

MODUS-COVID Bericht vom 22.10.2021

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

Unser Modell sagt weiterhin eine Herbstwelle vorher. Dies ist konsistent mit den inzwischen ansteigenden Infektionszahlen (vgl. Abschnitt 3).

Die Impfung wirkt sowohl durch eine Reduktion der Wahrscheinlichkeit schwerer Verläufe als auch durch eine Reduktion der Übertragungen; mathematisch lassen sich die beiden Wirkungen sogar vollständig separieren. Eine Booster-Impfung wirkt auf beide Komponenten (vgl. Abschnitte 4-6).

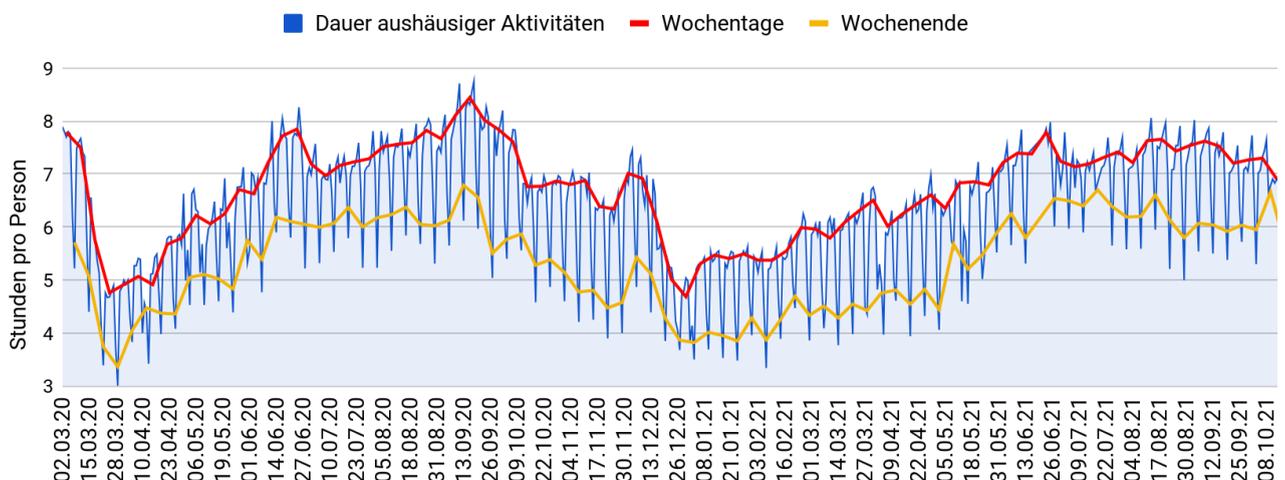
Auf Grundlage unserer Simulationen untersuchen wir die Wirkung verschiedener Maßnahmenpakete und leiten daraus verschiedene Empfehlungen ab. U.a. zeigt eine rechtzeitig begonnene und schnell genug durchgeführte Booster-Impfkampagne gute Wirkung zur Infektionsreduzierung (vgl. Abschnitt 7-8).

Wir analysieren die unterschiedlichen Fallzahlenverläufe in den Bundesländern mittels Clusteranalyse. Es kann gezeigt werden, dass die jeweiligen Impfquoten die Zuordnung in die unterschiedlichen Cluster gut erklären (vgl. Abschnitt 10).

2 Mobilitätsdaten

In den beiden unteren Abbildungen ist die Entwicklung der aushäusigen Aktivitätendauern für Berlin und Köln gezeigt (Abb. 1). Man erkennt ähnliche Entwicklungen. Es gibt aber auch Unterschiede; z.B. war das Aktivitätsniveau in Berlin im Vergleich zu Köln von Oktober 2020 bis Anfang Juni 2021 stärker abgesenkt. Das Sommerniveau der Aktivitäten war in beiden Städten ähnlich, und vergleichbar mit dem Niveau des letzten Sommers. Derzeit deutet sich in beiden Städten ein Absinken des aushäusigen Aktivitätsniveaus an; in Berlin mehr als in Köln.

Durchschnittliche Dauer aushäusiger Aktivitäten Berlin



Durchschnittliche Dauer aushäusiger Aktivitäten Köln

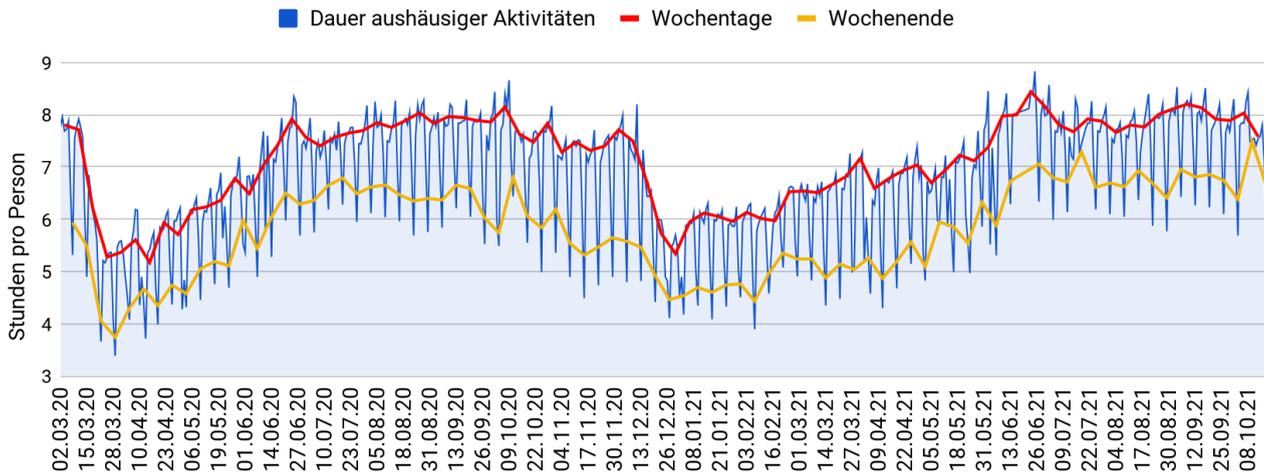


Abbildung 1: Im Mittel aushäusig verbrachte Zeit pro Person in Berlin (oben) und Köln (unten); ermittelt aus anonymisierten Mobilfunkdaten. Rot: Mittelwerte über die Wochentage der jeweiligen Woche. Gelb: Mittelwerte über die Wochenend- und Feiertage (einschl. Samstag) der jeweiligen Woche. Eigene Darstellung;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

3 Aktuelle Situation aus Sicht unserer Modelle

Die Infektionszahlen sind bundesweit bis Anfang Oktober eher konstant geblieben, steigen seitdem aber zunächst langsam und jetzt schneller werdend an. Dies entspricht dem in vielen Modellen vorhergesagten Herbstanstieg, einhergehend mit niedrigeren Temperaturen und der Verlagerung von Aktivitäten in Innenräume. Generell scheinen in diesem Jahr die kühleren Temperaturen einen geringeren Einfluss auf das Verhalten zu haben als im Vorjahr. Dies ist laut unserem Modell eine gute Erklärung dafür, dass in diesem Jahr die Infektionszahlen später ansteigen im Vergleich zum letzten Jahr. Inwieweit hier Reiserückkehrer aus den Herbstferien bereits eine zusätzliche Rolle spielen, können wir durch unsere Simulationen zurzeit nicht ermitteln.

