

MODUS-COVID Bericht vom 21.05.2021

Sebastian Alexander Müller¹, William Charlton¹, Natasa Djurdjevac Conrad², Ricardo Ewert¹, Christian Rakow¹, Hanna Wulkow², 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-11941>

Date of this version: 21-may-2021

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>

Bericht an das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) vom 21.05.2021:

1 Zusammenfassung

Die Mobilitätsdaten der letzten Wochen zeigen, dass das Niveau der aushäusigen Aktivitäten insgesamt immer weiter angestiegen ist. Dieser Trend gilt allerdings nicht für die nächtlichen Aktivitäten, die seit Mitte November weitgehend konstant sind. Die Wirkung der Ausgangssperre ist lokal unterschiedlich: beispielsweise ist sie in den Daten von Köln deutlich erkennbar, während sich in Berlin keine signifikanten Veränderungen erkennen lassen (vgl. Abschnitt 2, S. 2).

Aufgrund des hohen Impftempos und des wärmer werdenden Wetters bestehen Spielräume für Öffnungen. Wir formulieren vier Kriterien mit denen mögliche Öffnungsmaßnahmen bewertet werden können: (1) sie finden draußen statt; (2) es besteht eine niedrige Personendichte; (3) es werden Schutzmaßnahmen eingehalten (Schnelltest & Maske oder Impfung); (4) es findet kein lautes Singen, Brüllen, Anfeuern, etc. statt. Wir halten solche Aktivitätentypen für vertretbar, die mindestens drei dieser vier Kriterien erfüllen. Aktivitätentypen, die maximal eines der vier Kriterien erfüllen, sollten zurückgestellt werden, bis alle anderen Bereiche, welche weniger Beitrag zum Infektionsgeschehen leisten, geöffnet werden konnten (vgl. Abschnitt 3, S. 3).

Wir untersuchen die Wirkung sogenannter Impf-Escape-Mutationen auf das zukünftige Infektionsgeschehen (vgl. Abschnitt 4, S. 4). Bei dieser Art von Mutation ist es plausibel anzunehmen, dass geimpfte Personen als Überträger wirken können, auch wenn bei ihnen nur sehr selten schwere Krankheitsverläufe zu erwarten sind. Hierdurch kann eine überkritische Übertragungsdynamik entstehen, die einen großen Teil der Bevölkerung erfasst. Nicht immunisierte Personen können dann mit den gleichen Wahrscheinlichkeiten wie bisher schwere Krankheitsverläufe entwickeln, die das Gesundheitssystem erneut in hohem Maße belastet könnten. Wir diskutieren und bewerten unterschiedliche Maßnahmen, um dies zu vermeiden. Zwei wichtige Erkenntnisse aus unseren Simulationen sind, kritische Infrastruktur vorzuhalten oder bei Bedarf schnell aktivieren zu können, um:

1. die impfwillige Bevölkerung innerhalb weniger Wochen mit einer angepassten Auffrischungsimpfung zu versorgen. Wir empfehlen einen Zeitraum von 4 Wochen - dies entspricht einer Impfquote von 2% der Bevölkerung pro Tag; welche unter günstigen Bedingungen (genügend Impfstoff und Einbeziehung genügend medizinischen Personals) machbar sein sollte.
2. Bevölkerungsgruppen in großem Maße (Schnell-)Tests anbieten zu können oder eine Maskenpflicht zu ermöglichen. Dies gilt insbesondere für Schulen und Universitäten.

Schlussendlich verwenden wir unser ODE-Modell, um einige längerfristige Szenarien für ganz Deutschland zu untersuchen (vgl. Abschnitt 6, S. 8).

