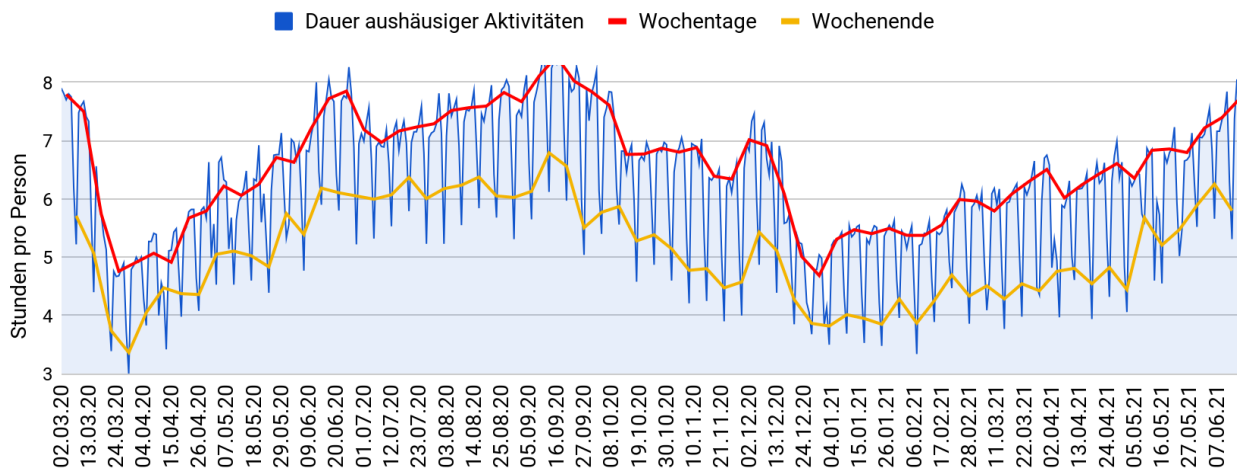


Abbildung 1: Im Mittel aushäusig verbrachte Zeit pro Person in Berlin; ermittelt aus anonymisierten Mobilfunkdaten. Rot: Mittelwerte über die Wochentage der jeweiligen Woche. Gelb: Mittelwerte über die Wochenend- und Feiertage (einschl. Samstag) der jeweiligen Woche. Eigene Darstellung; Datenquelle: (Senozon 2021).

3 Derzeitige Situation aus der Sicht unserer Modelle

Sowohl die Impfungen als auch die durch die wärmere Jahreszeit nach außen verlagerten Aktivitäten dämpfen die Infektionsdynamik signifikant. In Berlin und anderen Bundesländern kommen die bald beginnenden Schulferien hinzu, die nicht nur die Kontakte zwischen Kindern und Jugendlichen reduzieren, sondern auch bei den Eltern die Arbeitsaktivitäten. Insofern haben wir derzeit laut unseren Modellen relativ viel Spielraum, um Restriktionen abzubauen.

Andererseits breitet sich auch bei uns eine neue Virusmutation – die sog. Delta-Variante – aus, die stärker ansteckend ist als die derzeit dominante Alpha-Variante. Aktuelle Studien weisen darauf hin, dass die derzeitigen Impfstoffe schlechter gegen diese neue Variante wirken, insbesondere nach nur einer Impfung (vgl. Voysey et al. 2021). Aufgrund der derzeitigen Ausbreitungszahlen kann davon ausgegangen werden, dass die Delta-Variante ab dem Spätsommer die vorherrschende Variante sein wird.

Weiterhin legen Studien nahe (vgl. Madhi et al. 2021; Abu-Raddad et al. 2021), dass eine bereits erfolgte Immunisierung (durch Impfung oder durchgemachte Infektion) über die Zeit an Wirksamkeit verliert (z.B. durch neu auftretende Mutationen). Dies kann sowohl den Schutz vor schwerer Erkrankung als auch die Unterdrückung von Übertragungen betreffen. In unserem Modell gehen wir derzeit davon aus, dass der Schutz vor Übertragung schneller nachlässt als der Schutz vor schweren Verläufen.

Insgesamt ergibt sich daraus, dass im Herbst mit einer vierten Welle *in den Übertragungen* zu rechnen ist. In unseren Simulationen für Berlin setzt diese in vielen Szenarien schon im August ein, einhergehend mit der Dominanz der Delta-Variante und dem Ende der Schulsommerferien.

In den Krankenhaus-Zahlen zeigt diese Welle sich allerdings erst mit ein- bis zweimonatiger Verzögerung, weil die Impfung in vielen Fällen vor schweren Verläufen schützt. Dennoch kommen wir hier in vielen Szenarien auf sehr hohe Krankenhaus-Belastungen, teilweise sogar höher als im Dezember 2020. Dies liegt daran, dass sich bei einer angenommenen Impfquote von 80% bei der erwachsenen Bevölkerung eine Welle ergibt, die immer noch 20% so hoch ist, wie die erste Welle gewesen wäre, wenn wir sie nicht durch eine Vielzahl von Maßnahmen gebremst hätten.

Mögliche Gegenmaßnahmen haben wir schon im letzten Bericht aufgeführt. Allerdings hat die Delta-Mutation etwas andere Charakteristika als die im letzten Bericht angenommene Mutation. Hier ist zu vermuten, dass sich auch in den folgenden Monaten weitere Erkenntnisse ergeben. Daher sind die folgenden Werte zur Orientierung gedacht, und nicht als Ergebnis eines gegen die Realität kalibrierten Modells. Sie beziehen sich auf einen R-Wert von ca. 1,4:

- Beibehaltung oder Wiedereinführung der Maskenpflicht in Innenräumen (öffentlicher Verkehr, Schulen und Universitäten insb. während des Unterrichts, Einzelhandel): $-0,1$.
- Beibehaltung oder Wiedereinführung der Testpflicht vor Unterricht in Schulen und Universitäten, Testangebotspflicht bei Unternehmen, Bürgertests: $-0,1$.
- Auffrischungsimpfung (Drittimpfung) vor Oktober: $-0,1$.¹
- Impfung von Kindern und Jugendlichen (80% aller Personen zwischen 6M und 16J): $-0,1$ bis $-0,2$.
- Erhöhung der Impfquote bei Erwachsenen von 80% auf 95%: $-0,1$ bis $-0,2$.

Zentral erscheinen uns folgende Feststellungen:

Wir sollten zum Herbst hin vorbereitet sein. Dies bedeutet u.a.: Angebot der Auffrischungsimpfung einschließlich Vorhaltung von genügend Impfstoff; Angebot der Impfung von Kindern und Jugendlichen einschließlich Vorhaltung von genügend Impfstoff soweit medizinisch vertretbar; Beibehaltung oder Bereitschaft zur Wiedereinführung der Schnelltests; Beibehaltung oder Bereitschaft zur Wiedereinführung von Maskenpflicht in Innenräumen; Bereitschaft zur Halbierung der Personendichte in Innenräumen einschl. Innengastronomie.

Schnelltests an Schulen sollten nach den Sommerferien auf jeden Fall beibehalten werden, als Screening-Maßnahme, um eine Übersicht über das Infektionsgeschehen dort zu erhalten, wo es im Herbst, nach der Impfung eines großen Teils der Erwachsenen, vermutlich zuerst aufflammen wird. Wenn nicht gleichzeitig Infektionsunterdrückung erreicht werden soll (vgl. vorherige Box), dann wäre hierfür ein Test pro Woche ausreichend.