Unser Modell sagt vorher, dass sich die Geschwindigkeit des exponentiellen Anstiegs, gemessen z.B. in "prozentuale Zunahme der Inzidenzen im Vergleich zur Vorwoche", relativ schnell stabilisieren könnte. Laut unserem Modell wird dann der Anstieg der Krankenhausbelastungen mit den gleichen wöchentlichen prozentualen Zunahmen verlaufen. Eine Sättigung dieses Prozesses durch eine "Schließung der Impflücken" (= Immunisierung durch Infektion) sehen wir im Modell nicht in absehbarer Zeit. Am Beispiel Großbritanniens kann man sehen, dass dieser Punkt selbst bei der Inkaufnahme deutlich höherer Infektionszahlen als bei uns so schnell nicht erreicht sein wird. Möglicherweise wird die Bevölkerung freiwillig durch die Reduzierung ihrer Kontakte reagieren.

Wie immer schlagen wir Maßnahmen vor, um diesen Anstieg zu bremsen oder bestenfalls in sein Gegenteil zu verkehren, und quantifizieren die Wirkung dieser Maßnahmen im Modell. Ab wann diese Maßnahmen dann ausreichen werden, kann zurzeit aufgrund der Komplexität der Situation nicht mit ausreichender Sicherheit bestimmt werden. Es ist aber damit zu rechnen, dass Städte oder Bundesländer mit hohen Impfquoten weniger starke Maßnahmen werden ergreifen müssen als solche mit niedrigen Impfquoten.

4 Impfung: Schutz gegen Übertragung vs. Schutz gegen schwere Verläufe

Die Impfung hat zwei Wirkungspfade: zum einen Schutz vor Übertragung (= Transmission), und zum anderen Schutz vor schweren Verläufen.¹ Auch wenn diese beiden Wirkungen medizinisch zusammenhängen, so kann man sie bzgl. ihrer dynamischen Wirkung unabhängig voneinander betrachten:

1. Ein Impfstoff, der *nur* vor Übertragungen (Transmission) schützt, aber nicht vor schweren Verläufen, wäre dennoch sinnvoll, weil er die Ausbreitungsdynamik bremst. Wenn z.B. bei einer hypothetischen Impfquote von 100% ein Impfstoff eine hypothetische Schutzwirkung gegen Übertragung von 70% hat, dann werden von den möglichen Infektionen, die eine Person verursacht 70% nicht passieren. Und wenn sich z.B. nur 80% an der Impfung beteiligen, dann trifft dies nur auf 80% der möglichen Infektionen zu, also $80\% \times 70\% = 56\%$. Generell reduziert die Impfung die Weitergabe von Infektionen demnach um $\text{Impfquote} \cdot \text{SchutzVorInfektion}$.²
2. Optimalerweise sinkt der R-Wert durch die Impfung dauerhaft auf unter eins, und der Virus stirbt aus. Ein R-Wert > 1 bedeutet hingegen einen multiplikativen Anstieg: In jeder Woche ergibt sich die Anzahl der Infektionen durch Multiplikation, z.B. mit 1,3, aus den Werten der Vorwoche. Dies ist genau die Definition eines exponentiellen Verlaufs, und dieser bleibt im mathematischen Sinne auch dann exponentiell, wenn der Multiplikator nur sehr wenig über 1 liegt, z.B. bei 1,01.
3. Ein Impfstoff, der nur vor schweren Verläufen schützt, aber nicht vor Übertragungen, hat auch keinen Einfluss auf den R-Wert. Es gäbe also die gleiche Infektionsdynamik wie ohne Impfung. Allerdings wäre die Belastung der Krankenhäuser entsprechend geringer. Wenn also z.B. eine ungebremschte Ausbreitung die Krankenhäuser hypothetisch um einen Faktor 20 überlasten würde, und die Impfung 90% der schweren Verläufe verhindert, dann wäre die Überlastung der Krankenhäuser durch diese Impfung auf einen Faktor 2 reduziert.³

Die gegen SARS-CoV-2 verwendeten Impfstoffe überlagern beide Effekte:

1. Die derzeitigen Impfstoffe reduzieren das Risiko einer Ansteckung mit Delta um ca. 70% (also auf ca. 30% gegenüber einer ungeimpften Person), und reduzieren die mittlere Viruslast der Infizierten um weitere 50% bis 80%, also auf 50% bis 20% (Thompson et al. 2021).⁴ Insgesamt reduziert sich damit das **Risiko einer Übertragung** durch geimpfte Personen auf 6% bis 30%. Die Werte für Genesene sind ähnlich, möglicherweise sogar besser.
2. Weiterhin reduzieren die derzeitigen Impfstoffe das **Risiko eines schweren Verlaufes** bei der Delta-Variante auf ca. 9% des ursprünglichen Wertes (siehe auch Tabelle unten).

¹ Die übliche Charakterisierung eines Impfstoffes bezieht sich auf den Schutz vor schwerer Erkrankung. Diese Schutzwirkung lässt sich vergleichsweise einfach bestimmen, da nur Personen mit Symptomen getestet werden müssen. Für die Bestimmung der Schutzwirkung gegen (potentiell symptomfreie) Infektion muss man hingegen mindestens mehrere tausend Personen regelmäßig PCR-testen. Die Schutzwirkung gegen Übertragung lässt sich mit diesen Mitteln vermutlich gar nicht bestimmen, aber immerhin kann man die Viruslast von infizierten Geimpften mit derjenigen von infizierten Ungeimpften vergleichen. Hier ergibt sich, dass Geimpfte/Genesene im Mittel deutlich kürzer ansteckend sind, was dann bedeutet, dass sie im Mittel weniger andere Personen anstecken als nicht-immunisierte Infizierte.

² Genau genommen muss man die Übertragungen von ungeimpft \rightarrow ungeimpft, ungeimpft \rightarrow geimpft/genesen, geimpft/genesen \rightarrow ungeimpft, geimpft/genesen \rightarrow geimpft/genesen separat betrachten. Unser personen-zentriertes Modell macht das "automatisch" richtig.

³ An diesem Beispiel sieht man auch, dass die reine Reduktion der schweren Verläufe die Überlastung der Krankenhäuser nicht unbedingt verhindert.

⁴ Der genaue Mechanismus kann z.B. auch auf einer Verkürzung der Zeit beruhen, während derer eine infizierte Person ansteckend ist.

Die daraus zu erwartende Dynamik kombiniert beide Effekte:

1. Der "Sockel" der Infektionsdynamik entsteht durch die Nicht-Immunisten. Aber erst die Tatsache, dass sich die Geimpften/Genesen an der Übertragung beteiligen, führt (im Modell) zu einem R-Wert größer als eins, und somit zu einer möglichen Herbst-/Winterwelle.
2. Nur die Nicht-Immunisten, die durch diese Welle infiziert werden, haben das "alte", erhöhte Risiko eines schweren Verlaufes, und führen somit zu einer hohen Belastung der Krankenhäuser.