2 Mobilitätsdaten

Durchschnittliche Dauer aushäusiger Aktivitäten Berlin

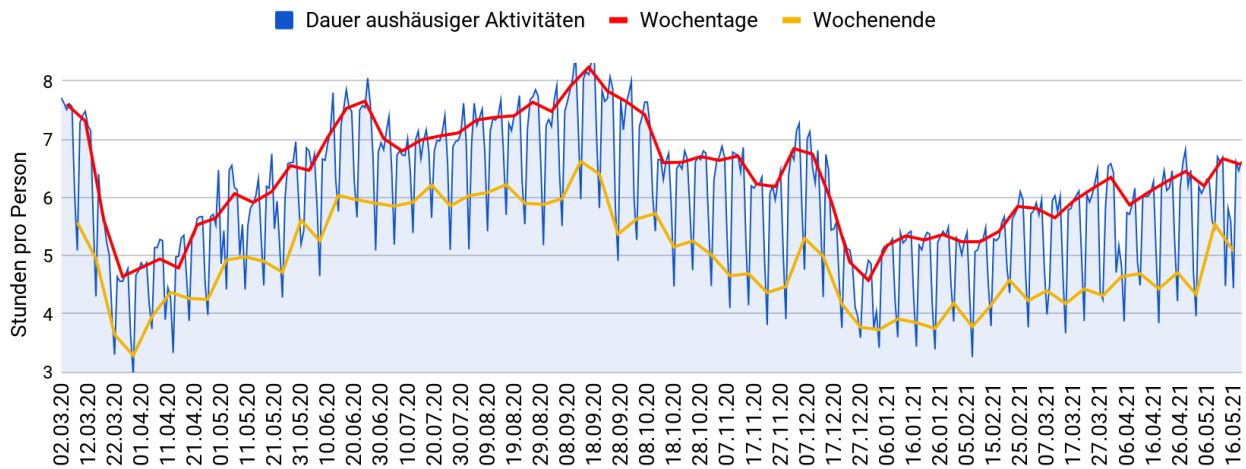


Abbildung 1: Durchschnittliche Dauer der aushäusigen Aktivitäten in Berlin; ermittelt aus anonymisierten Mobilfunkdaten. Rot: Mittelwerte über die Wochentage der jeweiligen Woche. Gelb: Mittelwerte über die Wochenend- und Feiertage (einschl. Samstag) der jeweiligen Woche. Quelle: (Senozon 2021)

Während im Januar, nach der Weihnachtspause, die Dauer der aushäusigen Aktivitäten lange Zeit auf gleichbleibend niedrigem Niveau verharrte, steigt diese in Berlin seit Mitte Februar insgesamt immer weiter an. Dabei gab es auch zwischenzeitliche Rückgänge, etwa in der zweiten Woche der Osterferien sowie Ende April. Es wäre plausibel, diese beiden Rückgänge der Einführung des nächtlichen Besuchsverbotes (ab 6.4.) oder der Ausgangssperre der Bundesnotbremse (ab 23.4.) zuzuordnen. Im Vergleich blieb aber das nächtliche Aktivitätsniveau unverändert (siehe unten). Vermutlich hat die Diskussion über die Maßnahmen zu diesen Rückgängen beigetragen.¹

Bzgl. der Wirkung der Ausgangssperre auf die abendlichen und nächtlichen Aktivitäten können wir folgendes festhalten:

In *Berlin* hat sich die Anzahl der aushäusigen Aktivitäten, die zwischen 22 und 5 Uhr beendet werden, vom Sommer 2020 bis November 2020 in etwa halbiert, und ist seitdem auf diesem niedrigen Niveau geblieben (vgl. Abb. 2). Eine Veränderung dieser Zahl durch die Berliner nächtlichen Kontaktbeschränkungen (ab 6.4.) oder die Bundesnotbremse (ab 23.4.) können wir in unseren Daten nicht feststellen. Wie oben bereits erwähnt, ist aber ein Rückgang des *allgemeinen* Aktivitätsniveaus zum 6. bzw. 23.4. Festzustellen.

In anderen Teilen des Landes, z.B. in *Köln* hat sich die Anzahl der aushäusigen Aktivitäten, die zwischen 22 und 5 Uhr beendet werden, vom Sommer 2020 bis November 2020 in etwa halbiert, und ist seitdem auf diesem niedrigen Niveau geblieben (vgl. Abb. 2). Anders als in Berlin zeigt sich allerdings ein deutlicher weiterer Rückgang der nächtlichen aushäusigen Aktivitäten im April. In Köln wurde eine Ausgangssperre bereits am 16.04., und somit eine Woche vor der Bundesnotbremse, eingeführt.

Insgesamt ist somit zu vermuten, dass sich ein stark differenziertes Bild ergibt, welches auch von den jeweiligen lokalen Gegebenheiten abhängen dürfte.

¹ Auswertungen der Dauer der aushäusigen Aktivitäten, der Reiseweiten und dem Anteil der mobilen Personen, sowie jeweils die Unterscheidung zwischen Wochentagen und Wochenenden ist für jedes Bundesland auf folgender Seite abrufbar: <https://covid-sim.info/mobility/> .

Wochendurchschnitt Berlin



Wochendurchschnitt Köln



Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der Anzahl der zwischen 22 und 5 Uhr beendeten Aktivitäten, die nicht im eigenen Haushalt stattgefunden haben. Oben: Berlin; Unten: Köln. Das unterschiedliche Niveau beider Städte lässt sich mit der unterschiedlichen Einwohnerzahl erklären.

Quelle: (Senozon 2021)

3 Derzeitige Situation aus der Sicht unserer Modelle

Die schnell fortschreitenden Impfungen zusammen mit dem langsam wärmer werdenden Wetter erlauben einen gewissen Spielraum für Lockerungsmaßnahmen. Allerdings sollten diese überlegt und nacheinander durchgeführt werden, um den aktuellen Trend der Verlangsamung der Infektionsdynamik nicht durch zu viele Öffnungen auf einmal zu gefährden. Beispielsweise hätte - laut unserem Modell - eine Rückkehr zum normalen Aktivitätsniveau ab 5. Juni selbst bei Beibehaltung eines weitgehenden Masken- und Schnelltestregimes² zur Folge, dass die Inzidenzen zunächst nicht mehr weiter absinken würden.³

Im letzten Bericht hatten wir drei Prinzipien für Öffnungen präsentiert (vgl. Müller, Charlton, Conrad, Ewert, Rakow, et al. 2021); die wir an dieser Stelle um ein viertes Kriterium erweitern:

1. sie finden draußen statt;
2. es besteht eine niedrige Personendichte;⁴
3. es werden Schutzmaßnahmen eingehalten (Schnelltest & Maske oder Impfung);
4. es findet kein lautes Singen, Brüllen, Anfeuern, etc. statt.