Aus der Perspektive unseres Modells sollten, wegen der jahreszeitlichen Effekte, Auffrischungsimpfungen generell zum Herbst hin stattfinden, wie bei der Grippe. Dies spricht gegen die derzeit diskutierten "12 Monate nach der Erstimpfung" und für eine Auffrischungsimpfung bereits in diesem Jahr.²

¹ Dieser Wert ist niedriger als im letzten Bericht, weil die Delta-Variante andere Charakteristika hat als die im letzten Bericht angenommene Variante.

² Eine Studie von Moderna (Wu et al. 2021), auch diskutiert im Drosten-Podcast, ergibt eine gute Wirkung einer Auffrischungsimpfung, die 6 Monate nach der Zweitimpfung stattfindet, und nur 50% der Impfstoffes enthält. Ein "Update" des Impfstoffs bzgl. der inzwischen aufgetretenen problematischen Varianten war hier zwar hilfreich, aber auch mit dem bestehenden Impfstoffen wurde eine hohe Schutzwirkung auch gegen die derzeitigen Varianten erreicht. Die Studie analysiert Antikörperwerte im Blut.

4 Wirkungen der Maßnahmen von Ende April auf die Mobilität

Mit Hilfe der täglichen anonymisierten Mobilfunkdaten, die uns in diesem Projekt zur Verfügung stehen, haben wir die Veränderungen der nächtlichen Aktivitäten im Zeitraum der sog. Bundesnotbremse untersucht. Diese nationale Maßnahme beinhaltete eine nächtliche Ausgangssperre von 22 bis 5 Uhr und ist deutschlandweit am 23.04.2021 in Kraft getreten. Bei den folgenden Analysen haben wir die Anzahl der zwischen 22 und 5 Uhr beendeten Aktivitäten außerhalb des eigenen Haushalts untersucht. Somit sind neben Freizeitaktivitäten bspw. auch Arbeitsaktivitäten in den Zahlen enthalten.

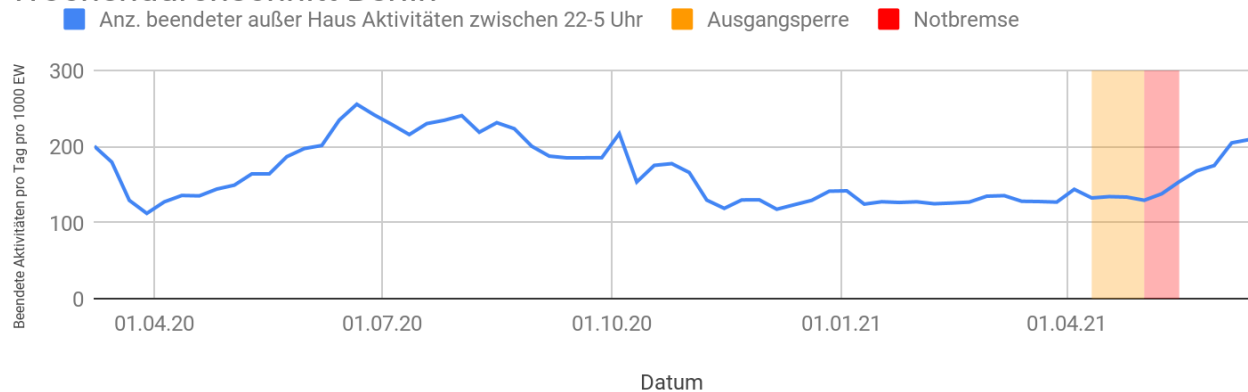
4.1. Zeitlicher Verlauf der nächtlichen Aktivitäten in Berlin und Köln

Ähnlich wie im letzten Bericht zeigen wir zunächst den zeitlichen Verlauf der Anzahl der nächtlichen Aktivitäten für Berlin und Köln (vgl. Abb. 2). Für den Zeitraum bis Ende März sieht man für beide Städte:

- Einbruch der Aktivitäten im März / April 2020
- Hohes Aktivitätsniveau im Sommer 2020
- Sukzessives und schlussendlich starkes Absinken der Aktivitäten bis Mitte November
- Bis Ende März weitgehend gleichbleibendes niedriges Aktivitätsniveau

Dennoch lässt sich bei beiden Städten ein Unterschied bei dem Niveau der noch stattfindenden nächtlichen Aktivitäten feststellen. So liegt das Niveau in Köln oberhalb des Niveaus in Berlin.

Wochendurchschnitt Berlin



Wochendurchschnitt Köln

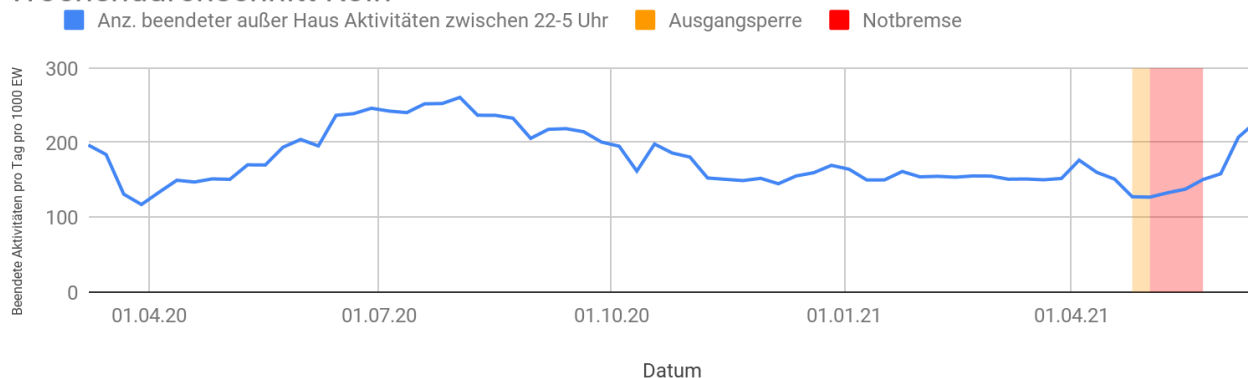


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der im Mittel pro Tag zwischen 22 und 5 Uhr beendeten Aktivitäten, die nicht im eigenen Haushalt stattgefunden haben, pro 1.000 Einwohner. Oben: Berlin; Unten: Köln. Eigene Darstellung; Datenquelle: (Senozon 2021).

Im Zeitraum der Notbremse unterscheiden sich die Verläufe der beiden Städte allerdings: In Berlin lässt sich in den Daten weder nach Einführung Ausgangssperre (Abb. 2, gelber Bereich) noch nach der Einführung der Notbremse (roter Bereich) eine Reaktion erkennen. In Köln hingegen ist eine recht deutliche Reduzierung der nächtlichen Aktivitäten kurz vor dem Inkrafttreten der Notbremse zu beobachten. Beim Vergleich der Werte für die nächtlichen Aktivitäten lässt sich erkennen, dass mit Einführung der Notbremse die Aktivitäten in Köln auf das Niveau herabgebracht wurde, welches in Berlin bereits seit Dezember 2020 vorgeherrscht hat. Nach dem Ende der Ausgangssperren ist in beiden Regionen ein deutlicher Anstieg beobachtbar.

4.2 Niveau nächtlicher Aktivitäten vor der Einführung der Notbremse

Um die festgestellten Unterschiede der Niveaus der nächtlichen Aktivitäten genauer zu untersuchen, haben wir die unterschiedlichen Niveaus auch bundesweit auf Landkreis-Ebene untersucht. In Abb. 3 sind die täglich zwischen 22 und 5 Uhr beendeten Aktivitäten pro 1.000 Einwohner für Mitte April (KW 15) dargestellt (also vor Inkrafttreten der Notbremse). Es lässt sich erkennen, dass besonders in NRW, in einzelnen Regionen Süddeutschlands und der Region Rhein-Main-Gebiet noch vergleichsweise viele nächtliche Aktivitäten stattgefunden haben.

