

MODUS-COVID Bericht vom 02.10.2020

Sebastian Alexander Müller¹, William Charlton¹, Natasa Djurdjevac Conrad², Ricardo Ewert¹, Christian Rakow¹, Hanna Wulkow², 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-10624>

Date of this version: 02-october-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 02.10.2020:

Zusammenfassung

- Für die Bereiche Schulen, Kindergärten, Universitäten, Arbeit, öffentlicher Verkehr, Einkaufen sowie Freizeitaktivitäten an frischer Luft halten wir die Beiträge zur Infektionsdynamik durch entsprechende Maßnahmen für soweit reduzierbar, dass sie keinen deutlichen Beitrag zur Gesamtdynamik der Infektion mehr leisten. Ob die Maßnahmen dann im Einzelfall eingesetzt werden, kann von der lokalen Situation abhängig gemacht werden.
- Bei Aktivitäten in geschlossenen Räumen ergeben unsere Simulationen, dass wir uns weniger auf die absolute Größe der Veranstaltungen und mehr auf die Personendichte konzentrieren sollten: Veranstaltungen in Innenräumen mit hoher Personendichte sind problematisch, unabhängig von deren Größe. Anstatt solche Veranstaltungen ganz zu verbieten, empfehlen wir, deren Dichte zu reduzieren, z.B. durch entsprechende Auflagen oder Informationskampagnen.
- Eine Verlängerung der Außensaison bei Restaurants etc. z.B. durch Heizstrahler ist aus epidemiologischer Sicht sinnvoll.
- Die mathematischen Modelle bestätigen die Nichtlinearität der Maßnahmen: Möglichst viele Maßnahmen, die evtl. nicht perfekt durchgesetzt werden, helfen besser als wenige Maßnahmen, die perfekt durchgesetzt werden.
- Eine Anstrengung, um bessere Daten zu erlangen, wäre hilfreich, um unsere Modelle besser zu kalibrieren. Wir machen Vorschläge.

Allgemeine Einschätzung

Unsere Modelle unterscheiden nach Aktivitätentypen, wie z.B. "zu Hause", "Arbeit", "Schulen", etc.

Jeder dieser Aktivitätentypen hat eine bestimmte Beteiligung am Infektionsgeschehen. Diese Beteiligung ergibt sich in erster Linie aus dem Produkt von dort im Mittel verbrachter Zeit und der "Kontaktintensität". Ersteres ergibt sich direkt aus unseren Modellen, für zweiteres benötigen wir Abschätzungen, die wir für unseren letzten Bericht deutlich differenziert und dort beschrieben haben. Bzgl. der einzelnen Aktivitätentypen ergeben sich für deren Wirkung auf die Gesamtdynamik folgende Einschätzungen:

1. **Schulen:** Wenn in Schulen systematisch gelüftet wird und Gesichtsmasken auch im Unterricht getragen werden, dann ist der verbleibende Einfluss auf die Gesamtdynamik gering.¹ Im Notfall könnte der Schulbetrieb noch auf Schulbesuche an alternierenden Tagen mit jeweils halbierten Klassenstärken eingeschränkt werden. Eine weitere Reduktion des Schulbetriebs darüber hinaus hätte unserer Einschätzung nach keine zusätzlich deutlich reduzierende Wirkung auf die Gesamtdynamik. – **Wir empfehlen** also eine Ausdehnung der Maskenpflicht, nochmals häufigeres Lüften sowie notfalls eine "Ausdünnung" des Schulbesuches als zu planende Maßnahmen, die im Bedarfsfall eingeleitet werden können.
2. **Kindergärten:** Hier gilt das Gleiche. Ob Schutzmasken hier eine Möglichkeit sind, können wir nicht beurteilen. Die beiden anderen Möglichkeiten bleiben bestehen. – **Wir empfehlen** also die unter "Schulen" genannten Maßnahmen.
3. **Universitäten:** Alle Universitäten in Berlin bereiten ein weitgehend virtuelles Wintersemester vor. Dies geht so auch in unsere Simulationen ein und die Universitäten leisten dementsprechend keinen Beitrag zur Infektionsdynamik.
4. **Arbeit:** Wenn die Arbeit entweder im Einzelzimmer durchgeführt wird, Gesichtsmasken getragen werden, oder die Räumlichkeiten maschinell belüftet werden,² dann ist der verbleibende Einfluss auf die Gesamtdynamik gering.³ – Man beachte, dass eine Schließung von Schulen und Kindergärten Eltern zu Hause bindet. Wir müssen also erreichen, dass die Arbeitsplätze auch ohne den indirekten Zwangseffekt durch Schulschließungen die obigen Kriterien möglichst weitgehend erfüllen. – **Wir empfehlen** eine stärkere Schwerpunktsetzung auf obige Aspekte im Arbeitsschutz.