5 Quantitative Impfwirkungen

Für unsere Simulationen verwenden wir die in der folgenden Tabelle 1 aufgelisteten Parameter als Grundlage. Diese basieren auf der derzeitigen Literatur und sind mit Unsicherheit behaftet. Wichtig ist aus unserer Sicht dabei, dass (1) der Schutz vor Infektion bei Delta deutlich (!) niedriger ist als bei Alpha und dass (2) die Vektorimpfstoffe wiederum einen deutlich geringeren Schutz vor Infektion aufweisen, als die mRNA-Impfstoffe. Wir nehmen in unserem Modell an, dass die unten genannten Schutzfaktoren eine Woche nach der zweiten Impfung erreicht werden und dann langsam abnehmen.

Variante	Schutz vor ...	mRNA-Impfstoff	Vektorimpfstoff
Alpha	... Infektion	86% (1)	52% (1)
	... Symptomen	94% (1)	75% (2)
	... schwerem Verlauf	98% (2)	98%
Delta	... Infektion	70% (3) und 78% (1)	49% (1)
	... Symptomen	85% (1)	65% (2)
	... schwerem Verlauf	91% (3)	91% (3)

Tabelle 1: Übersicht der im Modell implementierten Schutzwirkungen von mRNA- und Vektorimpfstoffen in Bezug auf die Alpha und Delta Variante. Quellen zu den Werten:

- (1) <http://www.healthdata.org/covid/covid-19-vaccine-efficacy-summary>, Zugriff am 22.10.2021
- (2) http://www.healthdata.org/sites/default/files/files/Projects/COVID/2021/Vaccine_efficacy_summary_080521.pdf, Zugriff am 22.10.2021
- (3) Harder et al. (2021)

6 Reduktion der Krankenhausbelastungen durch Impfungen inkl. Booster-Impfungen

Es gibt mehrere Wege, durch Impfungen die Belastung der Krankenhäuser zu reduzieren:

- A. Eine möglichst hohe Impfquote reduziert die durch eine Person verursachten Infektionen entsprechend der obigen Formel um $Impfquote \cdot SchutzVorInfektion$ (vgl. Abschnitt 4).
- B. Eine möglichst hohe Impfquote reduziert den Anteil der Personen, die noch das ursprüngliche (nicht durch die Impfung abgesenkte) Risiko schwerer Verläufe haben.
- C. Eine Booster-Impfung erhöht den Wert von $SchutzVorInfektion$, und senkt somit bei gleicher Impfquote die durch eine Person verursachten Infektionen (Bar-On, Goldberg, Mandel, Bodenheimer, Freedman, Alroy-Preis, et al. 2021).
- D. Eine Booster-Impfung senkt das Risiko schwerer Verläufe nochmals weiter ab (Bar-On, Goldberg, Mandel, Bodenheimer, Freedman, Alroy-Preis, et al. 2021).

Die Punkte A. und B. betreffen die "normale" Impfkampagne. Punkt D. betrifft die Auffrischungsimpfung für besonders vulnerable Gruppen. Punkt C. gehört u.E. mehr in den Fokus als bisher. Es liegt bereits nahe, dass eine Booster-Impfung nicht nur zu weiter verbessertem Schutz gegen schwere Verläufe führt, sondern vor allem den Schutz gegen Übertragung nochmals deutlich erhöht. Eine Studie aus Israel (Bar-On, Goldberg, Mandel, Bodenheimer, Freedman, Kalkstein, et al. 2021; Bar-On, Goldberg, Mandel, Bodenheimer, Freedman, Alroy-Preis, et al. 2021) kommt zum Schluss, dass die Booster-Impfung sowohl die Verluste an Impfschutz über die Zeit als auch den Verlust an Impfschutz durch die Delta-Variante vollständig ausgleichen.⁵

Publikationen wie (Krause et al. 2021) weisen auf den hohen Schutz vor schwerer Erkrankung bereits durch die Doppelimpfung bei jüngeren Personen ohne Vorerkrankungen hin, und raten zur Vorsicht bzgl. Booster-Impfungen für diesen Personenkreis⁶ aufgrund von möglichen Nebenwirkungen. Unsere Betrachtungsweise im Folgenden ist epidemiologisch-mathematisch, d.h. wir betrachten ausschließlich die Wirkung der Booster-Impfung auf die Infektionsdynamik und lassen mögliche medizinische Implikationen außer Acht. Hier ergibt sich, dass ein breites ausgerolltes Angebot Booster-Impfungen die Infektionsdynamik deutlich reduziert. Dies würde dem Vorgehen in Israel folgen (O'Connor 2021).

7 Simulationsresultate

Wir haben mit unserem agentenbasierten Modell der Region Köln untersucht, wie sich die Lage zum Winter hin entwickeln könnte. Es gibt laut unserem Modell zwei wesentliche Faktoren, die laut unserem Modell die Dynamik in den nächsten Monaten treiben werden: (1) Das Verlegen von Aktivitäten in Innenräume aufgrund der kalten Jahreszeit, (2) die Effektivität der Impfstoffe und die Impfquote.

Die Ergebnisse unserer Modellierung zeigen deutlich, dass ein R-Wert über 1 unweigerlich dazu führen wird, dass auch die Krankenhauszahlen wieder ansteigen werden. Falls wir wieder in eine für die Krankenhäuser kritische Situation kommen, sollen die Simulationsresultate bei der Abschätzung helfen, wie wirksam bestimmte Maßnahmen sind. Ob wir wieder in eine solche Situation kommen, kann das Modell nicht seriös prognostizieren, da dies von vielfältigen Einflussfaktoren abhängig ist. Gleichwohl zeigt das Modell, dass eine solche Überlastung im Bereich des Möglichen ist – insbesondere wenn man bedenkt, dass in vielen Krankenhäusern Personalnot herrscht.

Die Tabelle 2 besagt Folgendes:

- Die Maßnahme "2G" reduziert den R-Wert um ca. 0,45 (Zeile (a)).
- Eine erneut breit ausgerollte Schnelltest-Strategie (vor 40% aller Freizeitaktivitäten) reduziert den R-Wert um ca. 0,2 (Zeile (b)).⁷
- Wenn die Geimpften/Genesenen in diese Schnelltest-Strategie einbezogen werden, reduziert dies den R-Wert um ca. 0,5 (Zeile (c)).

⁵ "[The booster shot] brings vaccine efficacy for booster-vaccinated individuals to ≈95%, similar to the original "fresh" vaccine efficacy reported against the Alpha strain."

⁶ "Although the benefits of primary COVID-19 vaccination clearly outweigh the risks, there could be risks if boosters are widely introduced too soon, or too frequently, especially with vaccines that can have immune-mediated side-effects. Current evidence does not, therefore, appear to show a need for boosting in the general population, in which efficacy against severe disease remains high."

⁷ Schnelltests bringen am meisten vor Freizeitaktivitäten, da hier die Personendichte in Innenräumen typischerweise am höchsten ist. Dies gilt insbesondere auch bei privaten Besuchen. Daher der Vorschlag dieser Maßnahme, die vermutlich allerdings auf Freiwilligkeit beruhen müsste.