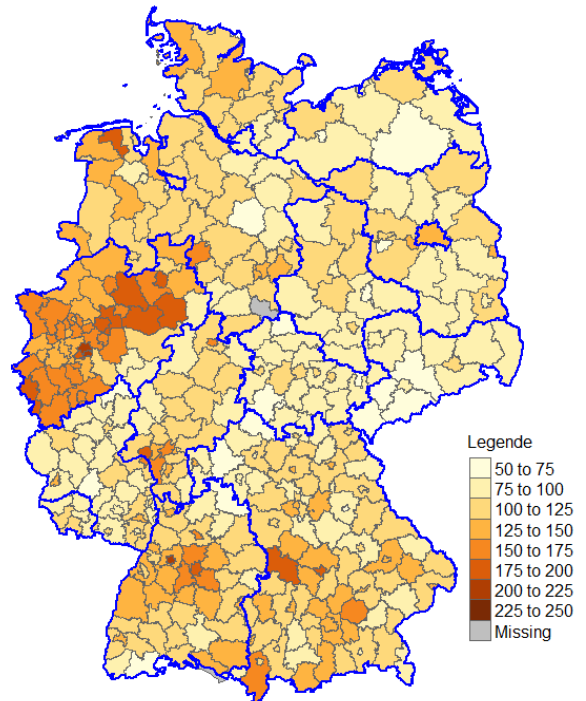


Abbildung 3: Darstellung der im Mittel pro Tag beendeten aushäusigen Aktivitäten zwischen 22 und 5 Uhr pro 1.000 Einwohner für den Zeitraum 12.-18.04.2021 (KW 15). Eigene Darstellung; Datenquelle: (Senozon 2021).

4.3 Veränderung der nächtlichen Aktivitäten nach Einführung der Notbremse

Ausgehend von dem Niveau Mitte Aprils (KW 15) zeigt sich in Abb. 4, wie sich diese nächtlichen Aktivitäten bis Anfang Mai (KW 17) verändert haben. Dabei ist zu erkennen, dass sich eine Reduktion der nächtlichen Aktivitäten hauptsächlich in Nordrhein-Westfalen, Hessen und einzelnen Regionen Süddeutschlands in den Daten widerspiegelt. Schlussendlich sind es genau die Regionen, die vorher im Vergleich zu der Vielzahl der Landkreise ein höheres Niveau hatten.

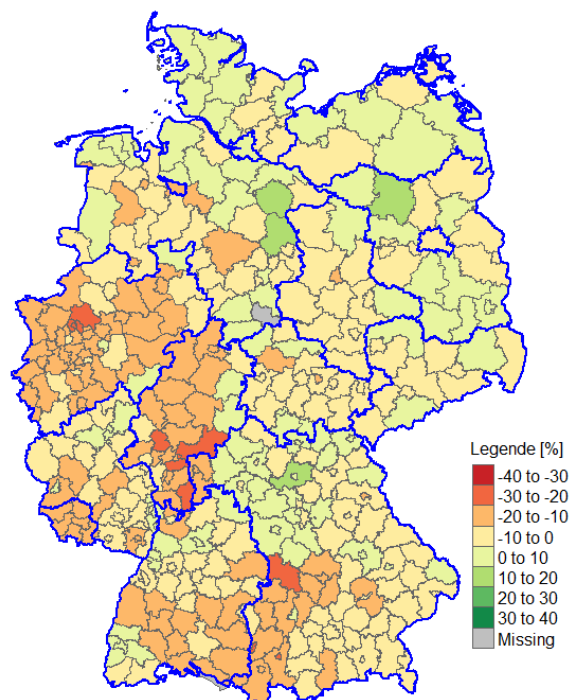


Abbildung 4: Vergleich der im Mittel zwischen 22 und 5 Uhr beendeten aushäusigen Aktivitäten pro 1.000 Einwohner zwischen dem Zeitraum 12.-18.04.2021 (KW 15) und 26.04-02.05.2021 (KW 17). Eigene Darstellung; Datenquelle: (Senozon 2021).

4.4. Veränderung der aushäusig verbrachten Zeit nach Einführung der Notbremse

Nachdem in den vorherigen Abschnitten ausschließlich die nächtlichen Aktivitäten analysiert wurden, liegt der Fokus nun bei der gesamten täglichen Dauer, die Personen durchschnittlich außerhalb des eigenen Haushalts verbringen. Die Ergebnisse in Abb. 5 zeigen die Veränderung der insgesamt aushäusig verbrachten Zeit von Mitte April (KW 15) bis Anfang Mai (KW 17). Dabei lässt sich erkennen, dass insbesondere am Wochenende die Personen in großen Teilen Deutschlands sich weniger außerhalb der eigenen Wohnung aufgehalten haben. An den Wochentagen hingegen kann man eher einen schwachen Anstieg der aushäusigen Aktivitäten beobachten. Daraus lässt sich vermuten, dass die Maßnahmen der Bundesnotbremse, die Aktivitäten der Bevölkerung reduzieren sollen, hauptsächlich an den Wochenenden gewirkt haben, wobei sich die Reduktion nicht nur auf die nächtlichen Aktivitäten beschränkt hat.

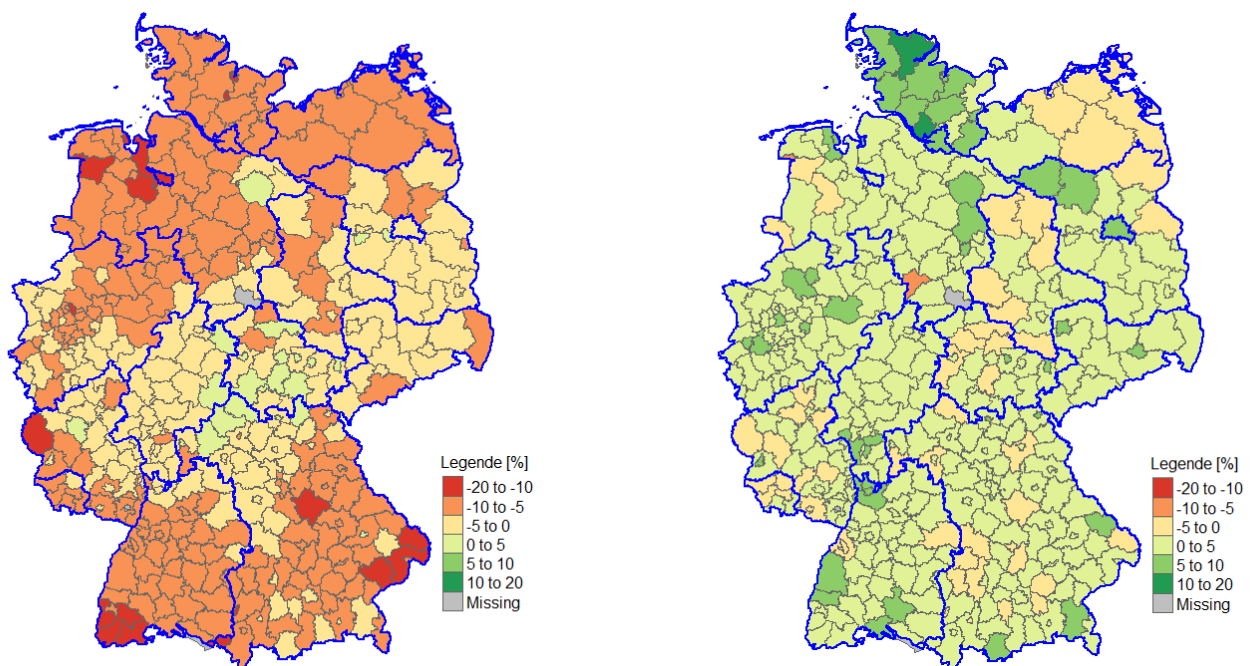


Abbildung 5: Vergleich der im Mittel pro Tag aushäusig verbrachten Zeit pro Person zwischen dem Zeitraum 12.-18.04.2021 (KW 15) und 26.04-02.05.2021 (KW 17). Links: Veränderungen im Vergleich der Wochenenden (Sa-So); Rechts: Veränderungen im Vergleich der Wochentage (Mo-Fr). Eigene Darstellung; Datenquelle: (Senozon 2021).

