

MODUS-COVID Bericht vom 11.09.2020

Sebastian Alexander Müller¹, William Charlton¹, Natasa Djurdjevac Conrad², Ricardo Ewert¹, Tim Conrad², Kai Nagel¹, Christof Schütte²

¹Verkehrssystemplanung und Verkehrstelematik (“VSP”), TU Berlin,
nagel@vsp.tu-berlin.de

²Zuse-Institut Berlin (“ZIB”)

Available online via TU Berlin repository: <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10553>

Date of this version: 11-september-2020

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 11.09.2020

Zusammenfassung

Seit dem letzten Bericht haben wir uns eingehend mit den modelltechnischen Konsequenzen von Aerosolen als Ausbreitungsmechanismus von SARS-2 beschäftigt. Wir fassen unseren derzeitigen Stand des Verständnisses in “Überschlägigen Regeln” (siehe nächsten Abschnitt) zusammen, mit denen sich Wirkungen von Maßnahmen in einer Art Baukastensystem überschlägig berechnen lassen.

Bzgl. Schulen kommen wir wie in den vorherigen Berichten weiterhin zu dem Schluss, dass Infektionen in Schulen keinen besonders großen direkten Einfluss auf die gesamte Infektionsdynamik haben; Masken, häufiges Lüften und notfalls (deutlich) reduzierte Teilnehmerzahlen würden die verbleibenden Infektionen auf eine für die Gesamtdynamik irrelevante Menge reduzieren.¹

Deutlicher Treiber des Infektionsgeschehens ist der Freizeitbereich. Insbesondere nach der saisonbedingten Verlagerung von Aktivitäten in Innenräume erwarten wir drei in etwa gleich relevante Aktivitätenkategorien: “Ausgehen (Restaurants/Cafes/etc.)”, “Familienfeiern” sowie “private Besuche”. Jeder einzelne dieser Bereiche generiert nach unseren aktuellen Modellrechnungen in etwa so viele Infektionen wie der Beitrag der Bildungseinrichtungen auf die Infektionsdynamik insgesamt. Eine Infektionsreduzierung in diesen Bereichen erscheint schwierig, muss aber gelingen, um das System der Kontaktnachverfolgung nicht zu überfordern.

¹ Es bleibt die Möglichkeit eines starken indirekten Einflusses, nämlich dass Schulschließungen die Eltern ins Homeoffice zwingt.

Überschlägige Regeln

Inzwischen gibt es eine Vielzahl von Aussagen und daraus resultierende Regeln zur Eindämmung von SARS-2. Im folgenden schlagen wir eine systematischere Einordnung dieser Regeln vor. Diese sind als Baukastensystem gemeint, im Sinne einer möglichen Kombination der verschiedenen Ideen². Als Beispiel kann man eine Veranstaltung von draußen nach drinnen verlegen, mit dem Effekt der Erwartung einer Verzehnfachung der Ansteckungen. In der Kombination mit dem Verzicht auf Singen/Anfeuern/Brüllen während dieser Veranstaltung reduzieren sich die Ansteckungen aber wieder um einen Faktor 10. Alternativ könnte man in der Gesamtrechnung auch einen Baustein einfügen, der dem betrachteten Innenraum eine mechanische Lüftung hinzufügt, was (bei entsprechender Qualität der Lüftung) eine ähnliche Reduktion ergibt. Usw.

Es sollte klar sein, dass dies nur ungefähre Richtwerte sind, die mit Bedacht angewandt werden müssen.³ Weiterhin würden sie optimalerweise durch andere Experten bestätigt – falls es dort andere Erkenntnisse gibt, würden wir diese sehr gerne hören.

Im folgenden listen wir die von uns zur Zeit betrachteten Bausteine:

Bausteine	Ungefähre Veränderung der Anzahl der Ansteckungen	Quelle
Aktivitäten von draußen nach drinnen verlagern	10 x <i>mehr</i> Ansteckungen	Vgl. Nishiura et al (2020)
Lautes Singen/Anfeuern/Brüllen (statt normalem Atmen)	10 x <i>mehr</i> Ansteckungen	Vgl. Mürbe et al (2020)
Mechanische Lüftung von Innenräumen (statt "normaler" = "seltener" Fensterlüftung)	10 x <i>weniger</i> Ansteckungen	Dies ergibt sich z.B. aus Hartmann und Kriegel (2020)
90% tragen Stoffmasken (statt gar keine Masken)	3 x <i>weniger</i> Ansteckungen	Vgl. Eikenberry et al (2020), Chu et al (2020)
90% tragen FFP2 Masken (statt Stoffmasken)	3 x <i>weniger</i> Ansteckungen	Vgl. Eikenberry et al (2020), Chu et al (2020)
Personen stehen (für längere Zeit) 10x so eng (pro Fläche)	10 x <i>mehr</i> Ansteckungen	Dies ergibt sich z.B. aus Hartmann und Kriegel (2020)
Aufenthaltsdauer in einem ansteckenden Bereich halbiert	2 x <i>weniger</i> Ansteckungen	Dies ergibt sich z.B. aus Smieszek (2009)

² Es ist zu beachten, dass es in der Praxis nicht immer möglich ist, mit einem weiteren Baustein eine zusätzliche deutliche Wirkung zu erreichen. Nach aktuellem Verständnis gehen die Infektionen gegen 0, wenn Personen sich draußen aufhalten, Abstände einhalten und die Luft in Bewegung ist. In dieser Situation würde das Tragen von Masken keinen nennenswerten Beitrag mehr leisten.