Wir halten solche Aktivitätentypen für vertretbar, die mindestens drei dieser vier Kriterien erfüllen.

Kontexte, die mindestens drei dieser Kriterien erfüllen, sind eher unproblematisch und können daher früh geöffnet werden. **Kontexte, die maximal eines dieser Kriterien erfüllen, sind problematisch und sollten daher zurückgestellt werden.** Dies ist insbesondere deshalb wichtig, weil solche problematischen Kontexte besonders viel Spielraum verbrauchen, der dann für andere Öffnungen nicht mehr zur Verfügung steht. Z.B. ist eine Öffnung der Universitäten mit reduzierter Personendichte und Maskenpflicht auch während der Lehrveranstaltungen sehr viel unproblematischer als eine Öffnung der Innengastronomie mit normaler Personendichte (wo eine Maskenpflicht während des Essens offensichtlich nicht möglich ist).

Dezidiert nicht sinnvoll, weil dadurch zu viel Spielraum verbraucht wird, sind demnach Vollöffnungen **ohne Schutzmaßnahmen** in folgenden Bereichen:

- Einzelhandel (erfüllt nur Kriterium 4)
- Innengastronomie, Clubs, Bars, Kneipen (erfüllt keines der Kriterien)
- Universitäten (erfüllt nur Kriterium 4)
- Mehrpersonenbüro (erfüllt bestenfalls Kriterium 4)
- Schulen (erfüllt keines der Kriterien)

Stattdessen sollten alle diese Kontexte unter Schutzmaßnahmen geöffnet werden, also mit reduzierter Personendichte sowie Schnelltests und Masken oder Impfung (siehe dazu auch "Wirkung von Schutzmaßnahmen" im Anhang). Eine Vollöffnung einiger dieser Kontexte hat laut unseren Modellen zur Folge, dass andere Kontexte gar nicht mehr geöffnet werden können. Dies ist nicht nur grob unfair, sondern im Sinne der Infektionsbekämpfung auch ineffizient: Durch reduzierte Personendichte und Schutzmaßnahmen wird das Infektionsgeschehen um ca. 90% gegenüber normal reduziert. Die zusätzliche Infektionsreduktion einer dann noch folgenden Vollschießung beträgt dann nur noch die verbleibenden 10%.

² Masken während Unterricht in Oberstufe/Universität, im Einzelhandel, im öffentlichen Verkehr; Schnelltests 1x pro Woche bei Schüler:innen, vor 5% der Arbeitsaktivitäten, vor 5% der Freizeitaktivitäten.

³ Vgl. [URL Simulationsergebnisse](#)

⁴ Bei gedrittelter Personendichte können sich nur $\frac{1}{3}$ so viele Personen anstecken. Die Wahrscheinlichkeit, dass überhaupt eine ansteckende Person im Raum ist, ist ebenfalls gedrittelt. Insgesamt reduziert sich die Wahrscheinlichkeit einer Infektion auf $\frac{1}{3} * \frac{1}{3} = \frac{1}{9}$. Dies ist auch ein Grund, warum Wechselunterricht/Halbierung der Klassen eine sinnvolle Maßnahme ist: sie reduziert Ansteckungen auf $\frac{1}{4}$.

4 Ausblick auf den Herbst

Generell ist zu erwarten, dass die Wirkung der Immunisierung, egal ob durch Impfung oder durch durchgemachte Infektion erworben, über die Zeit nachlässt. Die Geschwindigkeit dieses Prozesses ist derzeit nicht bekannt und vorhandene Studien zu diesem Thema kommen zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen

Worin allerdings zur Zeit Einigkeit besteht, ist, dass die langsame Abschwächung einer erworbenen Immunität durch sog. Impf-Escape-Mutationen mindestens beschleunigt und in ungünstigen Fällen sogar vollständig ausgehebelt wird. Abhängig von der Stärke dieser Reduktion sowie der Übertragbarkeit kann ein derart mutiertes Virus in eine Bevölkerung eindringen, die vorher unterkritisch war, bei der also der R-Wert unter eins lag.

Gleichzeitig ist zu erwarten, dass kühleres Wetter zum Herbst hin die Infektionsdynamik beschleunigt, also den R-Wert nach oben treibt. Hinzu kommen die Öffnungen der Schulen im August sowie der Universitäten im Oktober.

Es ist daher plausibel, mit einer erneuten Infektionswelle ab Herbst zu rechnen. In unseren Simulationen entsteht eine solche Herbstwelle unter folgenden Annahmen:⁵

1. Das Aktivitätenniveau steigt langsam wieder an und erreicht nach den Schulsommerferien 100% – also das “vor-Corona” Niveau.
2. Bis Mitte August sind 80% der erwachsenen Bevölkerung geimpft.
3. Die Masken- und (Schnell-)Testpflicht wird zum 1. Juli aufgehoben.
4. Eine Impf-Escape-Mutation verbreitet sich ab dem Spätsommer schnell in der Bevölkerung (siehe auch Abbildung 3). Diese Mutation reduziert die Wirkung einer vorhandenen Impfung auf 70% – gegenüber einer 90%-igen Wirkung beim Wildtyp und der B.1.1.7 Variante .
5. Diese Impf-Escape-Mutation ist genauso ansteckend wie die B.1.1.7 Variante.