5 Eindämmung von Mutationen

5.1. Wirkung von Restriktionen auf die Ausbreitung von Mutationen

Wir beobachten zurzeit die folgende Situation: die Fallzahlen in Deutschland sinken und in den meisten Regionen ist die Corona-Inzidenz sehr niedrig. Gleichzeitig breitet sich die sogenannte Delta-Mutation weiterhin in vielen Ländern aus (u.a. Großbritannien), die offenbar deutlich ansteckender ist, als die bisher vorherrschende B1.1.7 (bzw. Alpha-) Mutation. Diejenigen Länder, in denen diese Delta-Variante bereits stark verbreitet ist, wurden von der Bundesregierung zu sog. Virusvariantengebieten erklärt. Dadurch können Einreisende aus diesen Gebieten die verpflichtende 14-tägige Quarantäne nicht verkürzen. Da ein grundsätzliches Einbringen dieser neuen Variante nicht verhindert werden kann, zielt diese Maßnahme darauf ab, dass die Verbreitung der Variante verlangsamt wird.

In diesem Zusammenhang interessiert uns die Frage, ob sich die Geschwindigkeit der Ausbreitung einer neuen (ansteckenderen) Virusvariante in einer Region (z.B. Deutschland) verändert, wenn entweder

A. die Restriktionen dort vergleichsweise strikt sind und es wenig Neuinfektionen gibt

oder

B. die Restriktionen dort vergleichsweise locker sind und noch vor dem ersten Auftreten der Mutation bereits eine signifikante Anzahl an Infektionen stattfindet.

Um den möglichen Verlauf der Virusausbreitung besser zu verstehen, werden wir diese beiden Szenarien mit unserem Modell simulieren und machen dabei die folgenden Grundannahmen:

- Am 16. Juni 2021 tritt die deutlich ansteckendere Variante des Coronavirus zum ersten Mal in Deutschland auf.
- Die Infektionsdynamik dieser neuen Variante entspricht der Dynamik, wie sie zur Zeit in Großbritannien für die Delta-Variante zu beobachten ist (siehe Abb. 6). Um einen ähnlichen Anteil der Mutation über die Zeit in unserem Modell zu simulieren, erhöhen wir die dort angenommene Infektionsrate um 18% (Parameter: k_{mutation}).

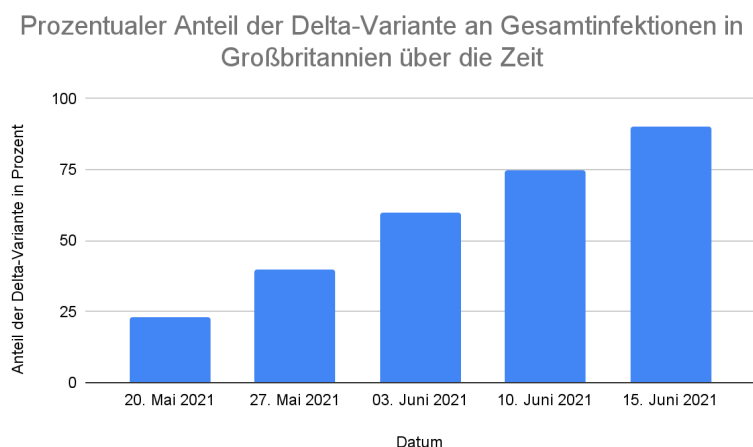


Abbildung 6: Entwicklung der prozentualen Anteile der Infektionen in Großbritannien, die von der Delta-Variante verursacht wurden (pro Woche seit dem 20. Mai 2021).

Quelle: (Public Health England 2021)

Die Simulationen für beide Szenarien starten am 16. Juni 2021.

Szenario 1 (weiterhin relativ strenge Maßnahmen):

Wir nehmen an, dass die Infektionsdynamik in Deutschland in etwa auf dem derzeitigen niedrigen Niveau bleibt, und dort bei einer Inzidenz von ca. 5 stagniert. (In unserem Modell ist dies gleichzusetzen mit einem Parameterwert für die Infektionsrate von 1.4). Aktuelle Maßnahmen wie z.B. verpflichtende Tests in Schulen bleiben bestehen.

Durch eine ins Land getragene - ansteckendere - Mutation kommt es zu einem Anstieg der Infektionen. Die folgende Abbildung 7 zeigt das Ergebnis unserer Simulation, also die Entwicklung der kumulativen Infektionszahlen (die Simulation startet am 16.6.2021):

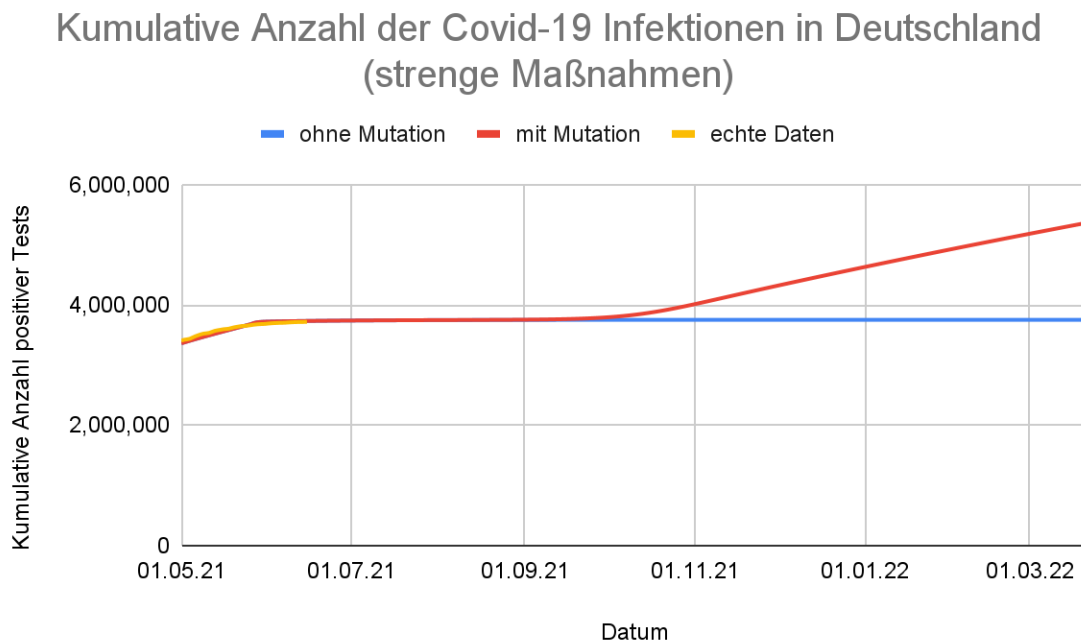


Abbildung 7: Kumulative Anzahl der Corona-Infektionen in Deutschland. Die gelbe Kurve zeigt die tatsächlichen Daten bis zum 16.06.2021. Die blaue und rote Kurve sind die Ergebnisse unserer Simulationen für das Szenario "strenge Maßnahmen", wenn keine Mutation (blau) oder eine ansteckendere Mutation (rot) eingeführt wird.