- Zeilen (d) bis (g) beschreiben verschiedene Varianten der Booster-Impfung. “70% Schutz vor Infektionen” bedeutet, dass die Booster-Impfung nur das Nachlassen des ursprünglichen Schutzes ausgleicht; “90% Schutz” bedeutet, dass die Booster-Impfung einen Schutz ergibt, welcher deutlich oberhalb des ursprünglichen Schutzes (gegen Delta) liegt. Insbesondere aufgrund von (Bar-On, Goldberg, Mandel, Bodenheimer, Freedman, Alroy-Preis, et al. 2021) erscheint uns der zweite Wert wahrscheinlicher. Ein Impftempo von 0,5% der Bevölkerung pro Tag erscheint als koordinierte Anstrengung von Hausärzten, Fachärzten, Betriebsärzten und Gesundheitsämtern möglich; ein Impftempo von 2% der Bevölkerung pro Tag haben wir selbst am Maximum der Impfkampagne im Wochenmittel nicht geschafft; es wäre aber bei genügend Verfügbarkeit von Impfstoff erreichbar gewesen. Am plausibelsten erscheint uns Zeile (f), in welcher die Booster-Impfung den Schutz gegen Infektion gegenüber der Doppelimpfung nochmals erhöht (auf 90%), und ein Impftempo von 0,5% der Bevölkerung pro Tag angenommen wird. Zeile (g) zeigt, welche zusätzlichen (hohen) Wirkungen eine sehr schnelle Boosterung bieten würde.

	Booster*	Booster Geschwindigkeit [% der Bevölkerung pro Tag]	Booster Schutz vor Infektion	2G**	Testrate Freizeit	Tests auch für Geimpfte u. Genese	Absenkung R-Wert im Vergleich zum Basisszenario
Basis	-	-	-	-	5%	-	
(a)	-	-	-	ja	5%	-	0,45
(b)	-	-	-	-	40%	-	0,2
(c)	-	-	-	-	40%	ja	0,5
(d)	ja	0,5%	70%	-	-	-	0,05
(e)	ja	2%	70%	-	-	-	0,25
(f)	ja	0,5%	90%	-	-	-	0,15
(g)	ja	2%	90%	-	-	-	0,6

*Ältere Personen (bei denen die Impfung länger her ist) werden zuerst geboostert.

**Wir implementieren 2G, indem wir annehmen, dass Personen, die weder geimpft noch genesen sind, von 50% der Freizeitaktivitäten ausgenommen werden. Wir halten 100% für unrealistisch, da hiervon im Sinne unseres Modells auch private Besuche betroffen wären.

Tabelle 2: Reduktion des R-Wertes bei verschiedenen Maßnahmenkombinationen. Die Maßnahmen werden jeweils am 01.11.2021 eingeführt, die Reduktion der R-Werte bezieht sich auf die Veränderung bis zum 01.12.2021. Die Simulationsergebnisse sind unter der folgenden URL abrufbar: <https://covid-sim.info/cologne/2021-10-21/1?vacInf=50%25&leisureUnv=no>

8 Empfehlungen

Basierend auf unseren Simulationen schlagen wir Folgendes vor:

- A. Nicht nachlassen bzgl. der Impfstrengungen.
- B. Nicht nachlassen bzgl. der Booster-Impfung für Ältere, Risikogruppen und Immunsupprimierte.
- C. Systematisches Angebot einer Booster-Impfung (z.B. mit dem Biontech Impfstoff, soweit medizinisch vertretbar) für alle Personen, deren Doppelimpfung mindestens 5 Monate her ist.⁸** Wir schlagen dieses Angebot in erster Linie nicht zum individuellen Schutz einzelner Personen vor einem schwerem Verlauf vor, sondern als Maßnahme, um die Ausbreitungsdynamik zu bremsen (also den R-Wert zu senken).
- D. Aufrechterhaltung “einer letzten Schicht von Schutzmaßnahmen” in Innenräumen. In vielen Fällen wird das 2G (notfalls 3G) sein; dort, wo das nicht umgesetzt wird, sollte durchgehende Maskenpflicht gelten (öffentlicher Verkehr, Einzelhandel). Ein Ende dieser Maßnahmen könnte zum Frühjahrsende 2022 in Aussicht gestellt werden – naturgemäß unter der Voraussetzung, dass sich bis dahin nicht zu viele Aspekte nochmals ändern, also z.B. bis dahin keine weitere problematische Virusmutation stattfindet.
- E. Schulen bleiben weiterhin ein Sonderfall, weil Kinder unter 12 Jahren nicht geimpft werden können. Dort sollte die Kombination aus Teststrategie, Lüftungsstrategie, Luftreinigungsstrategie, sowie, bei hohen Inzidenzen, Maskenpflicht beibehalten werden.⁹
- F. Falls die Krankenhauszahlen auf ein Niveau ansteigen sollten, welches nicht hingenommen werden soll, so empfehlen wir weiterhin ein erneutes flächendeckendes Ausrollen der (kostenfreien) Schnelltests (vgl. Müller et al. 2021). Wichtig bleibt, dass die Geimpften/Genesenen in eine solche Teststrategie einbezogen werden müssen, damit sie entsprechende Wirksamkeit entfaltet.
- G. Falls, bei inakzeptabel hohen Krankenhauszahlen, Ansatz F nicht genügend Wirkung zeigt, kann natürlich auf die bekannten Maßnahmen zur Kontaktbeschränkung zurückgegriffen werden.

9 Ethische Argumente bzgl. Booster-Impfungen

Wir schlagen oben eine relativ breit ausgerollte Booster-Impfung als Beitrag zur Abflachung einer wahrscheinlichen Winter-Welle vor. Wir sind uns bewusst, dass es ethische Argumente gibt, die dagegen sprechen. Diese laufen darauf hinaus, dass die entsprechenden Impfdosen dringender für Erstimpfungen anderswo benötigt werden. Wir sind allerdings skeptisch, ob der Verzicht auf eine Booster-Impfung wirklich einen deutlichen Beitrag zur Verkleinerung des Problems leisten kann:

- Wir würden vermuten, dass nicht mehr als 50% der Bevölkerung die Booster-Impfung in Anspruch nehmen würde.
- Da hier eine Einfach-Impfung ausreicht, entspräche dies einer Aufstockung der Impfdosen um 25%.

⁸ (vgl. Bar-On, Goldberg, Mandel, Bodenheimer, Freedman, Kalkstein, et al. 2021; Bar-On, Goldberg, Mandel, Bodenheimer, Freedman, Alroy-Preis, et al. 2021)

⁹ Viele Personen halten das Risiko einer Erkrankung in dieser Altersgruppe für nicht höher als das Risiko der Impfung. Uns erscheint es naheliegend, in Anbetracht der baldigen Verfügbarkeit der Impfstoffe diese Entscheidung den Eltern zu überlassen, und somit bis dahin Infektionen in den Schulen zu unterdrücken.

- Bezogen auf ca. 1,3 Mrd Einwohner der OECD-Länder wären dies ca. 0,32 Mrd Impfdosen, oder 0,16 Mrd Erstimpfungen. Dies vergleicht sich mit ca. 6,5 Mrd Einwohnern der Nicht-OECD-Länder. Wir sind also weit davon entfernt, dass Einsparungen beim Boostern in den OECD-Ländern auch nur entfernt ausreichen, um bei den Nicht-OECD-Ländern breiten Impfschutz zu erreichen.
- Es kommt hinzu, dass wir ja in gewisser Weise weitgehend diejenigen Impfdosen, welche als Erstimpfung nicht in Anspruch genommen werden, für Booster-Impfungen verwenden. (Wenn 20% der Bevölkerung sich nicht impfen lassen wollen, dann können damit 40% der Bevölkerung geboostert werden.)