5. **Öffentlicher Verkehr:** Wenn im öffentlichen Verkehr Gesichtsmasken getragen werden, dann ist der verbleibende Einfluss auf die Infektionsdynamik gering. Dies gilt in Verbindung mit der im Mittel recht guten maschinellen Belüftung der Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs. – **Wir empfehlen** weiterhin eine Maskenpflicht. Auf eine Maskenpflicht an Bushaltestellen außerhalb von Tunneln kann evtl. verzichtet werden. In Fahrzeugen sollte

1 Eine Maskenpflicht nur auf den Wegen von und zum Sitzplatz erscheint uns als nicht ausreichend. Nach den uns vorliegenden Informationen müssen für eine Infektion sowohl die ansteckende also auch die ansteckbare Person lange genug im gleichen Raum sein.

2 Mit "maschineller Lüftung" meinen wir im gesamten Text ein maschinelles Lüftungssystem, welches auch bei niedrigen Temperaturen eine ausreichende Frischluftmenge zur Verfügung stellt (und nicht nur die Luft umwälzt) und das ausreichend für die maximale Personenanzahl im Raum dimensioniert ist. Je mehr Personen sich gleichzeitig im Raum befinden, desto leistungsfähiger muss die Lüftungsanlage sein. Es gibt für diese Lüftungssysteme entsprechende Standards; Fachleute wie Prof. Kriegel an der TU Berlin können dazu mehr sagen.

3 Eine Maskenpflicht nur auf den "Verkehrswegen", also zum und vom Arbeitsplatz, erscheint uns nicht ausreichend. Aus dem gleichen Grund wie bei den Schulen: Nach den uns vorliegenden Informationen entsteht ein virusbelastetes Luftgemisch vor allem in Räumen, in denen sich eine ansteckende Person lange genug aufgehalten hat. Eine zweite Person kann sich vor allem dann anstecken, wenn sie sich gleichzeitig oder später im gleichen Raum befindet.

die meist vorhandene maschinelle Lüftung (ohne Umluftfunktion) eingeschaltet sein.

6. **Einkaufen:** Wenn beim Einkaufen Gesichtsmasken getragen werden, dann ist der verbleibende Einfluss auf die Infektionsdynamik gering. – **Wir empfehlen** weiterhin eine Maskenpflicht.
7. **Freizeitaktivitäten an frischer Luft** sind im Normalfall unproblematisch. Unklar ist die Situation, wenn die Aktivität zwar an frischer Luft stattfindet, aber in großem Gedränge und mit lautem Sprechen oder Singen verbunden ist.

Bis hierhin ist also zu konstatieren, dass wir die Beiträge zur Infektionsdynamik für die bisher genannten Aktivitätentypen durch die o.g. Maßnahmen für soweit reduzierbar halten, dass sie keinen deutlichen Beitrag mehr leisten. Umgekehrt bedeutet dies auch, dass unsere Modelle sagen, dass eine weitere Reduktion über die o.g. Maßnahmen hinaus auch keinen weiteren deutlichen Beitrag mehr leisten wird. Statt also dort weitere Maßnahmen zu ergreifen, welche hohe Kosten und wenig zusätzliche Wirkung haben, erscheint es uns nötig, sich den verbleibenden Aktivitätentypen zuzuwenden:

8. **Freizeitaktivitäten in kommerziellen Innenräumen:** Hierunter fallen z.B. Restaurants, Clubs, viele Feiern, etc. – **Wir empfehlen:** (1) Eine weitere Aufklärung, dass Freizeitaktivitäten in nicht maschinell belüfteten Räumen problematisch sind, vgl. Fig. 1 und Fig. 2. (2) Identifikation und Markierung maschinell belüfteter Räumlichkeiten für entsprechende Aktivitäten. Dies könnte im Hinblick auf Ausnahmen für eventuell zu beschließende Einschränkungen geschehen, aber auch als Hinweis für die Kunden*innen. (3) Planung von Maßnahmen, um in nicht maschinell belüfteten Restaurants etc. im Bedarfsfall die Personendichte deutlich zu reduzieren. (4) **Eine vollständige Schließung von (Veranstaltungen in) großen Räumlichkeiten halten wir nach derzeitiger Faktenlage für kontraproduktiv** (siehe Abschnitt "Große Veranstaltungen"). Stattdessen ist es im Sinne der Infektionsdynamik vermutlich nicht nur akzeptabel, sondern sogar besser, die Räumlichkeiten bei deutlich reduzierter (z.B. gedrittelter) maximaler Personendichte weiterhin zu bespielen. (5) Im Sinne der Steuerungsmöglichkeiten halten wir es für problematisch, wenn in den Winter hinein große Veranstaltungen in nicht maschinell belüfteten Räumlichkeiten pauschal und ohne Absagemöglichkeit zugelassen werden.
9. **Freizeitaktivitäten in privaten Innenräumen:** Hierunter fallen sowohl private Feiern als auch gegenseitige Besuche. Beide haben einen etwa gleich großen Anteil an dort verbrachter Zeit; jeder dieser Anteile ist in etwa so groß wie der im vorherigen Punkt. Es handelt sich insgesamt um einen großen Anteil, für welchen auch noch zu erwarten ist, dass er in den Winter hinein zunehmend in Innenräume verlegt wird. – **Wir empfehlen:** (1) Weitere Aufklärung, dass gegenseitige Besuche oder Familienfeiern in nicht maschinell belüfteten Räumen problematisch sind, vgl. Abschnitt "Große Veranstaltungen" weiter unten. (2) Reorientierung der Empfehlungen in Richtung "Vermeidung hoher Personendichten" (= Vermeidung großer Feiern in kleinen Räumen). (3) "Ausdünnung" (also z.B. genauso viele Abendessen mit Freunden wie normal, aber nur noch halb so viele Teilnehmer*innen wie normal) wirkt fast genauso gut wie "totaler Verzicht". Die teilweise bereits bekannten Regeln scheinen dabei nicht so schlecht zu sein: Möglichst wenig Personen aus verschiedenen Haushalten im selben Raum. (4) Unserem Verständnis nach gibt es in privaten Räumen keinen Schwellenwert für Gästezahlen, unterhalb von dem Ansteckungen unwahrscheinlich sind.⁴

⁴ Masken oder kurze Aufenthaltsdauern reduzieren das Risiko deutlich, sind aber wohl eher für Handwerker*innen plausibel als für private Gäste. Fensterlüftung alle ½ h reduziert das Risiko ca. um einen Faktor 4, was aber bei privaten Gästen nicht ausreicht, um die Effekte von hoher Dichte, fehlender Maske und lautem Sprechen zu kompensieren.

Und am Schluss nochmals die Wiederholung, dass **erfolgreiche Kontaktnachverfolgung ein zentraler Baustein eines möglichst wenig restriktiven Regimes ist, aber das dies nur bei insgesamt niedrigen Infektionszahlen machbar ist.** Die Begründung für niedrige Infektionszahlen ergibt sich also in erster Linie aus den Notwendigkeiten der Kontaktnachverfolgung, und nicht so sehr aus den Krankenhauskapazitäten. Dies wird in der öffentlichen Diskussion nicht genügend beachtet.

So etwas wie die Berliner Corona-Ampel schlägt hier u.E. zu spät an. Zwar sind die Indikatoren "Krankenhausbetten", "Anzahl der Neuinfektionen" und "Anstieg der Neuinfektionen" plausibel. Ob die jeweiligen Schwellenwerte stimmen, muss mit den Praktiker*innen vor Ort abgestimmt werden. Aber was wir mit Sicherheit sagen können: Handlungsbedarf besteht bereits, wenn auch nur der Indikator der Neuinfektionen pro 100'000 Einwohner*innen überschritten wird. Denn dann droht die Kontaktnachverfolgung überfordert zu werden, und dies sollte u.E. nicht zugelassen werden, unabhängig von den anderen Indikatoren – wie wir derzeit ja sehen, sind immer höhere Zahlen von Neuinfektionen auch ohne hohe R-Werte möglich. Weiterhin ist darauf zu achten, dass die Aggregationsebenen vergleichbar sind: Wenn ein Landkreis typischerweise 300'000 Einwohner*innen hat, so sollten deutlich größere Städte bzgl. dieser Indikatoren in kleinere Gebietseinheiten aufgeteilt werden.