³ Z.B. verringert sich die Wirkung von Masken erheblich, wenn diese falsch getragen werden.

In eigener Sache

Seit dem letzten Bericht haben wir unser Simulations-Modell durch den Einbau von unterschiedlichen Raumgrößen/Luftaustauschraten je nach Aktivitätstyp verbessert (im Gegensatz zu einer Standard-Raumgröße/-Luftaustauschrate in den vorherigen Versionen). Dies führt unserer Meinung nach zu realistischeren – und damit leicht veränderten – Resultaten als bisher.

Insbesondere an solchen Gelenkstellen wird deutlich, dass wir in unseren Berichten nicht immer alle Modellannahmen aufzählen (auch wenn die Anzahl der Fußnoten und Quellenangaben sich im Verlauf der Berichte bereits erhöht hat). Wir sind damit dem Vorgehen bei der Wettervorhersage gefolgt, welche (unserem Verständnis nach) zunächst erstmal versucht, die bestmögliche Vorhersage zu machen, ohne den Leser*innen jedes Mal eine lange Liste von Modellannahmen vorzulegen.

Wir machen dies vor allem, um die Lesbarkeit zu verbessern – weitere Details finden sich immer in den referenzierten Seiten auf <https://covid-sim.info/>. Und wir sind dabei, unsere Methodik und Resultate zu veröffentlichen, siehe z.B. Müller et al. (2020).

Aerosol-Infektionen

Wir betreiben keine eigenständige Forschung über Infektionswege. Andererseits sind diese zwingender Input für unsere Modelle, weshalb wir uns mit der entsprechenden wissenschaftlichen Literatur auseinandersetzen, Hintergrundgespräche führen und darauf basierende Hypothesen in unseren Simulationen testen. Derzeit halten wir folgende Überlegungen für plausibel:

- Es erscheint derzeit in einem weiten Teil der wissenschaftlichen Literatur Konsens zu sein, dass ein erheblicher Teil der Infektionen durch Aerosole stattfindet. Dies sind sehr kleine und leichte Teilchen, die mit der Luft mitbewegt werden. Auch in die Umgebung eingetragene genügend kleine Tröpfchen werden sehr schnell (in weniger als 1 Sekunde) zu Aerosolen. Diese Tröpfchen entstehen auch beim Atmen, vor allem aber beim lauten Sprechen/lauten Singen/lauten Anfeuern/lauten Brüllen.
- In Räumen ohne Belüftung reichern sich diese Aerosole an.

Für ein sogenanntes Cluster-Event, also viele Infektionen auf der gleichen Veranstaltung, sind daher folgende Voraussetzungen nötig:

1. Einen Raum mit "schlechter Luft".
2. Eine infizierte Person, welche (insbes. durch lautes Sprechen etc.) über einen genügend langen Zeitraum virales Material in diese Luft abgibt.
3. Viele andere infizierbare Personen, welche sich lange genug in diesem Raum aufhalten.

Etwas überraschend verstärken physiologische Unterschiede (sogenannte "Superspreader") den Effekt, aber sie scheinen nicht ursächlich zu sein. "Superspreading" liegt also nicht so sehr in der Person, sondern eher in der Interaktion zwischen Übertragungsmechanismus (=Aerosole) und den Umständen. Für "schlechte Luft" benötigt man wiederum zwei Voraussetzungen:

- A. Eher kleine Räume mit hoher Personendichte.
- B. Keinen ausreichenden Luftaustausch.

Daraus folgt, dass jede Ansammlung vieler Personen in kleinen, schlecht belüfteten und gleichzeitig lauten Räumen potentiell problematisch ist. Dies sind Restaurants, Kneipen,

Diskotheiken, Feiern in Privatwohnungen, usw. Daher ist es nicht überraschend, dass viele nachgewiesene Infektionscluster aus solchen Situationen entstanden sind. Zur Abgrenzung ein paar Überlegungen:

- In Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs (einschl. Fernbahn, Flugzeuge) ist die Personendichte ähnlich hoch, wobei die meisten dieser Fahrzeuge über eine maschinelle Belüftung verfügen, die für einen hohen Luftaustausch sorgt; Masken leisten einen weiteren Beitrag; und üblicherweise wird nicht laut gebrüllt.
- In Schulen dürften oft nur die Lehrer*innen genug sprechen, um obiges Kriterium 2. zu erfüllen. Masken leisten einen weiteren Beitrag.
- An den meisten Arbeitsplätzen sowie in den meisten Haushalten ist die Personendichte bezogen auf die Raumgröße deutlich niedriger. Weiterhin sind Bürogebäude teilweise maschinell belüftet. In Großraumbüros könnte man Masken tragen.