Wenn man nun den Anteil der Infektionen nach dem Virus-Typ aufschlüsselt, erkennt man, dass es 21 Tage dauert, bis die neue Mutation 1% der Fälle ausmacht (siehe Abb. 8). Anschließend dauert es weitere 40 Tage, bis die Mutation dominant wird, sie also mehr als 50% der Fälle ausmacht.

Anteil der ansteckenderen Mutation am Gesamtinfektionsgeschehen

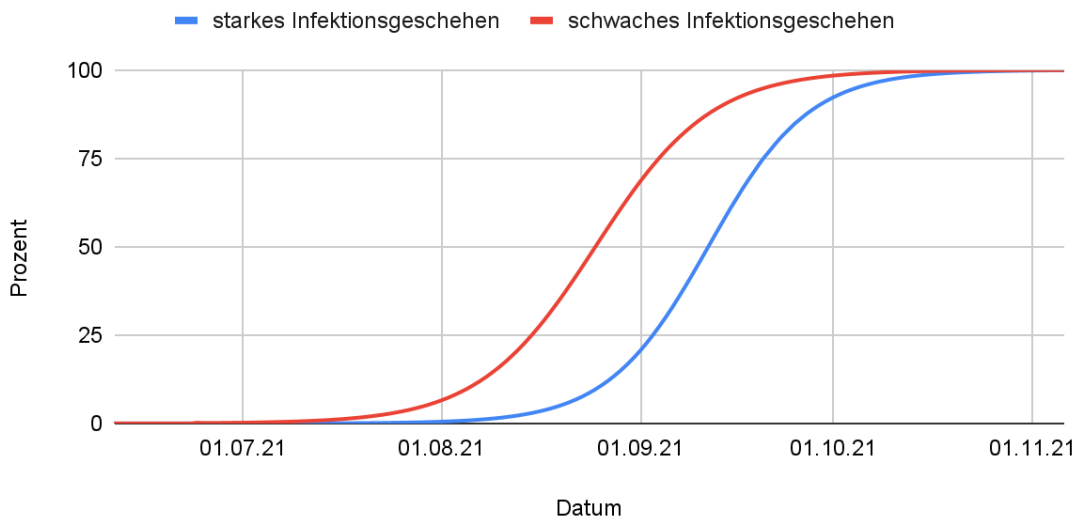


Abbildung 8: Aufschlüsselung des Anteils der Mutation am Gesamtinfektionsgeschehen unter den beiden Szenarien "starkes vorherrschendes Infektionsgeschehen" (blau) und "schwaches Infektionsgeschehen" (rot).

Szenario 2 (schwache Maßnahmen):

Für das zweite Szenario nehmen wir an, dass die Infektionsdynamik auch ohne eine weitere Virusvariante wieder zunehmen würde, da die Corona-Maßnahmen stark gelockert bzw. ganz aufgehoben sind (in unserem Modell setzen wir dafür den Infektionsparameter auf den Wert 2). In diesem Szenario würde die Inzidenz wieder ansteigen und nach kurzer Zeit Werte um 100 erreichen. Mit einer zusätzlichen Virus-Mutation würde sich diese Dynamik weiter beschleunigen (siehe Abbildung 9).

Kumulative Anzahl der positiven Covid-19-Tests in Deutschland (schwache Maßnahmen)

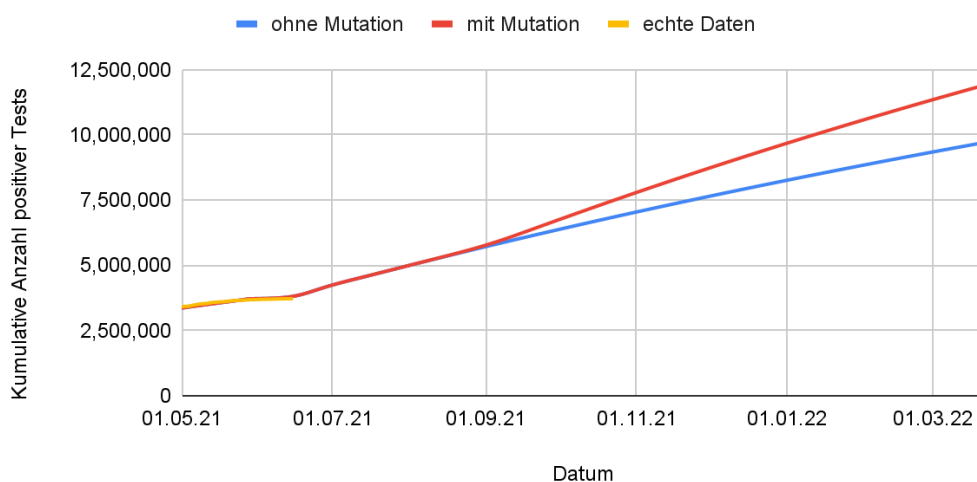


Abbildung 9: Kumulative Anzahl der Corona Infektionen in Deutschland. Die gelbe Kurve zeigt die tatsächlichen Daten bis zum 16.06.2021. Die blaue und rote Kurve sind die Ergebnisse unserer Simulationen für das Szenario "schwache Maßnahmen", wenn keine Mutation (blau) oder eine ansteckendere Mutation (rot) eingeführt wird.

Interessant ist jetzt, dass es in diesem zweiten Szenario länger dauert, bis die Infektionen durch die Mutation 1% der Gesamtkontaminationen ausmacht: im ersten Szenario waren es 21 Tage, nun sind es 44 Tage. Anschließend dauert es 36 Tage, bis die Mutation dominant wird, d.h. mehr als 50% der Fälle ausmacht.

Zusammengefasst zeigen unsere Simulationen, dass sich eine ansteckendere Virus-Variante in beiden Szenarien in etwa gleich schnell durchsetzt, nachdem sie einmal 1% der Gesamtkontaminationen ausmacht. Diese Simulationsergebnisse legen nahe, dass mit strengeren Restriktionen die Dominanz der Mutationen weder verhindert noch deutlich verlangsamt werden kann.

Unsere Simulationen zeigen: wenn eine stärker ansteckende Virusvariante 1% der Infektionen ausmacht, so ist die verbleibende Zeit bis zur Dominanz dieser Virusvariante unabhängig von der Stärke der Maßnahmen.

5.2. Wirkung von Reisebeschränkungen und Quarantäne auf den Eintrag von Mutationen

Aufgrund der Ergebnisse der vorherigen Simulation gehen wir davon aus, dass die Ausbreitung einer stärker ansteckenden Virus-Mutation (im Vergleich zur vorher dominanten Variante) nicht mehr verhindert werden kann, sobald die neue Variante 1% der Gesamtkontaminationen ausmacht. Diesen Wert von 1% gilt es also zu verzögern (oder, im optimalen Fall: zu verhindern). Im folgenden untersuchen wir, welchen Einfluss die Kontrolle des Eintrags dieser Variante in eine Region auf die Geschwindigkeit der Ausbreitung in dieser hat. Dies könnte in der Praxis etwa durch schwache oder starke Kontrollen bzw. Restriktionen von Einreisenden gesteuert werden. Eine sehr starke Restriktion könne beispielsweise die Isolierung von Einreisenden aus Virusvariantengebieten für 14 Tage in speziellen Quarantänen-Hotels sein.