Zusammengenommen sind dies keine speziell ungünstigen Annahmen: Beispielsweise ist die B.1.617.2 Mutation (die sog. “indische Variante”) möglicherweise sogar nochmals ansteckender als die B.1.1.7 Mutation, aber sie ist vermutlich keine Impf-Escape-Variante.⁶ Andererseits ist die B.1.351 Mutation (die sog. “südafrikanische Variante”) vermutlich nicht ansteckender als der Wildtyp, aber sie reduziert die Wirkung einer vorhandenen Immunisierung. Die genaue Reduktion ist zur Zeit noch unklar; verschiedene Studien kommen zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen: z.B. auf 70% (vgl. Abu-Raddad et al. 2021) oder sogar nahe Null (vgl. Madhi et al. 2021). Es ist nicht völlig unwahrscheinlich, dass auch Virusvarianten auftreten werden, in der diese beiden ungünstigen Eigenschaften (hohe Übertragbarkeit und Impf-Escape) kombiniert sind.

Im Ergebnis könnte sich mit diesen Bedingungen eine Entwicklung der Infektionsdynamik bzw. der Fallzahlen wie in der folgenden Abbildung darstellen, in der bis zu 10.000 Ansteckungen pro Tag in unserem Berliner Modell beobachtet werden könnten. Es sei an dieser Stelle noch einmal betont, dass dieses Szenario eines unter vielen darstellt und laut unseren Simulationen Werkzeuge zur Verfügung stehen, um dieses zu verhindern, ohne erneut ganze Sektoren schließen zu müssen. Was im kommenden Herbst tatsächlich passieren wird, kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht seriös vorhergesagt werden. Wir glauben aber, dass ein solches eher ungünstiges Szenario prinzipiell möglich ist, und möchten daher dazu anregen, die Entwicklung in den kommenden 2 Monaten sehr genau zu beobachten sowie entsprechende Vorkehrungen zu treffen.

⁵ Vgl. [URL Simulationsergebnisse](#). Dort sind auch viele weitere Szenarien hinterlegt, welche durch die entsprechenden Knöpfe eingestellt werden können.

⁶ [Eighty-ninth SAGE meeting on COVID-19](#)

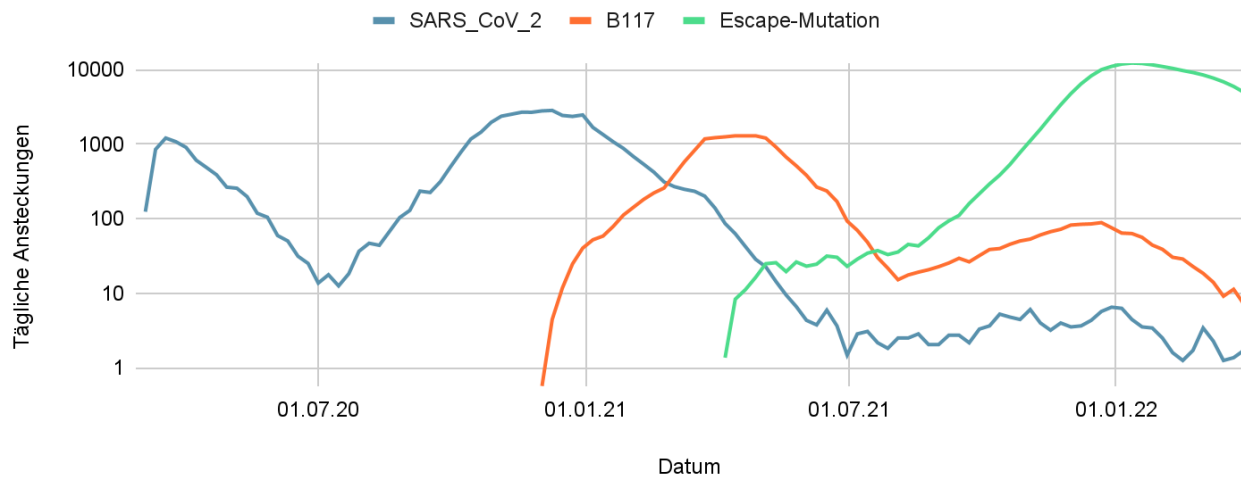


Abbildung 3: Tägliche Ansteckungen pro Variante im zeitlichen Verlauf (Simulationsergebnisse). Szenario: Aktivitätenniveau 100%, 80% der Erwachsenen geimpft, Masken- und Schnelltestpflichten ab 01.07.21 aufgehoben, Escape Mutation (so ansteckend wie B.1.1.7, Impfschutz abgesenkt auf 70%). Die Zahlen beziehen sich auf das vollständige Modell, insgesamt ca. 4,8 Millionen Agenten. Bis zum 20.11. kalibriertes Modell, danach über 5 Monte-Carlo-Simulationen gemittelt. Zu beachten ist die logarithmische y-Achse. Vgl. [URL Simulationsergebnisse](#)