Berücksichtigung von Raumgröße, Luftaustausch, und altersabhängiger Ansteckungswahrscheinlichkeit

Bisher haben wir über alle Aktivitätentypen und Personen mit gleichen Ansteckungswahrscheinlichkeiten gerechnet. Nach ausführlichen Diskussionen mit der Arbeitsgruppe Kriegel an der TU Berlin (vgl. vor allem Hartmann und Kriegel 2020) haben wir nun den Einfluss von Raumgrößen sowie Raumlüftung berücksichtigt:

- Befindet sich eine ansteckende Person in einem Raum, so ergibt sich entsprechend dem oben diskutierten Aerosol-Ansteckungsmodell bei halber Raumgröße eine doppelt so große Viruskonzentration in der Raumluft und damit eine in etwa doppelt so hohe Ansteckungswahrscheinlichkeit pro Person.⁴
- Wird dieser Raum doppelt so gut gelüftet wie andere (gemessen als Luftwechselrate), so halbiert sich diese Viruskonzentration wiederum. Hierbei ist manuelle Lüftung durch häufige Fensteröffnung hilfreich, aber nochmals deutlich besser ist ein maschineller Luftaustausch.

Besonders kleine Räume (bezogen auf die Personenzahl pro Fläche) sind u.a. typisch bei Restaurants, Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs und Schulen. In vielen (aber leider nicht allen) Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs befindet sich eine gute maschinelle Lüftung, die das ausgleicht. Bei Restaurants sowie Schulen ist dies eher selten der Fall.

Weiterhin haben wir die Virusabgabe ansteckender Kinder/Jugendlicher (bis 20J) gegenüber Erwachsenen auf 85% gesenkt, sowie die Wahrscheinlichkeit, dass Kinder/Jugendliche sich in einer Aerosolwolke einer bestimmten Konzentration anstecken, gegenüber Erwachsenen auf 45% gesenkt (Dattner u. a. 2020). Diese mögliche Absenkung wird in der aktuellen Literatur viel diskutiert, ohne dass sich ein einheitliches Bild ergibt. Es finden sich aber wiederholt Hinweise, dass die potentiell reduzierten Ansteckungswahrscheinlichkeiten durch das Verhalten der Kinder (keine Abstände etc.) nahezu kompensiert würden (Jones u. a. 2020; Viner u. a. 2020; Boast, Munro, und Goldstein 2020; Rey 2020). In unserem Modell werden die geringen Abstände durch die Raumgröße nun allerdings direkt integriert. Daher haben wir auch diese reduzierten Ansteckungswahrscheinlichkeiten explizit im Modell berücksichtigt.

⁴ Möglicherweise befinden sich in dem Raum dann auch nur halb so viele Personen, aber die Anzahl von Personen, die sich zu unterschiedlichen Zeiten in einem Raum befinden, berücksichtigt unser Modell ja bereits aufgrund seiner Eingangsdaten.

Wir haben separate Simulationsläufe mit und ohne diese reduzierten Ansteckungswahrscheinlichkeiten gestartet – beide mit dem neuen Raumgrößen- und Luftaustausch-Modell. *Ohne* die reduzierten Ansteckungswahrscheinlichkeiten ergibt sich im Modell ein deutlicher Anstieg der Infektionszahlen aufgrund der Schulöffnungen in Berlin ab dem 10.8.2020 (Fig. 1). Da dieser Effekt in den bisherigen Infektionszahlen des RKI nicht zu erkennen ist, halten wir unser Vorgehen, die engen Schulräume bei Covid-19 durch eine reduzierte Infektionswahrscheinlichkeit bei Schülern teilweise zu kompensieren, für gerechtfertigt (vgl. Fig. 2). Durch diese Annahme ergibt sich in unseren Simulationen immer noch eine stärkere Wirkung von Schulöffnungen auf die Infektionsdynamik als im bisherigen Modell.

Maßnahmenpakete

Die Zusammenfassung der im obigen Text beschriebenen Risikofaktoren ist wie folgt:

- Veranstaltungen, die in Innenräumen stattfinden statt draußen.
- Hohe Personendichten/geringe Abstände.
- Veranstaltungen, die in eher kleinen Räumen stattfinden.
- Veranstaltungen in Räumen ohne maschinelle Lüftung.
- Veranstaltungen, bei denen laut gesprochen/gesungen/gebrüllt wird.
- Veranstaltungen, die lange dauern (>15min).
- Veranstaltungen, bei denen keine Masken getragen werden.