10 Untersuchung der Korrelation zwischen Impfquote und Inzidenz in den Bundesländern

Einer der wichtigsten Kennzahlen während der Corona-Pandemie ist die sog. 7-Tage-Inzidenz. Diese bildet ab, wie viele Corona-Infektionen während der vergangenen 7 Tage pro 100.000 Einwohner gemeldet worden sind. Sicherlich fasst diese Zahl die wirkliche Infektionsdynamik und ihre Konsequenz für das Gesundheitssystem nicht vollständig zusammen. Allerdings gibt sie einen wichtigen Hinweis darauf, wie sich die Situation grundsätzlich entwickelt. Demnach steht die 7-Tage-Inzidenz in direktem Zusammenhang mit der Impfquote, also der Anzahl der geimpften Personen in der Bevölkerung. Es gilt: je höher die Impfquote, desto weniger Corona-Fälle. Im Folgenden werden wir diesen Zusammenhang zeigen, indem wir die Impfquote der verschiedenen Bundesländer mit den dort auftretenden Fallzahlen bzw. den 7-Tage-Inzidenzen vergleichen.

Vorbemerkung: Im Folgenden nehmen wir eine Vereinfachung der tatsächlichen Situation an. Uns ist bewusst, dass während der letzten Wochen und Monate in den jeweiligen Bundesländern verschiedene Corona-Regeln galten, wie z.B. bei der Maskenpflicht oder in der Art und Frequenz von Corona-Tests in der Schule oder bei der Arbeit. Auch diese Dinge haben einen Einfluss auf die gemeldeten Fallzahlen, werden von uns aber nicht einbezogen.

10.1 Daten

Wir betrachten die Fallzahlen der Bundesländer für den Zeitraum vom 01.08. - 11.10.2021 (vgl. RKI 2021a). Für die Analyse interessiert uns der Verlauf der Fallzahlen, also, ob die 7-Tage-Inzidenz über den betrachteten Zeitraum steigt oder fällt, oder sich ein Muster erkennen lässt - z.B. ob die Kurve erst steigt, dann fällt und dann wieder steigt. Um die Betrachtung einfacher zu machen, haben wir die erhobenen Werte normalisiert. Das bedeutet, dass für jedes Bundesland im betrachteten Zeitraum zunächst die höchste Fallzahl ermittelt wurde. Anschließend wurden alle Fallzahlen dieses Landes durch diese höchste Zahl geteilt. Im Ergebnis entsteht für jedes Bundesland eine Kurve, die zwischen 0 und 1 liegt und den relativen Verlauf angibt. Dadurch lassen sich die Kurven der einzelnen Bundesländer qualitativ miteinander vergleichen. In der folgenden Abbildung 2 sind die normalisierten Fallzahl-Kurven der 16 Bundesländer dargestellt.

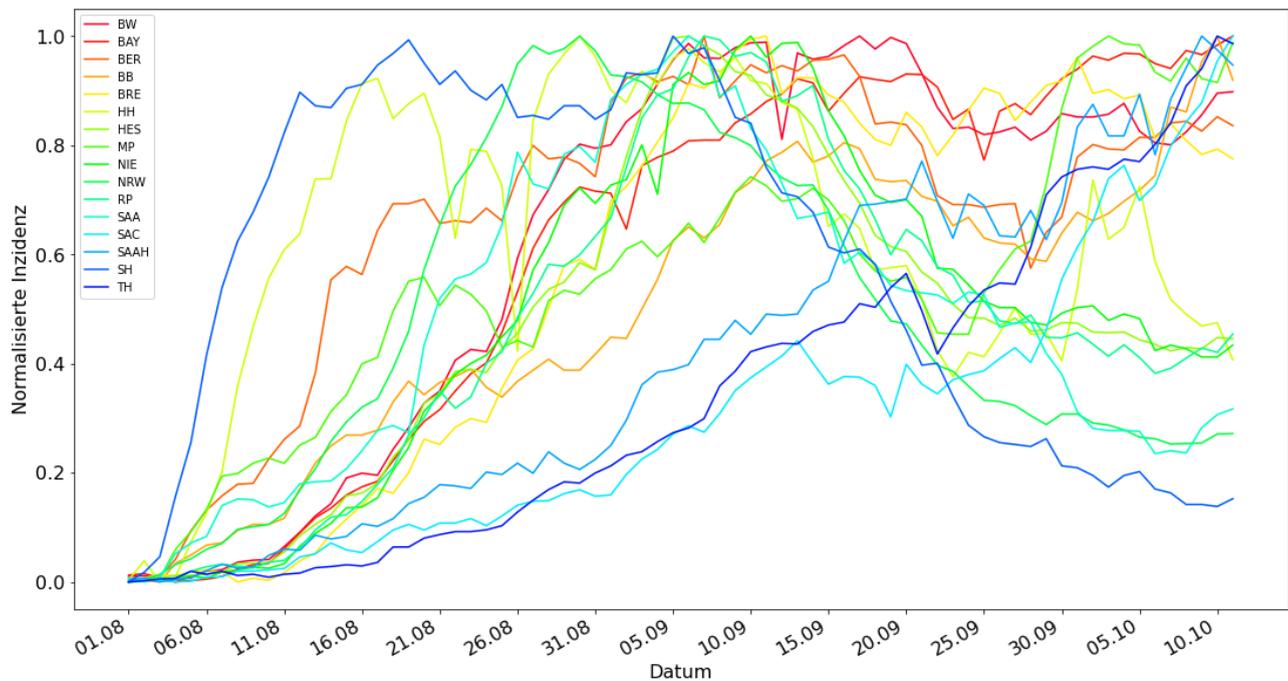


Abbildung 2: Normalisierte Inzidenz (Fallzahl-Kurven) in den Bundesländern über die Zeit.

Beim Betrachten von Abbildung 2 stellt man fest, dass sich die Kurven zwar untereinander unterscheiden, es aber durchaus Gemeinsamkeiten gibt. Zunächst sind die Fallzahlen im August in allen Ländern gestiegen. Im September zeigen sich dann deutliche Unterschiede (wie in der folgenden Abbildung 3 zu sehen): in einigen Ländern sinken die Zahlen (z.B. Nordrhein-Westfalen), in anderen steigen sie weiter (z.B. Thüringen) und in wieder anderen steigen sie zunächst und verharren dann auf diesem Niveau (z.B. Baden-Württemberg).

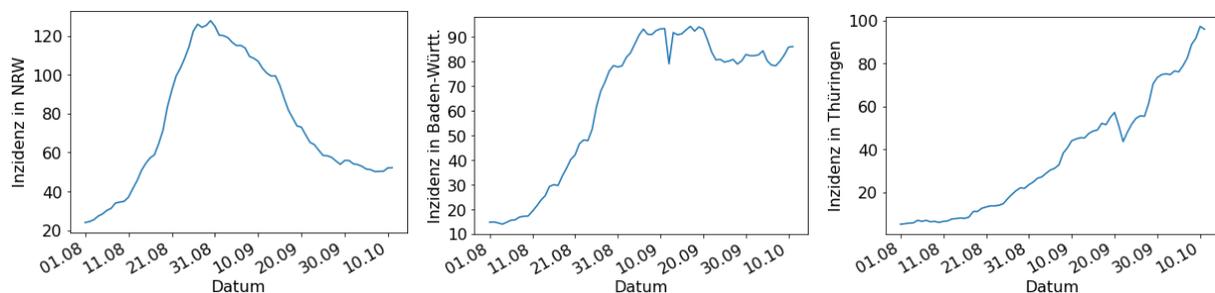


Abbildung 3: Verschiedene Entwicklungen der Inzidenz: ab September fallend (1), ab September gleichbleibend (2), weiter steigend (3)