In einer Welle mit diesen Eigenschaften würden bereits immunisierte Menschen als Überträger fungieren, aber nach den aktuellen Erkenntnissen nur selten selber schwere Krankheitsverläufe haben. Sie könnten aber die meisten noch nicht immunen Personen infizieren, und diese hätten dann das entsprechende Risiko von schweren Krankheitsverläufen sowie dem sog. Long Covid Syndrom. Dies gilt offenbar nicht nur für Personen, die sich nicht impfen lassen wollen, sondern auch für solche, die sich nicht impfen lassen können. Je nach Verlauf dieser Welle könnten viele dieser kritischen Infektionen innerhalb eines kurzen Zeitraumes geschehen, und somit erneut eine hohe Belastung auf das Gesundheitssystem ausüben. Dabei würde unter den o.g. Bedingungen während dieser Herbstwelle – laut unseren Simulationen – ein R-Wert von bis zu 1,4 erreicht werden.

Ob sich eine solche Welle im Herbst realisieren wird, kann zur Zeit natürlich niemand mit Sicherheit vorhersagen. Wir müssen aber bereits heute die Möglichkeit in Betracht ziehen, dass sie sich ereignen kann. Wir haben im folgenden einige Möglichkeiten bzw. Werkzeuge zusammengestellt, die sich in unseren Simulationen als wirksam zeigen. Die angegebenen R-Wert Absenkungen beziehen sich auf den in den Simulationen errechneten maximalen R-Wert von 1,4:

1. Wir simulieren eine Einbeziehung der **Altersgruppen 12-16 in die Impfung** bis zum Ende des Sommers und finden eine Absenkung des R-Wert um ca. 0,1 absenken.
2. Wir simulieren eine **Auffrischungs-Impfung** der Erwachsenen zum Ende des Sommers, mit der Annahme, dass diese die Wirksamkeit des Impfstoffes gegenüber der Escape-Mutation auf die gleiche Höhe bringt wie gegenüber dem Wildtyp, und finden eine Absenkung des R-Wertes um ca. 0,4.⁷
3. Wir simulieren eine Beibehaltung der (Schnell-) **Teststrategie** und finden eine Absenkung des R-Wertes um ca. 0,1.
4. Wir simulieren eine Beibehaltung der **Maskenpflicht** im öffentlichen Verkehr, im Einzelhandel, bei Erledigungen (z.B. beim Arzt, in Banken, beim Friseur) sowie teilweise im Unterricht und in Seminaren / Vorlesungen (Oberstufen an Schulen, Universitäten) und finden eine Absenkung des R-Wertes um ca. 0,1.⁸

⁷ Dies Annahme basiert auf (Moderna 2021; Wu et al. 2021) und der Interpretation von (Drosten 2021).

⁸ Man beachte, dass die Wirkung von Teststrategie/Maskenpflicht auf den R-Wert jetzt geringer ausfällt als in früheren Simulationen; das liegt daran, dass sie bei den Geimpften keinen so starken zusätzlichen Unterschied wie bei den Nicht-Immunen.

Insgesamt ist zu konstatieren, dass eine Impfung jüngerer Gruppen sowie das Angebot einer Auffrischungsimpfung sinnvolle Maßnahmen sind, die bereits während der Sommermonate umgesetzt werden müssten. Weiterhin sollten bestimmte Maßnahmen, falls sie über den Sommer ausgesetzt werden, so vorbereitet bleiben, dass sie ggf. schnell wieder in Betrieb genommen werden können; dies betrifft z.B. Schnelltests, Maskenpflicht im Unterricht sowie die Fähigkeit, die gesamte impfwillige Bevölkerung in ca. einem Monat durchzuimpfen (2% der Bevölkerung pro Tag).

Wichtig ist, dass mit dem Beginn der Herbstwelle eventuell schon ab Anfang September, also bereits in drei Monaten zu rechnen ist. Grund sind die abnehmenden Temperaturen und damit verbundene Verlagerung von Aktivitäten in Innenräume. Verstärkt wird dies durch die Öffnung der Schulen im August und der Universitäten im Oktober.

Die wichtigsten Punkte nochmals zusammengefasst:

1. **Standby statt Abschalten:** Wichtige Infrastruktur wie (Schnelltest)kapazitäten oder Maskenvorräte sollten bei Bedarf schnell wieder in Betrieb genommen werden können.
2. **Fähigkeit, die impfwillige Bevölkerung innerhalb eines Monats mit einer Auffrischungsimpfung durchzuimpfen:** Wenn genügend Impfstoff zur Verfügung steht, dann sollte bei Beteiligung auch der Fach- und Betriebsärzte ein Impftempo von 2% der Bevölkerung pro Tag umsetzbar sein; dies würde es erlauben, 80% der erwachsenen Bevölkerung in ca. einem Monat zu impfen.

5 Hintergrund: Simulation der Ausbreitung von Virusmutationen

Im letzten Abschnitt ziehen wir Schlussfolgerungen aus Simulationen mit unterschiedlichen Virus-Varianten. In diesem Abschnitt geben wir etwas zusätzliche Hintergrund-Informationen über diese Simulationen.