Je mehr dieser Risikofaktoren zusammenkommen, desto höher ist die Relevanz für die Infektionsdynamik.⁵ Daraus ergibt sich, dass möglichst viele dieser Faktoren entschärft werden müssen, wenn die Infektionszahlen über den Winter niedrig gehalten werden sollen. Das ist insbesondere von höchster Relevanz, um das System der Kontaktnachverfolgung nicht zu überfordern. Unsere Intuition ist, dass die derzeitigen 50 Neuinfektionen pro 100.000 Einwohner innerhalb von 7 Tagen hier eher eine Obergrenze sind, damit diese Überlastung gerade noch verhindert werden kann. Dies müsste mit Vertreter*innen der Gesundheitsämter diskutiert werden.

Unsere Simulationen ergeben konsistent, dass der Bereich "Freizeit" im Winter der größte Treiber der Infektionsdynamik wird (Fig. 5). Leider differenzieren unsere Eingangsdaten hier nicht weiter, aber man kann die Zeitverwendungsstudie des Statistischen Bundesamtes zur Hilfe nehmen (Statistisches Bundesamt 2015). Problematisch sind Aktivitäten, die möglichst viele der obigen Risikofaktoren erfüllen, und bei denen die Bevölkerung im Mittel viel Zeit verbringt. Im Freizeitbereich sind dies vor allem:

- Besuche von Restaurants, Cafes, etc.
- Besuche von Freunden
- Familienfeiern

Alle diese Aktivitäten erfüllen, wenn sie in Innenräumen stattfinden, alle obigen Risikofaktoren. Unsere aktuellen Studien zeigen, dass alle drei Aktivitätentypen die Infektionsdynamik in ähnlichem Maße treiben. Ein Vergleich zeigt, dass dabei *jeder einzelne* dieser Aktivitätentypen in der Mitte des Winters einen gleich großen Einfluss auf die Infektionsdynamik wie der Bereich "Kiga/Schule/Uni" haben wird (!, siehe auch Fig. 5). Die vollständige Schließung der Schulen wird dann also in Bezug auf Infektionsreduzierung genauso viel (oder wenig) bringen wie die

⁵ Eine Veranstaltung draußen mit leichtem Wind und mit 3m Abstand zwischen den Personen hat kein großes Risiko. Hat man stattdessen hohe Personendichten und starke Lautäußerungen, dann dürfte es sich um einen Grenzfall halten. Verlegt man sie in einen ungelüfteten Innenraum, so ist sie sicher im problematischen Bereich.

Schließung aller Restaurants/Cafes/etc., *oder* der vollständige Verzicht auf Familienfeiern, *oder* der vollständige Verzicht auf Besuche von Freunden, soweit diese Aktivitäten in nicht maschinell belüfteten Innenräumen stattfinden. Daraus können folgende Schlussfolgerungen gefasst werden:

- A. Spätestens nach der Einführung von Maskenpflicht, Lüften alle 15min, Ausdünnung der Schulbesuche auf $\frac{1}{2}$ sind die Schulen kein direkter Treiber der Infektionsdynamik mehr.⁶
- B. Ähnliches gilt für Infektionen am Arbeitsplatz, soweit entweder Masken getragen oder Einzelzimmer benutzt werden.
- C. In Restaurants, Cafes etc. lässt sich, wenn man Schließungen vermeiden möchte, noch folgendes tun:
 - a. Reduktion der maximal zulässigen Personenzahl, z.B. auf $\frac{1}{3}$ der normal zugelassenen Personenzahl. Dies ist z.B. in NRW bei großen Einrichtungen der Fall; es wäre sinnvoll, dies auch auf kleinere Einrichtungen auszudehnen. Dass dies eine einseitig epidemiologische Sicht ist, ist uns bewusst.
 - b. Identifikation maschinell belüfteter Restaurants/Cafes/etc. und Vergabe von Ausnahmegenehmigungen für diese.
- D. Familienfeiern können nach Wichtigkeit und nach Anzahl der Gäste differenziert werden, wie es auch jetzt schon getan wird. Bevorzugt sollten sie in maschinell belüfteten Räumlichkeiten durchgeführt werden. Wichtig sind auch gut geführte Kontaktlisten, um die Nachverfolgung zu ermöglichen.⁷
- E. Ähnliches gilt für Besuche von Freunden. Auch hier sollten die Kontaktlisten gut geführt werden, um wenigstens die Kontaktnachverfolgung zu verbessern und zu beschleunigen.⁸

⁶ Ein verbleibender Effekt entsteht vermutlich noch dadurch, dass Schulschließungen Eltern im Homeoffice binden, und damit indirekt die Infektionsdynamik an den Arbeitsplätzen reduziert.

⁷ Die Berliner Infektionsverordnung schreibt einen Mindestabstand von 1.5 Metern vor. Dies bedeutet eine notwendige Grundfläche von ca. 10qm pro Person (einschließlich Bewegungsspielraum). In einer Wohnung von 100qm dürfen sich also maximal 10 Personen aufhalten, die sich auch noch gleichmäßig über die verfügbaren Räume verteilen müssen.

⁸ Siehe auch die vorherige Fußnote.

Material

Simulationsresultate und weitere Erläuterungen zu diesem Material befinden sich unter: <https://covid-sim.info/2020-09-11/bmbf> .