10.2 Gruppierung mittels Clustering

Um das beobachtete Verhalten der Fallzahlen genauer beurteilen zu können, haben wir die Fallzahl-Kurven mittels einer sog. Cluster-Analyse in drei verschiedene Gruppen eingeteilt, die in der folgenden Abbildung 4 zu sehen sind. Es ist gut zu erkennen, dass sich die (normalisierten) Fallzahl-Kurven aller Länder recht gut zu einer dieser drei Gruppen zuordnen lassen. Die jeweiligen Gruppen wurden von dem verwendeten Clusterverfahren automatisch gefunden bzw. zugeordnet. Von dem Verfahren wurde eine Gruppe "abnehmend" (Cluster 1; in grün dargestellt) identifiziert, bei der die Fallzahlen zunächst ansteigen und dann wieder abfallen. Die länderspezifischen Fallzahlen in der Gruppe "gleichbleibend" (Cluster 2; in orange) steigen erstmal an und verharren dann auf diesem Niveau. Bei den Ländern in der Gruppe "steigend" (Cluster 3; in rot) ist zu erkennen, dass die Fallzahlen im betrachteten Zeitraum (fast) kontinuierlich ansteigen. Zu bemerken ist, dass die Gruppe "gleichbleibend" (orange) mit nur drei Ländern die kleinste ist, während die anderen beiden Gruppen mit sechs bzw. sieben Ländern etwa gleich groß sind.

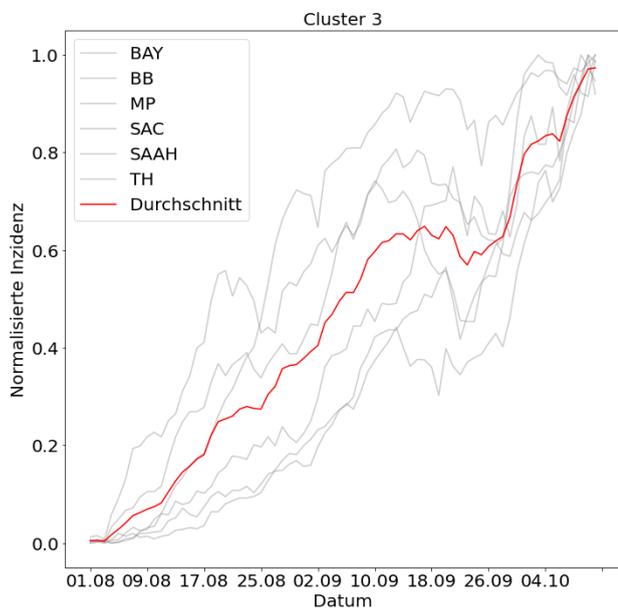
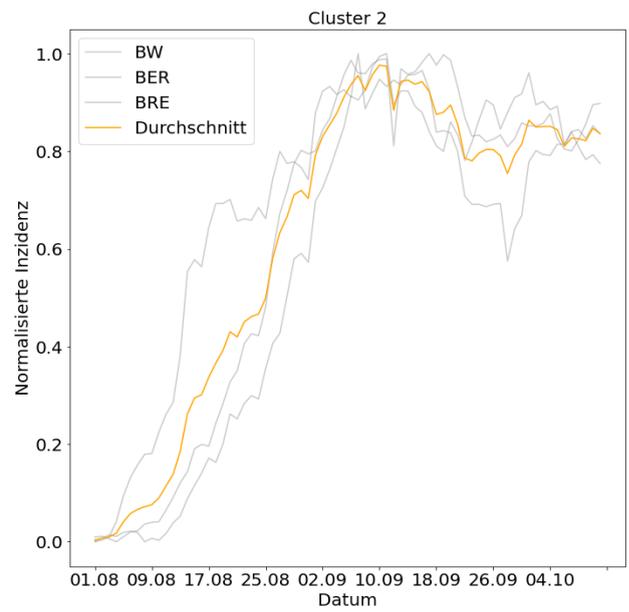
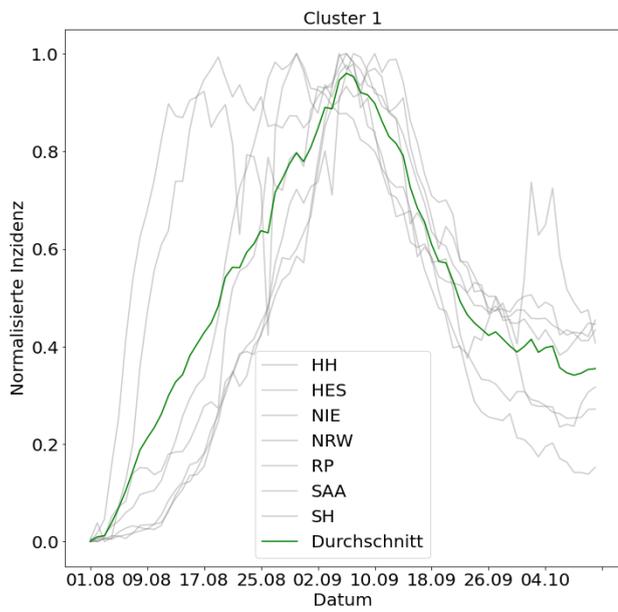


Abbildung 4: Gruppierung der Bundesländer in drei Cluster entsprechend des normalisierten Inzidenzverlaufs der letzten zwei Monate

10.3 Fallzahlverläufe und Impfquoten

Als Nächstes wollen wir einen Eindruck bekommen, ob sich zwischen den gefundenen Gruppen der Fallzahlen und den jeweiligen Impfquoten der Bundesländer ein Zusammenhang erkennen lässt. Dazu haben wir in der folgenden Tabelle alle Bundesländer anhand der jeweiligen Impfquote (RKI 2021b, hier: der einmalig Geimpften; Stand: 21.10.2021) sortiert und in der zweiten Spalte die zugeordnete Gruppe (Cluster) aufgeführt.

Bundesland	Cluster	Impfquote Gesamtbevölkerung (erste Impfung)
Bremen	“gleichbleibend”	81 %
Saarland	“fallend”	75 %
Schleswig-Holstein	“fallend”	74 %
NRW	“fallend”	74 %
Hamburg	“fallend”	73 %
Niedersachsen	“fallend”	72 %
Rheinland-Pfalz	“fallend”	71 %
Hessen	“fallend”	69 %
Berlin	“gleichbleibend”	69 %
Mecklenburg-Vorpommern	“steigend”	67 %
Baden-Württemberg	“gleichbleibend”	66 %
Bayern	“steigend”	66 %
Sachsen-Anhalt	“steigend”	64 %
Brandenburg	“steigend”	62 %
Thüringen	“steigend”	62 %
Sachsen	“steigend”	59 %

Mit Ausnahme von Bremen und Hessen ergibt sich ein relativ klares Bild: alle Bundesländer (außer Bremen) mit einer vergleichsweise hohen Impfquote von über 70% in der Gesamtbevölkerung sind der Gruppe “fallend” zugeordnet. Hingegen sind alle Bundesländer (außer Hessen) mit einer niedrigeren Impfquote von unter 70% den Gruppen “gleichbleibend” oder sogar “steigend” zugeordnet. Durchschnittlich haben die Bundesländer der Gruppe “fallend” eine 6 % höhere Impfquote als die Bundesländer der Gruppe “steigend”.