Wir nehmen in unserer Simulation an, dass sehr starke Kontrollen (bzw. Restriktionen) die Wahrscheinlichkeit einer Ausbreitung der Variante in der Gesamtpopulation um 90 % verringert. In unserem ODE-Modell modellieren wir das mit dem Parameter I_2 , der angibt, wie viele Personen mit dem mutierten Virus infiziert sind. Aufbauend auf den Ergebnissen der ersten beiden Szenarien (siehe vorheriger Abschnitt) gehen wir davon aus, dass es 21 (schwache Maßnahmen) bzw. 44 Tage (starke Maßnahmen) dauert, bis eine ansteckendere Virus-Variante 1% der Gesamtkontaminationen ausmacht. Diese Zeiträume werden erreicht, wenn "normale" Kontrollen/Restriktionen bei der Einreise durchgeführt werden.

Die zentrale Frage ist nun: Wie lange wird dieser Zeitraum verlängert, wenn stärkere Kontrollmechanismen bei der Einreise angesetzt werden?

In unserer Simulation zeigt sich: wenn 10 mal stärkere Kontrollmechanismen als normalerweise angewendet werden (im Modell: eine Verringerung von I_2 um den Faktor 10) wird das Erreichen des 1%-Wertes um ca. 20 Tage verzögert (siehe auch Abb. 10). Dies gilt für beide Szenarien: mit niedriger und mit hoher Infektionsdynamik. Eine weitere Verstärkung der Kontrollen/Restriktionen um den Faktor 10 (im Modell: $I_2=0.01$) führt zu einer weiteren Verzögerung um 20 Tage. Das bedeutet, aus einer multiplikativen Verringerung von I_2 wird eine additive Verzögerung in der Zeit, die es dauert, bis die Variante einen 1%-igen Anteil am Gesamtkontaminationsgeschehen erreicht.

Anzahl Tage, bis die Mutation 1 Prozent des Gesamtinfektionsgeschehens ausmacht

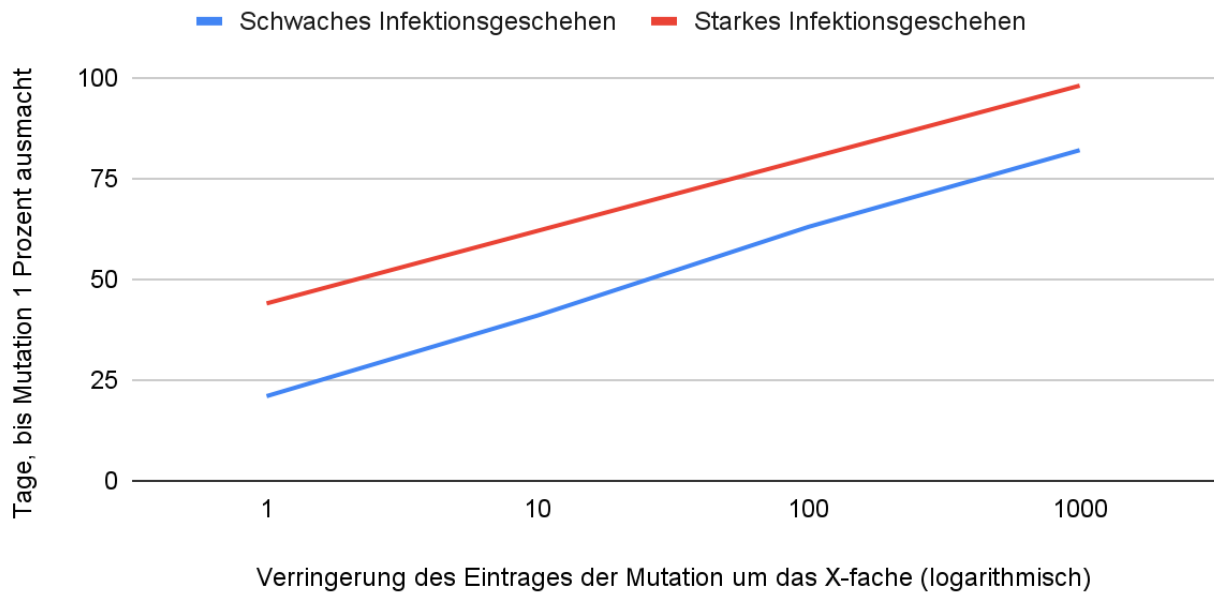


Abbildung 10: Einfluss von erhöhter Kontrolle/Restriktionen von Einreisenden aus Virusvariantengebieten auf den Zeitraum, bis die neue Mutation 1%-Anteil am Gesamtinfektionsgeschehen hat. Gezeigt sind die Ergebnisse für die beiden Szenarien "schwaches Infektionsgeschehen" (blau) und "starkes Infektionsgeschehen" (rot).

Um die Zeit, bis sich eine ansteckendere Variante in Deutschland durchgesetzt hat, um etwa 20 Tage zu verzögern, muss die Wahrscheinlichkeit, dass diese Variante eingetragen wird, um ca. einen Faktor 10 abgesenkt werden. Dies kann z.B. durch eine Absenkung der Reisetätigkeit um einen Faktor 10 geschehen, oder durch eine um einen Faktor 10 effektivere Quarantäne bzw. Kontrolle, oder eine Kombination aus beidem.

6 Einschätzungen zu aktuellen Themen

6.1. Infektionswirkung Schulen

Der Beitrag von Schulen zum Infektionsgeschehen ist nicht abschließend geklärt. Eine übliche Methode ist die Messung der Korrelation zwischen Schulschließungen und Infektionsgeschehen einige Zeit später. Brauner et al. (2020) fanden für die erste Welle erhebliche infektionssenkende Wirkung von Schulschließungen. Sie haben aber bereits damals darauf hingewiesen, dass Schulschließungen in vielen Ländern die erste Maßnahme war, und somit ein erheblicher Teil der zugeschriebenen Wirkung auf andere Mechanismen zurückgehen könnte, z.B. auf eine Art Signalwirkung, die von diesen Schulschließungen ausgingen. Auch könnte – ganz unabhängig von den Schulschließungen – auch die Berichterstattung in den Medien in diesem Zeitraum einen entsprechenden Einfluss gehabt haben. In unserem Modell fanden wir damals auf jeden Fall

deutlich niedrigere Werte (vgl. Müller et al. 2020) als Brauner et al. Inzwischen gibt es von der gleichen Arbeitsgruppe eine weitere Publikation (Sharma et al. 2021), welche für die zweite Welle deutlich geringere Wirkungen der Schulschließungen findet, und somit unsere Modellresultate bestätigt.

Nun finden Berger et al. (2021) an der LMU in München ebenfalls nur eine geringere Wirkung der Schulöffnungen auf das Infektionsgeschehen in Bayern nach den Osterferien. Da in den geöffneten Schulen Schnelltestpflicht und Maskenpflicht im Unterricht herrschte, ist das konsistent mit unseren Modellresultaten. Insgesamt bedeutet dies aber *nicht*, dass Schulen auch ohne Schutzmaßnahmen (Lüfungsregime, Schnelltests, Maskenpflicht im Unterricht) nur einen geringen Beitrag zum Infektionsgeschehen leisten würden.