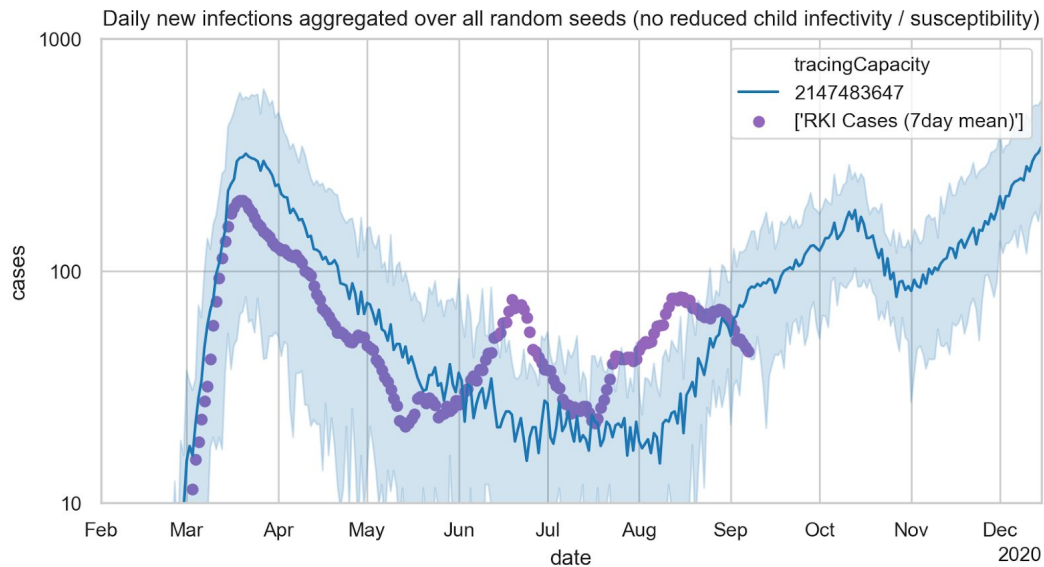


Figure 1: Entwicklung der Infektionszahlen mit einem Modell, welches die hohe Personendichte in Klassenzimmern berücksichtigt, aber keine reduzierte Infektionswahrscheinlichkeit für Kinder und Jugendliche ansetzt. Man sieht, wie die Infektionszahlen ab Mitte August deutlich nach oben gehen (blaue Linie). In den realen Infektionszahlen (violette Punkte) sieht man zwar Schwankungen in gleicher Größenordnung, aber dezidiert keinen entsprechenden Anstieg Mitte August. Dieses Modell erscheint aufgrund der realen Infektionszahlen nicht plausibel.

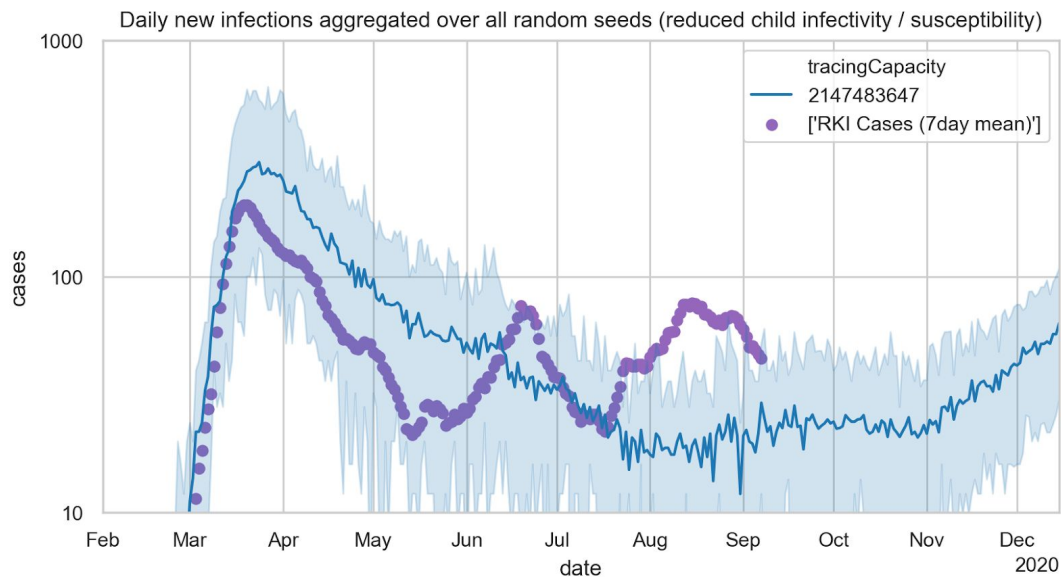


Figure 2: Entwicklung der Infektionszahlen in einem Modell, welches die hohe Personendichte in Klassenzimmern berücksichtigt, andererseits aber eine reduzierte Infektionswahrscheinlichkeit für Kinder und Jugendliche ansetzt. Man sieht nur einen leichten "Knick" Mitte August als Konsequenz der Schulöffnungen (blaue Linie). Violette Punkte: Anzahl Neuinfektionen in Berlin lt. RKI.