10.4 Inzidenzen bei Kindern

Um einen Eindruck zu bekommen, ob sich der beobachtete Zusammenhang auch in der Altersgruppe der Kinder und Jugendlichen erkennen lässt, haben wir das beschriebene Verfahren für die Altersgruppe der 5- bis 14-Jährigen wiederholt (Berliner Morgenpost 2021). Um den Effekt der Sommerferien so gut wie möglich auszublenden, haben wir die ermittelten Fallzahlverläufe in der betrachteten Altersklasse jeweils pro Bundesland am ersten Schultag nach den Sommerferien starten lassen. Wie in der folgenden Abbildung 5 zu erkennen ist, enden die Kurven einiger Bundesländer daher etwas früher als bei anderen, weil das Schuljahr dort später begann.

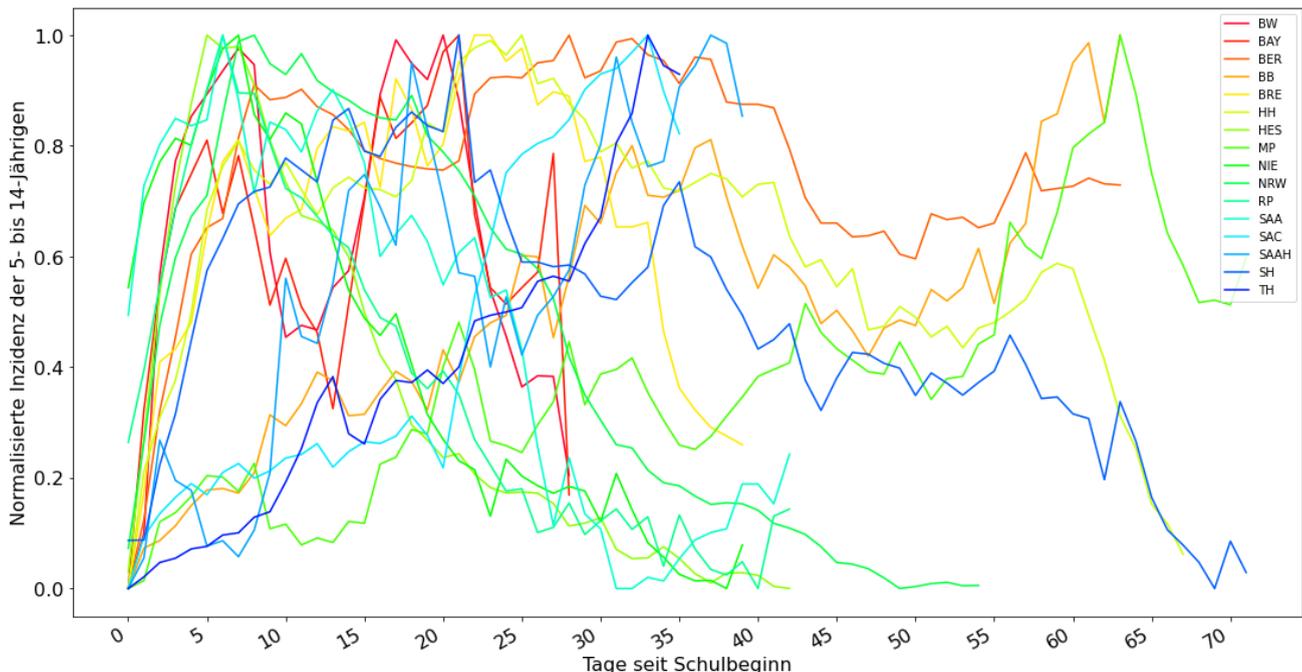


Abbildung 5: Inzidenz der 5- bis 14-Jährigen pro Bundesland. Die Zeitskala richtet sich nach dem jeweiligen Schulbeginn der Bundesländer nach den Sommerferien.

Auch für diese Verläufe der einzelnen Bundesländer führen wir eine Cluster-Analyse durch, um die Fallzahlverläufe wiederum einer von drei Gruppen zuordnen zu können. Abbildung 6 zeigt die Ergebnisse. Dabei ist zu erkennen, dass sich bei dieser Altersgruppe der Kinder die gefundenen Cluster (bzw. Gruppen) nicht so eindeutig wie vorher unterscheiden: zwar wird vom Cluster-Verfahren wiederum eine Gruppe ermittelt, die auf grundsätzlich fallende Fallzahlverläufe hinweist (Cluster 1; in grün) und es wird eine Gruppe identifiziert, die auf insgesamt steigende Fallzahlverläufe schließen lässt (Cluster 2; in rot), die dritte Gruppe (Cluster 3; in gelb) ist aber nicht so eindeutig interpretierbar wie vorher und gleicht eher einem Zick-Zack: hier steigen die Fallzahlen zunächst an, fallen dann wieder, steigen dann wieder an, um dann wieder zu fallen.

Auch haben sich die Zuordnungen der Bundesländer zu den Gruppen leicht verändert: für die Altersgruppe der Kinder ist Berlin nun der "steigenden" Gruppe zugeordnet (vorher: "gleichbleibend"), während Bayern nun der Gruppe "Zick-Zack" zugeordnet wurde (vorher: "steigend"). Die Zuordnung der übrigen Bundesländer hat sich nicht verändert.