Laut unserem Modell³ ist das Gegenteil der Fall: Wenn wir davon ausgehen, dass nach den Sommerferien die Schulen ohne jegliche Schutzmaßnahmen vollständig öffnen (also ohne Masken, Tests, Lüften und Impfungen) und Delta nochmals ansteckender ist als Alpha, so werden sich laut unseren Berechnungen sehr vieler SchülerInnen anstecken, was schlussendlich auch zu einem Anstieg der Krankenhauszahlen führen würde. Dies ist darauf zurückzuführen, dass nicht alle Erwachsenen sich impfen lassen wollen oder können (wir nehmen eine Impfquote von 80% der über 16-Jährigen an).⁴

Wir halten es - trotz teilweise anderslautender Diskussionsbeiträge - für plausibel, dass Schulen unter bestimmten Voraussetzungen entscheidend zum Infektionsgeschehen beitragen. Dies war auch laut unserem Modell vermutlich nicht der Fall für Schulen mit Lüfungsregime, Schnelltests, sowie Wechselunterricht oder Maskenpflicht im Unterricht. Dies wird aber laut unserem Modell der Fall sein, wenn im Herbst die Schutzmaßnahmen wegfallen sollen, und gleichzeitig ein großer Teil der Schüler:innen nicht immun ist.

6.2. Beibehaltung oder Aufhebung der Maskenpflicht

Bekanntlich sind Infektionskontexte besonders problematisch, wenn sie möglichst viele der folgenden Kriterien erfüllen:

1. In Innenräumen
2. Hohe Personendichte
3. Lautes Reden, Brüllen, Singen
4. Lange Dauer (auch aufaddiert über mehrfache Teilnahmen)

Beispiele dafür sind die Innengastronomie, Kneipen, Clubs, private Feiern, private Besuche, öffentlicher Verkehr, aber auch Schulen und Universitäten.

Infektionen in diesen Kontexten können durch folgende Maßnahmen reduziert werden: Impfung, Masken, vorherige Schnelltests, Reduzierung der Personendichte, Verbesserung der Lüftung. Eine Tabelle mit typischen Wirksamkeiten dieser Maßnahmen befindet sich im Anhang.

Dabei gilt, dass vor allem gute Masken (z.B. FFP2) zwar auch dem Fremdschutz dienen, vor allem aber dem Selbstschutz: Die in die Umgebung abgegebene Anzahl von Viruspartikeln wird dabei bei allen Maskentypen bei einer Virus-abgebenden Person um etwa einen Faktor 2 abgesenkt.

³ Unser Modell enthält bzgl. Schulen folgende Annahmen: (1) *Einerseits* rechnen wir, basierend auf (Dattner et al. 2020), unter ansonsten gleichen Bedingungen mit einer auf 40% reduzierten Ansteckungswahrscheinlichkeit von Kindern und Jugendlichen. (2) *Andererseits* ist während des Unterrichts die Personendichte sehr hoch, ca. 2qm/Person. Dies führt zu überdurchschnittlich vielen Ansteckungen.

⁴ Siehe dazu auch [URL Simulationsergebnisse](#)

Bei einer aufnehmenden Person, die eine FFP2-Maske trägt, beträgt dieser Faktor hingegen 5. Insofern könnte man, bei insgesamt unterkritischem Infektionsgeschehen ($R\text{-Wert} < 1$), die Maskenpflicht durch eine dringende Maskenempfehlung ersetzen – insbesondere für nicht-geimpfte/nicht-genesene Personen. Abzuraten ist von dem Ansatz, dass (nur) ansteckende Personen eine Maske tragen sollten; dies führt zur Ausgrenzung, und zwar nicht nur von ansteckenden Personen, sondern auch von Personen, die gar nicht ansteckend sind, aber die Maske zum Selbstschutz tragen (müssen).

Schnelltest und Masken wirken daher auf unterschiedliche Weise: Schnelltests reduzieren die Wahrscheinlichkeit, dass eine ansteckende Person anwesend ist, und somit virales Material abgegeben wird (um ca. einen Faktor 3). Masken haben einerseits die gleiche Wirkung (Faktor 2, vgl. oben), aber Masken reduzieren vor allem die Wahrscheinlichkeit einer Ansteckung (bei FFP2-Masken um ca. einen Faktor 5; aufnehmende Seite).

Bei Personen, die relativ frisch geimpft bzw. genesen sind, wirkt dies sozusagen beidseitig: es reduziert die Wahrscheinlichkeit, dass eine Person ansteckend ist, um ca. einen Faktor 10 (abgebende Seite). Aber es reduziert auch die Wahrscheinlichkeit, dass eine Person sich ansteckt, um ca. einen Faktor 10 (aufnehmende Seite). Daraus ergibt sich auch die insgesamt sehr gute Gesamtwirkung der Impfung: die beiden Faktoren multiplizieren sich; eine vollständig geimpfte/genesene Bevölkerung ist um einen Faktor 100 besser geschützt also eine Bevölkerung ohne Impfungen und ohne Genesungen.

Daher ist es richtig, dass Impfungen bzw. Genesungen Schnelltests ersetzen. Und es ist auch richtig, dass Impfungen und Genesungen das Tragen von Masken ersetzen. Und es sollte auch klar sein, dass Schnelltests und Masken nicht austauschbar sind, weil sie an verschiedenen Stellen greifen. Kombiniert haben sie eine ähnliche Wirkung wie Impfungen: $3 \times 2 \times 5 = 30$, verglichen mit dem Faktor von 100 bei der Impfung. Hingegen reduziert der Schnelltest alleine nur um einen Faktor 3 – dies reicht in unserer Simulation nicht aus, um einen problematischen Infektionskontext zu entschärfen, die Infektionen also soweit abzusenken, dass sie für die Gesamtdynamik kaum noch relevant sind.

Die wesentliche offene Frage ergibt sich vor allem dadurch, dass wir gemischte Gruppen haben und haben werden: Während beim Einlass an einer bestimmten Örtlichkeit (z.B. Restaurant) Schnelltest, Impfung oder Genesung problemlos überprüfbar sind, gilt dies nicht in gleichem Maße für die Maske; man kann nur stichprobenartig überprüfen, ob Personen, die zum Zeitpunkt der Überprüfung keine Maske tragen, geimpft oder genesen sind.

Hinzu kommt, dass nicht absehbar ist, in welchem Maße die Wirkung des Impfstoffes nachlassen wird, sei es durch Escape-Mutation, oder durch Vorgänge im Immunsystem. Folgendes ist daher sinnvoll:

- In den Schulen ist von einer geringen Impfquote auszugehen. Hier sind Schutzmaßnahmen also besonders sinnvoll. Mögliche Schutzmaßnahmen sind bekanntlich: häufiges Lüften, Schnelltests mehrfach pro Woche, durchgehende Maskenpflicht im Unterricht, Reduzierung der Personendichte (Wechselunterricht). Laut unseren Simulationen reichen drei dieser vier Maßnahmen, um Infektionen an Schulen weitgehend zu unterdrücken. In unseren Simulationen nehmen wir allerdings eine 90%ige Befolungsquote beim Masken-Tragen an; wir können zur Zeit nicht sagen, wann das realistisch ist.
- In vielen anderen Kontexten (z.B. öffentlicher Verkehr, Einzelhandel) wäre möglicherweise auch eine dringende Empfehlung ausreichend. Ziel sollte vor allem sein, dass Personen, die sich selber schützen wollen, nicht ausgegrenzt werden.

- *Allerdings* könnte es sein, dass das oben thematisierte Nachlassen der Impfwirkung eine Rückkehr zu einer allgemeinen Maskenpflicht nötig machen wird. Wir können nicht beurteilen, ob in diesem Falle eine vorläufige Beibehaltung der Maskenpflicht, z.B. im ÖV, politisch einfacher wäre.
- Weiterhin sollten generell Vorbereitungen getroffen werden, um in problematischen Bereichen Schutzmaßnahmen ggf. wieder einzuführen, um erneute Vollschießungen zu vermeiden. Dies betrifft z.B. die Innengastronomie/Bars/Kneipen/Clubs, wo Schnelltests/Immunität evtl. nicht ausreichen, und andererseits eine Maskenpflicht nicht sinnvoll ist – Halbierung der Personendichte wäre hier eine gute Ergänzung. Es betrifft aber auch die Universitäten, wo eine Kombination von Schnelltests/Immunitätsausweis, Maskenpflicht, halbiertes Personendichte sowie geimpften Dozierenden die Infektionswirkung so weit reduzieren würde, dass eine Vollschießung darüber hinaus keinen sehr deutlichen Beitrag mehr leisten würde.