Öffentlicher Verkehr

In unserem agentenbasierten Modellen nutzen die synthetischen Personen Fahrzeuge, um von einer Aktivität zur nächsten zu gelangen. Ein Teil der Personen verwendet dabei Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs (ÖV). Wenn in einem solchen Fahrzeug eine infizierte Person auf eine gesunde Person trifft, dann kann es zu einer Ansteckung kommen. In unserem Modell tragen die synthetischen Personen Masken, wenn sie den ÖV benutzen. Die Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) stellen uns dabei netterweise Daten zur Befolgungsrate über die Zeit zur Verfügung, so dass auch dieser Parameter auf echten Daten basiert und nicht geschätzt werden muss.

Wir haben ausgewertet, welchen Anteil der ÖV in Berlin an der gesamten Infektionsdynamik hat und wie dieser Anteil aussähe, wenn die Fahrgäste keine Gesichtsmasken tragen (siehe [Fig. 3](#) im Anhang). Es wird deutlich, dass das Tragen von Gesichtsmasken dazu führt, dass die Infektionen im ÖV um ca. 70% reduziert werden und der ÖV in diesem Fall nur noch eine geringe Rolle für die Gesamtdynamik spielt. Wir gehen davon aus, dass die meisten Personen Stoffmasken tragen; ein Tragen von FFP2-Masken (ohne Ventil) würde die Infektionen nochmals reduzieren. **Es ist daher aus unserer Sicht notwendig, dass an der Maskenpflicht festgehalten wird und eine hohe Befolgungsrate (größer 90%) erreicht wird.**

Dies ist auch vor dem Hintergrund wichtig, dass eine Kontaktnachverfolgung durch die Gesundheitsämter im ÖV nahezu unmöglich ist.

Freizeitaktivitäten im Winter

Wir haben unser agentenbasiertes Modell genutzt, um auszuwerten, wie sich die Verlagerung von Freizeitaktivitäten von draußen nach drinnen auf die Gesamtdynamik auswirkt. Wie bereits im Bericht vom 24.07.20 (Müller et al. 2020) erwähnt, gehen wir in unserem Modell davon aus, dass im Sommer 80% der Freizeitaktivitäten draußen stattfinden und die Ansteckungswahrscheinlichkeit draußen zehnfach reduziert ist gegenüber drinnen. Wir schätzen, dass der Anteil der draußen stattfindenden Freizeitaktivitäten in einem "normalen Winter" auf 10% sinkt.

Unsere Simulationen zeigen, wie sich die Infektionszahlen bei einem milden Herbst und Frühling im Vergleich zu einem kalten Herbst und Frühling entwickeln und welche Auswirkung der Anteil der aushäusigen Freizeitaktivitäten hat (siehe <https://covid-sim.info/2020-10-01/bmbf>). Bezüglich der Maxima der Neuinfektionen wird deutlich: Selbst bei funktionierender Kontaktnachverfolgung ist diese in Szenarien, in denen im Winter nur noch noch 10% der Freizeitaktivitäten draußen stattfinden in etwa **1,5 mal so hoch** als wenn der Anteil bei 20 % liegt. Eine "kurze aber harte Wintersaison" mit mildem Herbst und Frühling reduziert dieses Maximum um ca. 25%. Generell zeigen unsere Simulationen, dass der Anteil der Infektionen im Freizeitbereich ab dem Herbst deutlich zunimmt verglichen mit der Situation im Sommer (siehe auch Fig. 4 im Anhang).

Aus unserer Sicht gilt daher die klare Empfehlung, Freizeitaktivitäten wenn möglich draußen stattfinden zu lassen. Daher ist der Einsatz von Außenraum-Heizungen, wie er im Moment diskutiert wird, ein sinnvoller Ansatz, um dieses Ziel zu erreichen. Unseres Erachtens sollten diese jedoch nach Möglichkeit elektrisch betrieben werden, da sie dann durch erneuerbare Energien versorgt werden könnten.