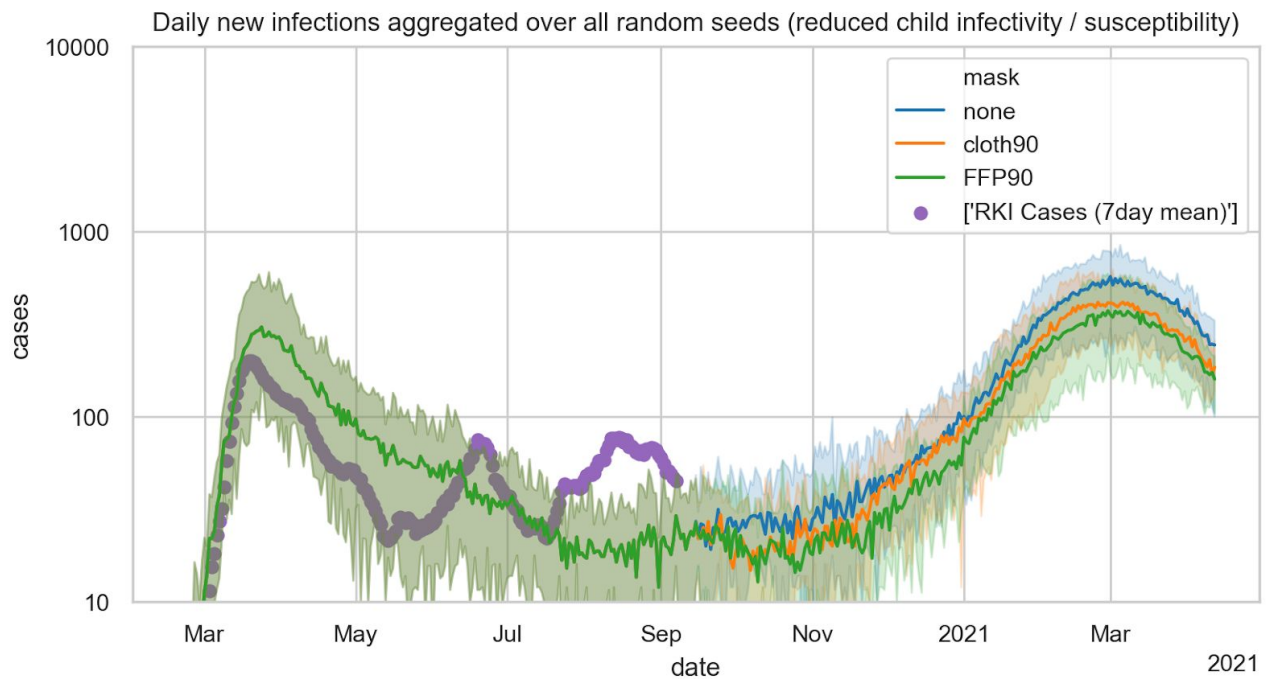


Figure 3: Vorhersage für drei unterschiedliche Maßnahmen "keine Masken" (blau), "90% der Zeit werden Stoffmasken getragen" (orange), "90% der Zeit werden FFP2-Masken ordnungsgemäß getragen" (grün) ab dem 14. September. Man sieht deutliche Unterschiede, aber der Anstieg der Infektionszahlen im Winter kann mit diesen Maßnahmen allein nicht vermieden werden. Violette Punkte: Anzahl Neuinfektionen in Berlin lt. RKI.