Im Prinzip ersetzt die Impfung sowohl Schnelltests als auch Masken. Allerdings scheint eine Maskenpflicht nur für Ungeimpfte schwer umsetzbar. Eine Alternative wäre eine dringende Maskenempfehlung für Nicht-Immune; hier muss dann vor allem eine Ausgrenzung von Personen, die die Maske zum Selbstschutz tragen, vermieden werden.

Falls der Immunschutz nachlässt, z.B. auch wg. Mutationen, dann müssen ggf. weitere Schutzmaßnahmen wieder eingeführt werden. Diese sollten sich zunächst auf Kontexte konzentrieren, die mindestens drei der vier folgenden Kriterien erfüllen: innen, hohe Personendichte, hohe Rede- oder Gesangslautstärke, hoher Zeitanteil. Schutzmaßnahmen sind: Gültiger Schnelltest, Masken, Reduzierung der Personendichte.

Insbesondere in der Innengastronomie, wo Masken während des Essens und Trinkens keine Option sind, sollte die Reduzierung der Personendichte als Maßnahme geplant werden, um eine Vollschießung zu vermeiden.

6.3. Quadratische Wirkung der Absenkung der Personendichte

Die oben immer wieder erwähnte Maßnahme der "Reduzierung der Personendichte" ist vor allem deshalb sinnvoll, weil sie *quadratische* Wirkung entfaltet. *Halbierung* der Personendichte führt also zu einer *Viertelung* der Infektionen.

Dies liegt an folgenden gleichzeitig auftretenden Effekten (beschrieben für eine Halbierung der Personendichte):

- Der Erwartungswert der Anzahl der ansteckenden Personen im Raum halbiert sich.
- Der Erwartungswert der Anzahl der möglicherweise angesteckten Personen halbiert sich.

Miteinander multipliziert führt dies zu einer Viertelung der Ansteckungen.

Dies gilt z.B. für Wechselunterricht in Schulen (bei Halbierung der Gruppengrößen), wäre aber auch eine sinnvolle Maßnahme für die Innengastronomie oder Großveranstaltungen.

7 Anhang

7.1 Wirkungen von Schutzmaßnahmen

Die Schutzfaktoren bzgl. Schutzmaßnahmen sind überschlägig wie folgt:

	“abgebende” Seite	“aufnehmende” Seite
Stoff- oder OP-Maske	2	2
FFP2-Maske	2	5
Gültiger Schnelltest	3	1
Erstimpfung	3	3
Zweitimpfung	10	10
Verlagerung nach draußen	10	1

Die gesamte Schutzwirkung ergibt sich aus der Multiplikation der Faktoren, z.B.:

- Zwei geimpfte Personen treffen aufeinander: Schutzwirkung Faktor 100.
- Zwei Personen mit FFP2-Maske treffen aufeinander: Schutzwirkung Faktor 10.

Auch bei geimpften Personen besteht nach wie vor eine Wahrscheinlichkeit, dass sie sich anstecken, und dass sie das Virus weitergeben. Beide Wahrscheinlichkeiten sind nur sehr viel niedriger als bei den anderen Schutzmaßnahmen. Man kommt aber durch die Kombination aus Schnelltest und Maskenpflicht auf einen Faktor 30 und damit durchaus in die Nähe einer Impfung.

8 Quellen

- Abu-Raddad, Laith J., Hiam Chemaitelly, Adeel A. Butt, and National Study Group for COVID-19 Vaccination. 2021. “Effectiveness of the BNT162b2 Covid-19 Vaccine against the B.1.1.7 and B.1.351 Variants.” *The New England Journal of Medicine*, May. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2104974>.
- Berger, Ursula, Cornelius Fritz, and Göran Kauermann. 2021. “Eine statistische Analyse des Effekts von verpflichtenden Tests an Schulen mit Präsenzunterricht im Vergleich zum Distanzunterricht,” *tech*, 238 (May). <https://doi.org/10.5282/ubm/epub.76005>.
- Brauner, Jan M., Sören Mindermann, Mrinank Sharma, David Johnston, John Salvatier, Tomáš Gavenčiak, Anna B. Stephenson, et al. 2020. “Inferring the Effectiveness of Government Interventions against COVID-19.” *Science*, December. <https://doi.org/10.1126/science.abd9338>.
- Dattner, Itai, Yair Goldberg, Guy Katriel, Rami Yaari, Nurit Gal, Yoav Miron, Arnona Ziv, Yoram Hamo, and Amit Huppert. 2020. “The Role of Children in the Spread of COVID-19: Using Household Data from Bnei Brak, Israel, to Estimate the Relative Susceptibility and Infectivity of Children.” *Infectious Diseases (except HIV/AIDS)*. medRxiv. <https://doi.org/10.1101/2020.06.03.20121145>.

- Madhi, Shabir A., Vicky Baillie, Clare L. Cutland, Merryn Voysey, Anthonet L. Koen, Lee Fairlie, Sherman D. Padayachee, et al. 2021. "Efficacy of the ChAdOx1 nCoV-19 Covid-19 Vaccine against the B.1.351 Variant." *The New England Journal of Medicine* 384 (20): 1885–98.
- Müller, Sebastian Alexander, William Charlton, Natasa Djurdjevac Conrad, Ricardo Ewert, Christian Rakow, Tilmann Schlenker, Frank Schlosser, et al. 2020. "MODUS-COVID Bericht vom 19.06.2020." Technische Universität Berlin.
<https://doi.org/10.14279/DEPOSITONCE-10335>.
- Public Health England. 2021. "COVID-19 Variants: Genomically Confirmed Case Numbers." GOV.UK. January 19, 2021.
<https://www.gov.uk/government/publications/covid-19-variants-genomically-confirmed-case-numbers>.
- Senozon. 2021. "The Senozon Mobility Model." The Senozon Mobility Model. 2021.
<https://senozon.com/en/model/>.
- Sharma, Mrinank, Sören Mindermann, Charlie Rogers-Smith, Gavin Leech, Benedict Snodin, Janvi Ahuja, Jonas B. Sandbrink, et al. 2021. "Understanding the Effectiveness of Government Interventions in Europe's Second Wave of COVID-19." *bioRxiv*. medRxiv.
<https://doi.org/10.1101/2021.03.25.21254330>.
- Voysey, Merryn, Sue Ann Costa Clemens, Shabir A. Madhi, Lily Y. Weckx, Pedro M. Folegatti, Parvinder K. Aley, Brian Angus, et al. 2021. "Single-Dose Administration and the Influence of the Timing of the Booster Dose on Immunogenicity and Efficacy of ChAdOx1 nCoV-19 (AZD1222) Vaccine: A Pooled Analysis of Four Randomised Trials." *The Lancet* 397 (10277): 881–91.
- Wu, Kai, Anne P. Werner, Matthew Koch, Angela Choi, Elisabeth Narayanan, Guillaume B. E. Stewart-Jones, Tonya Colpitts, et al. 2021. "Serum Neutralizing Activity Elicited by mRNA-1273 Vaccine." *The New England Journal of Medicine* 384 (15): 1468–70.