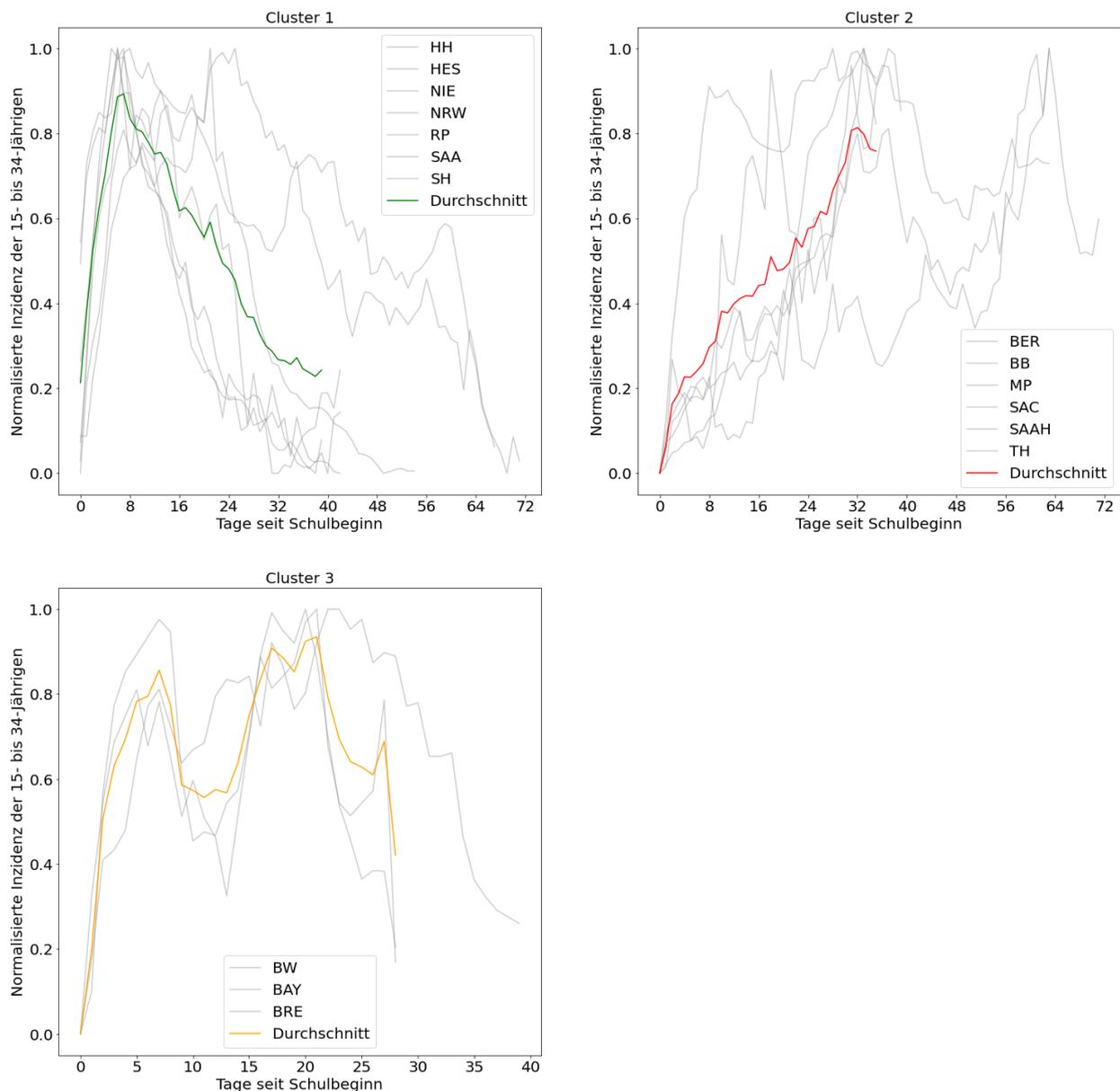


Abbildung 6: Gruppierung der Bundesländer in drei Gruppen, entsprechend des normalisierten Inzidenzverlaufs in der Gruppe der 5- bis 14-Jährigen. Die Zeitskala richtet sich nach dem jeweiligen Schulbeginn der Bundesländer nach den Sommerferien

Auch hier zeigen wir in der folgenden Tabelle für jedes Bundesland die Gruppenzuordnung. Die Tabelle ist sortiert nach der Impfquote bei den 12- bis 17-Jährigen, da genauere Daten nicht zur Verfügung standen. Die betrachtete Altersgruppe der Kinder (bis 14 Jahre) überschneidet sich zwar nur wenig mit der Gruppe der geimpften 12- bis 17-Jährigen, aber es lässt sich daraus zumindest ein Trend ablesen.

Wie vorher lässt sich wiederum eine grobe Aufteilung in Bundesländer mit “fallender” bzw. “steigender” Tendenz erkennen. Dabei haben die Bundesländer der Gruppe “fallend” eine deutlich höhere Impfquoten bei den 12- bis 17-Jährigen, mit durchschnittlich 48%. Im Vergleich dazu haben die Bundesländern der Gruppe “steigend” nur eine Impfquote von 30% bei den 12- bis 17-Jährigen.

Bundesland	Cluster	Impfquote 12- bis 17-Jährige (erste Impfung)
Schleswig-Holstein	“fallend”	59%
NRW	“fallend”	53%
Niedersachsen	“fallend”	53%
Bremen	“Zick-Zack”	50%
Saarland	“fallend”	49%
Rheinland-Pfalz	“fallend”	47%
Hessen	“fallend”	45%
Hamburg	“fallend”	45%
Baden-Württemberg	“Zick-Zack”	42%
Berlin	“steigend”	41%
Bayern	“Zick-Zack”	41%
Brandenburg	“steigend”	32%
Meck.-Pomm.	“steigend”	31%
Thüringen	“steigend”	30%
Sachsen-Anhalt	“steigend”	29%
Sachsen	“steigend”	27%

11 Quellen

- Bar-On, Yinon M., Yair Goldberg, Micha Mandel, Omri Bodenheimer, Laurence Freedman, Sharon Alroy-Preis, Nachman Ash, Amit Huppert, and Ron Milo. 2021. “Protection across Age Groups of BNT162b2 Vaccine Booster against Covid-19.” *bioRxiv*.
<https://doi.org/10.1101/2021.10.07.21264626>.
- Bar-On, Yinon M., Yair Goldberg, Micha Mandel, Omri Bodenheimer, Laurence Freedman, Nir Kalkstein, Barak Mizrahi, et al. 2021. “Protection of BNT162b2 Vaccine Booster against Covid-19 in Israel.” *The New England Journal of Medicine* 385 (15): 1393–1400.
<https://doi.org/10.1056/NEJMoa2114255>.
- Berliner Morgenpost. 2021. “Corona-Inzidenz Nach Alter Aktuell Und Im Zeitverlauf.” Berliner Morgenpost. May 5, 2021.
<https://interaktiv.morgenpost.de/corona-inzidenz-kinder-alter-kita-schule/>.
- Harder, Thomas, Wiebe Külper-Schiek, Sarah Reda, Marina Treskova-Schwarzbach, Judith Koch, Sabine Vygen-Bonnet, and Ole Wichmann. 2021. “Effectiveness of COVID-19 Vaccines against SARS-CoV-2 Infection with the Delta (B.1.617.2) Variant: Second Interim Results of a Living Systematic Review and Meta-Analysis, 1 January to 25 August 2021.” *Eurosurveillance*

26 (41): 2100920. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2021.26.41.2100920>.

Krause, Philip R., Thomas R. Fleming, Richard Peto, Ira M. Longini, J. Peter Figueroa, Jonathan A. C. Sterne, Alejandro Cravioto, et al. 2021. "Considerations in Boosting COVID-19 Vaccine Immune Responses." *The Lancet* 398 (10308): 1377–80.

[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02046-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02046-8).

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 03.09.2021." Technische Universität Berlin.

<https://doi.org/10.14279/DEPOSITONCE-12336>.

O'Connor, David. 2021. "The Message from Israel Is Clear: Covid Booster Shots Should Be Standard." *The Guardian*, September 27, 2021.

<https://www.theguardian.com/commentisfree/2021/sep/27/data-israel-covid-booster-shots-standard>.

RKI. 2021a. "7-Tage-Inzidenzen Nach Bundesländern Und Kreisen." 2021.

https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Daten/Fallzahlen_Kum_Tab.html.

———. 2021b. "RKI - Coronavirus SARS-CoV-2 - Impfquotenmonitoring." 2021.

https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Daten/Impfquotenmonitoring.html.

Senozon. 2020a. "The Senozon Mobility Model." The Senozon Mobility Model. 2020a.

<https://senozon.com/en/model/>.

Thompson, Mark G., Jefferey L. Burgess, Allison L. Naleway, Harmony Tyner, Sarang K. Yoon, Jennifer Meece, Lauren E. W. Olsho, et al. 2021. "Prevention and Attenuation of Covid-19 with the BNT162b2 and mRNA-1273 Vaccines." *The New England Journal of Medicine* 385 (4): 320–29.

<https://doi.org/10.1056/NEJMoa2107058>.