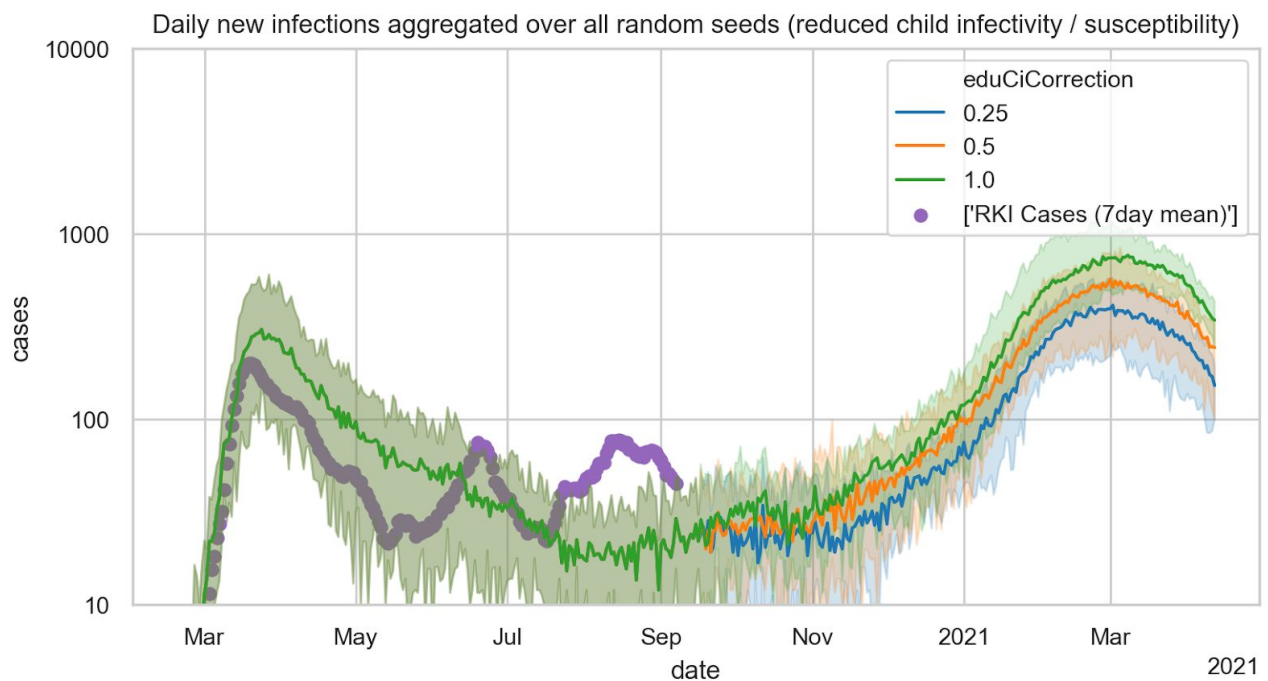


Figure 4: Vorhersage für drei unterschiedliche Maßnahmen "Lüften alle 45min" (orange), "normales (also noch selteneres) Lüften" (grün), "Lüften alle 15min" (blau) ab dem 14. September. Man sieht deutliche Unterschiede, aber der Anstieg der Infektionszahlen im Winter kann mit diesen Maßnahmen allein nicht vermieden werden. Violette Punkte: Anzahl Neuinfektionen in Berlin lt. RKI.