Wie bereits in den vergangenen Berichten mehrfach beschrieben, können wir in unserem agenten-basierten Modell für jede simulierte Person ("Agent") ermitteln, wann diese geimpft oder infiziert wurde. Zusätzlich können wir auch die Eigenschaften dieser Viren verändern und die veränderten Ausbreitungs-Dynamiken in der simulierten Bevölkerung beobachten. Dies haben wir für die Simulation der Ausbreitung der oben beschriebenen Escape-Varianten wie folgt implementiert – Abbildungen 3 und 4 zeigen die Ergebnisse.

Man erkennt in Abbildung 3, wie nach der Wildvariante (blau) zunächst die B.1.1.7 Mutation (orange) dominant wurde und dadurch die dritte Welle hauptsächlich verursacht hat. Dabei stieg die Zahl der täglichen Infektionen mit B.1.1.7 bereits im Januar exponentiell, während die Zahl der Infektionen mit dem Wildtyp gleichzeitig exponentiell zurückging. Das zu dem Zeitpunkt gültige Regime reichte also, um den R-Wert für den Wildtyp unter 1 zu drücken, während der R-Wert für B.1.1.7 über eins lag. Erst im März, als B.1.1.7 dominant wurde (vgl. auch Abbildung 4), wurde das exponentielle Wachstum auch insgesamt sichtbar. Durch die vielen bekannten Maßnahmen, einschließlich der Impfungen, wurde B.1.1.7 dann zurückgedrängt.

Wir haben in unserem Modell dann seit April 2021 eine sog. Impf-Escape-Variante aufgenommen (in grün dargestellt). Durch die modellierten Eigenschaften (Impfschutz gegen Ansteckung 70%, so ansteckend wie B.1.1.7) wird diese Variante ab Juli dominant, nachdem ein großer Teil der Bevölkerung geimpft worden ist (siehe die schwarze gestrichelte Linie in Abbildung 4).

Es sei ausdrücklich nochmals darauf hingewiesen, dass die hier simulierte Impf-Escape-Mutation weder genau B.1.351 entspricht, noch die Eigenschaften zukünftiger Escape-Mutationen vorwegnehmen kann.

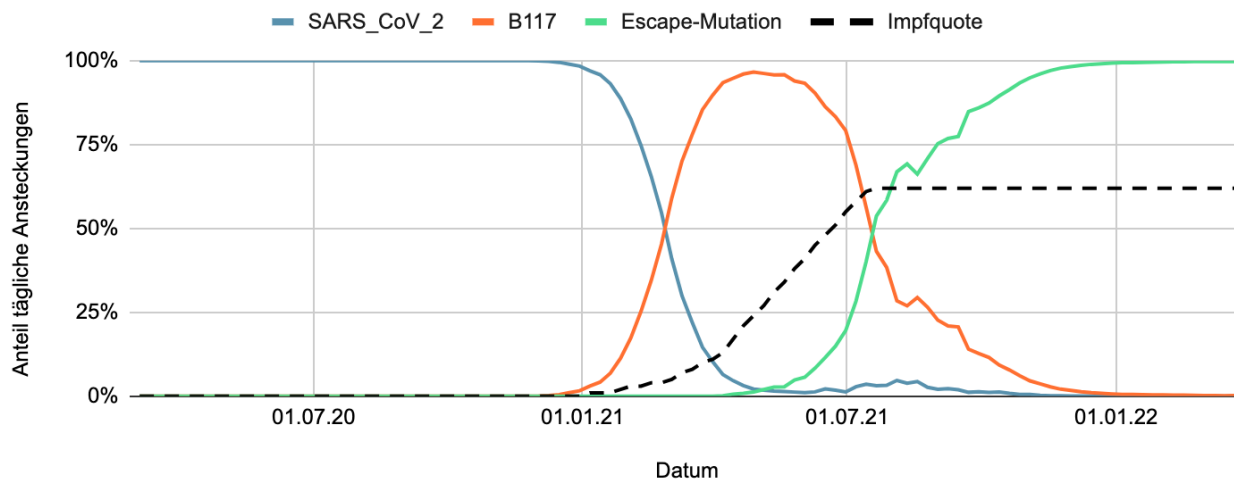


Abbildung 4: Anteil der täglichen Ansteckungen je Variante (Simulationsergebnisse) sowie Impfquote (basierend auf Daten des RKI) im zeitlichen Verlauf, gleiches Szenario wie Abbildung 3. Vgl.: [URL Simulationsergebnisse](#)

6 Mögliche langfristige Szenarien der Covid-Dynamik unter Einbeziehung von Escape-Varianten

Im vorhergehenden Bericht vom 30.04.2021 haben wir ein ODE-Modell⁹ vorgestellt, mit dem die Infektionsdynamik von Covid-19 deutschlandweit über die nächsten drei Jahre unter der Annahme einer gleichbleibenden 80%igen effektiven Immunisierung der Bevölkerung und Aufhebung aller Restriktionen betrachtet wurde (vgl. Müller, Charlton, Conrad, Ewert, Rakow, et al. 2021). Wie oben bereits thematisiert, sind mittlerweile sind mehrere sog. Virus-Mutationen bekannt, die die Wirkung der vorhandenen Impfstoffe abschwächen oder nahezu umgehen können. Der weitere Verlauf der Pandemie – und auch die langfristige Strategie – wird also auch davon abhängen, ob und wie stark das Virus den Schutzmechanismus der Impfung umgehen kann. Dies wird im allgemeinen als Escape-Variante bezeichnet. Im Folgenden stellen wir uns die Frage, wie sich die deutschlandweite Inzidenz entwickeln würde, wenn diese Escape-Varianten mit unterschiedlich stark ausgeprägten “Umgehungspotential” entstehen und sich in Deutschland verbreiten würden. Wir verwenden dafür unser ODE-Modell, weil wir nur mit diesem dazu in der Lage sind, ein so großes Szenario zu berechnen.