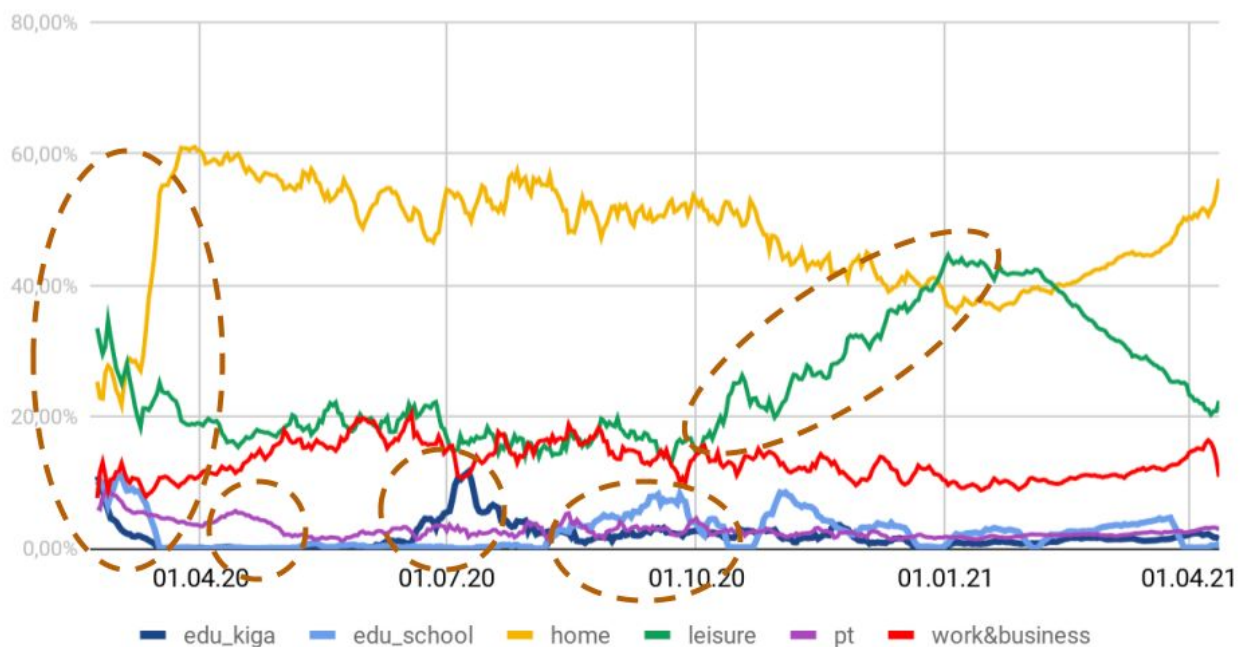


Figure 5: Relative *Anteile* ausgewählter Aktivitätentypen am Infektionsgeschehen in unserer Simulation. Man sieht zunächst, wie im März der Anteil der Haushaltsinfektionen (gelb) stark ansteigt und gleichzeitig diejenigen im Bereich Freizeit (“leisure”, grün), Schulen/Kindergärten (“edu_school/_kiga”, hellblau/dunkelblau) zurückgehen, als Folge der Reduktion der entsprechenden Aktivitäten. Ende April sinken die Infektionszahlen im öffentlichen Verkehr (violett), wegen der Einführung der Maskenpflicht. Anfang Juli steigen die Infektionszahlen in Kindergärten nach deren Wiederöffnung (dunkelblau). Ab Mitte August steigen die Infektionszahlen in Schulen nach deren Wiederöffnung (hellblau); es gibt eine kurze Unterbrechung während der Herbstferien. Ab Anfang Oktober steigt sehr deutlich der Anteil der Infektionen im Freizeitbereich, wegen der Verlagerung dieser Aktivitäten in Innenräume. Als Resultat dieses letzten Anstiegs steigt die Gesamtzahl der Infektionen an (vgl. Fig. 3 und Fig. 4).

Literatur

- Boast, Alison, Alisdair Munro, und Henry Goldstein. 2020. „An evidence summary of Paediatric COVID-19 literature“. 3. April 2020. <https://doi.org/10.31440/DFTB.24063>.
- Chu, Derek K., Elie A. Akl, Stephanie Duda, Karla Solo, Sally Yaacoub, Holger J. Schünemann, Derek K. Chu, u. a. 2020. „Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis“. *The Lancet* 395 (10242): 1973–87. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)31142-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)31142-9).
- Dattner, Itai, Yair Goldberg, Guy Katriel, Rami Yaari, Nurit Gal, Yoav Miron, Arnona Ziv, Yoram Hamo, und 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>.
- Eikenberry, Steffen E., Marina Mancuso, Enahoro Iboi, Tin Phan, Keenan Eikenberry, Yang Kuang, Eric Kostelich, und Abba B. Gumel. 2020. „To Mask or Not to Mask: Modeling the Potential for Face Mask Use by the General Public to Curtail the COVID-19 Pandemic“.

- Infectious Disease Modelling* 5 (April): 293–308. <https://doi.org/10.1016/j.idm.2020.04.001>.
- Hartmann, Anne, und Martin Kriegel. 2020. „Parameter study for risk assessment in internal spaces regarding aerosols loaded with virus“. Technische Universität Berlin. <https://doi.org/10.14279/DEPOSITONCE-10415>.
- Jones, Terry C., Barbara Mühlemann, Talitha Veith, Guido Biele, Marta Zuchowski, Jörg Hoffmann, Angela Stein, Anke Edelmann, Victor Max Corman, und Christian Drosten. 2020. „An analysis of SARS-CoV-2 viral load by patient age“. *Infectious Diseases (except HIV/AIDS)*. medRxiv. <https://doi.org/10.1101/2020.06.08.20125484>.
- Müller, Sebastian A., Michael Balmer, Billy Charlton, Ricardo Ewert, Andreas Neumann, Christian Rakow, Tilmann Schlenker, und Kai Nagel. 2020. „Using mobile phone data for epidemiological simulations of lockdowns: government interventions, behavioral changes, and resulting changes of reinfections“. *Epidemiology*. medRxiv. <https://doi.org/10.1101/2020.07.22.20160093>.
- Mürbe, Dirk, Mario Fleischer, Julia Lange, Hansjörg Rotheudt, und Martin Kriegel. 2020. „Erhöhung der Aerosolbildung beim professionellen Singen“. Technische Universität Berlin. <https://doi.org/10.14279/DEPOSITONCE-10374.2>.
- Nishiura, Hiroshi, Hitoshi Oshitani, Tetsuro Kobayashi, Tomoya Saito, Tomimasa Sunagawa, Tamano Matsui, Takaji Wakita, MHLW COVID-19 Response Team, und Motoi Suzuki. 2020. „Closed environments facilitate secondary transmission of coronavirus disease 2019 (COVID-19)“. *Epidemiology*. medRxiv. <https://doi.org/10.1101/2020.02.28.20029272>.
- Rey, G. U. 2020. „The role of children in transmission of SARS-CoV-2“. 2. Juli 2020. <https://www.virology.ws/2020/07/02/the-role-of-children-in-transmission-of-sars-cov-2/>.
- Smieszek, Timo. 2009. „A Mechanistic Model of Infection: Why Duration and Intensity of Contacts Should Be Included in Models of Disease Spread“. *Theoretical Biology & Medical Modelling* 6 (November): 25. <https://doi.org/10.1186/1742-4682-6-25>.
- Statistisches Bundesamt. 2015. „Zeitverwendungserhebung 2012/13“. <https://doi.org/10.21242/63911.2013.00.00.3.1.0>.
- Viner, Russell M., Oliver T. Mytton, Chris Bonell, G. J. Melendez-Torres, Joseph L. Ward, Lee Hudson, Claire Waddington, u. a. 2020. „Susceptibility to and transmission of COVID-19 amongst children and adolescents compared with adults: a systematic review and meta-analysis“. *Public and Global Health*. medRxiv. <https://doi.org/10.1101/2020.05.20.20108126>.