6.1 Modellierung der Escape-Variante mittels ODE-Modell

Für das folgende Szenario nehmen wir an, dass eine Escape-Variante ab September 2021 in Deutschland auftritt. Durch diese Escape-Variante werden eigentlich immunisierten Menschen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit trotzdem infiziert.

Da wir uns im Moment nur auf die Auswirkung dieses Effektes auf die Inzidenzzahlen fokussieren, wird der weitere Verlauf der Erkrankung nicht weiter betrachtet. Aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse lassen allerdings vermuten, dass die aktuellen Impfstoffe auch die schweren Krankheitsverläufe von diesen Escape-Varianten in den allermeisten Fällen verhindern können.

Um diesen Effekt der Escape-Variante zu modellieren, haben wir unser bekanntes ODE-Modell (vgl. Müller, Charlton, Conrad, Ewert, Jefferies, et al. 2021) um einen Übergang erweitert, bei dem Geimpfte (bzw. Genesene), die sich angesteckt haben, mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit (bzw. Rate, hier: k_{escape}) wieder zurück in die Gruppe der Ungeimpften fallen. Dies modelliert also die “Umgehung” des Impfschutzes durch die Escape-Variante. Je nachdem, wie groß der

⁹ ODE = Ordinary Differential Equations = Gewöhnliche Differentialgleichungen

Parameter k_{escape} ist, ist der Anteil der Geimpften, deren Impfschutz ausgehebelt wird, größer oder kleiner. 6.2 Auswirkung von Escape-Mutationen auf die Inzidenz

Mit dem neuen (bzw. erweiterten) Modell kann eine Simulation der Inzidenzahlen über die nächsten Jahre durchgeführt werden. Für diese Simulation gelten die gleichen grundsätzlichen Bedingungen, die wir auch schon in den vorhergehenden Berichten beschrieben haben:

- Ab September 2021 sind in Deutschland 80% der Menschen immunisiert - entweder durch Impfung oder durch eine durchgemachte Covid-Erkrankung. Dieser Wert bleibt konstant, u.a., weil die Menschen eine jährliche Auffrischungsimpfung gegen den dann jeweils dominanten Coronavirus-Typ erhalten. Hinweis: im oben beschriebenen ABM Modell gehen wir davon aus, dass 80% der Erwachsenen immunisiert sind - das sind nur etwa 62% der Gesamtbevölkerung. Das hier gezeigte ODE-Modell geht also von einer höheren Impfquote aus, und erhält dementsprechend, und ansonsten gleichen Bedingungen, weniger kritische Verläufe der Inzidenzen.
- Ab September 2021 werden die bis dahin geltenden Restriktionen aufgehoben.
- Es gibt saisonale Effekte: z.B. breitet sich das Virus im Sommer langsamer aus, da die Menschen vergleichsweise weniger Zeit zusammen in Innenräumen verbringen.

Wir haben drei verschiedene Stärken der Escape-Variante simuliert, d.h., wir nehmen an, dass die Escape-Variante eine bestehende Immunisierung bei 10%, 25% oder 50% der Menschen umgehen kann. Diese Simulationen liefern die in Abb. 5 dargestellten Ergebnisse:

ODE-Modell basierte Prognose der Inzidenz in Gesamtdeutschland

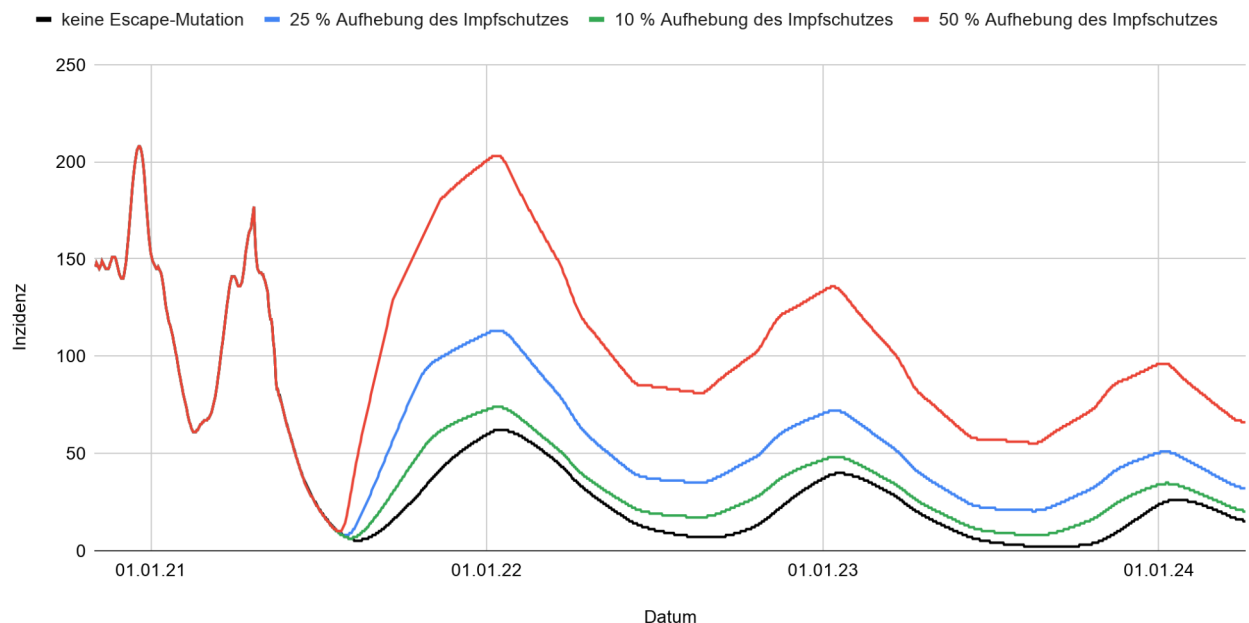


Abbildung 5: Drei mögliche Szenario über die Covid-19-Inzidenz der nächsten drei Jahre bei Auftreten einer Escape-Variante, die den Impfschutz umgeht, verglichen mit der Vorhersage aus dem letzten Bericht (keine Escape-Variante).

Die schwarze Kurve zeigt die Inzidenz, wie sie das Modell vorhersagt, wenn es keine Escape-Variante gibt (siehe auch Ergebnisse des letzten Reports). Die rote Kurve zeigt die Inzidenz, wenn ab Anfang September 2021 bei ca. 50% der Immunisierten der Impfschutz ausgehebelt wird. Die Inzidenz liegt, selbst zu den Höhepunkten der Wellen, unter den Werten der zweiten und dritten Welle im Winter 2020/2021 und Frühling 2021. Die anderen beiden Kurven zeigen die Verläufe für 25% (blau) bzw. 10% (grün).

7 Anhang

7.1 Wirkungen von Schutzmaßnahmen

Die Schutzfaktoren der verschiedenen Schutzmaßnahmen betragen in unseren Simulationen (auf ganzzahlige Werte gerundet):

	“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
Halbierung Personendichte	2	2

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

- Zwei geimpfte Personen treffen aufeinander: Schutzwirkung $10 \times 10 =$ Faktor 100.
- Zwei Personen mit FFP2-Maske treffen aufeinander: Schutzwirkung $2 \times 5 =$ Faktor 10.

Auch bei geimpften Personen besteht nach wie vor eine Wahrscheinlichkeit, dass sie sich anstecken, und dass sie dann auch andere anstecken. Man kommt aber durch die Kombination aus Schnelltest (Faktoren 3 und 1) und FFP2-Maskenpflicht (Faktoren 2 und 5) auf einen Faktor 30 ($3 \times 1 \times 2 \times 5$) 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>.
- Drosten, Christian. 2021. “Coronavirus-Update 88: Impfmission Possible.”
<https://www.ndr.de/nachrichten/info/Coronavirus-Update-Die-Podcast-Folgen-als-Skript,podca stcoronavirus102.html>.
- 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*, March.
<https://doi.org/10.1056/NEJMoa2102214>.
- Moderna. 2021. “Moderna Announces Positive Initial Booster Data Against SARS-CoV-2 Variants of Concern.” <https://www.businesswire.com/news/home/20210505006025/en/>.
- Müller, Sebastian Alexander, William Charlton, Natasa Djurdjevac Conrad, Ricardo Ewert, Dominic Jefferies, Christian Rakow, Hanna Wulkow, Tim Conrad, Christof Schütte, and Kai Nagel. 2021. “MODUS-COVID Bericht vom 09.04.2021.” Technische Universität Berlin.
<https://doi.org/10.14279/DEPOSITONCE-11772>.

- Müller, Sebastian Alexander, William Charlton, Natasa Djurdjevac Conrad, Ricardo Ewert, Christian Rakow, Hanna Wulkow, Tim Conrad, Christof Schütte, and Kai Nagel. 2021. "MODUS-COVID Bericht vom 30.04.2021." Technische Universität Berlin. <https://doi.org/10.14279/DEPOSITONCE-11890>.
- Senozon. 2021. "The Senozon Mobility Model." The Senozon Mobility Model. 2021. <https://senozon.com/en/model/>.
- Wu, Kai, Angela Choi, Matthew Koch, Sayda Elbashir, Lingzhi Ma, Diana Lee, Angela Woods, et al. 2021. "Variant SARS-CoV-2 mRNA Vaccines Confer Broad Neutralization as Primary or Booster Series in Mice." *bioRxiv : The Preprint Server for Biology*, April. <https://doi.org/10.1101/2021.04.13.439482>.