Große Veranstaltungen

Eine diskutierte und teilweise implementierte Maßnahme ist die Reduktion großer Veranstaltungen. Wir haben über viele Wochen versucht, den Effekt in der Simulation nachzuvollziehen, und haben immer wieder Resultate bekommen, die eine Verschiebung des Fokus nahelegen: von der Reduktion großer Veranstaltungen hin zur **Reduktion von Veranstaltungen mit hoher Personendichte** (alle anderen Aspekte, z.B. Lüftung oder Masken, bleiben unverändert). Da das der Intuition bzgl. Cluster-Events/Super-Spreading zu widersprechen scheint, hier zwei illustrative Szenarien:

Szenario 1:

Betrachten wir zwei ansonsten identische Veranstaltungen mit je 100 Teilnehmer*innen. Gehen wir weiterhin davon aus, dass sich auf einer der Veranstaltungen eine ansteckende Person befindet, die andere Personen mit einer Wahrscheinlichkeit von 20% ansteckt; also erwarten wir knapp 20 Neuinfektionen.⁵ Allerdings kann die Person zum Zeitpunkt der Veranstaltung nicht identifiziert werden. Nun betrachten wir zwei Maßnahmen und ihre Konsequenzen:

*Maßnahme 1: Eine der beiden Veranstaltungen wird abgesagt, alle Teilnehmer*innen dieser Veranstaltung bleiben stattdessen zu Hause.*

Konsequenz: Die Wahrscheinlichkeit, dass sich die ansteckende Person auf der verbleibenden Veranstaltung befindet, beträgt 50%. Wir erwarten also entweder knapp 20 oder 0 Neuinfektionen, im Mittel 10, eine Reduktion auf 50%.

*Maßnahme 2: Beide Veranstaltungen werden, in gleichen Räumen wie zuvor (!), auf je 50 Teilnehmer*innen reduziert, alle anderen Teilnehmer*innen bleiben stattdessen zu Hause.*

Konsequenzen:

(a) Die Wahrscheinlichkeit, dass die ansteckende Person zu Hause geblieben ist, beträgt 50%.

(b) Selbst wenn die ansteckende Person nicht zu Hause geblieben ist, trifft sie auf nur 49 weitere Teilnehmer*innen. 20 % davon sind knapp 10.

Wir erwarten also entweder 0 oder knapp 10 Neuinfektionen, im Mittel 5, eine Reduktion auf 25%.

Insgesamt:

Die zweite Maßnahme wirkt also doppelt so stark wie die erste, obwohl die gleiche Menge an Absagen involviert ist. !!!

⁵ "wir erwarten" ist gemeint als Erwartungswert im Sinne der Statistik.

Szenario 2:

Betrachten wir elf ansonsten identische Veranstaltungen, eine mit 100 Teilnehmer*innen, und zehn mit je 10 Teilnehmer*innen. Gehen wir weiterhin davon aus, dass sich auf einer der Veranstaltungen eine ansteckende Person befindet. Allerdings kann die Person zum Zeitpunkt der Veranstaltung nicht identifiziert werden.

Die Wahrscheinlichkeit, sich auf der großen Veranstaltung anzustecken, sei 5%; wir würden also knapp 5 Neuinfektionen erwarten.

Was nun folgt, ist die **Stelle, an der auch unsere Intuition fehlgeht**: Wenn die ansteckende Person nämlich auf einer der 10x kleineren Veranstaltungen ist, dann ist zu vermuten, dass **auch der Raum 10x kleiner ist**. Die Aerosolkonzentration, und damit die Wahrscheinlichkeit, sich anzustecken, werden also 10x größer, also 50%, wir würden also auch hier knapp 5 Neuinfektionen erwarten. Wie gesagt, auch bei uns geht das gegen die Intuition; unser Simulationsmodell hat uns hier aber jedes Mal korrigiert. Es ist die Konsequenz der Aerosol-Interpretation.

Wir erwarten also insgesamt knapp 5 Neuinfizierte.⁶ Man kann das auch als Gleichung schreiben:

$$5\% \times 50\% \times 10 + 5\% \times 50\% \times 10 + \dots + 50\% \times 5\% \times 100 = 5.$$

Nun betrachten wir wieder zwei Maßnahmen und ihre Konsequenzen:

Maßnahme 1: Absage der großen Veranstaltung.

Die ansteckende Person ist nun entweder mit 50%iger Wahrscheinlichkeit zu Hause, oder weiterhin mit je 5%iger Wahrscheinlichkeit auf einer der kleinen Veranstaltungen. Im Mittel ergibt das

$$5\% \times 50\% \times 10 + 5\% \times 50\% \times 10 + \dots + 50\% \times 5\% \times 0 = 2.5;$$

wir erwarten also im Mittel 2.5 Neuinfizierte.

*Maßnahme 2: Alle Veranstaltungen werden, in gleichen Räumen, auf die Hälfte der Teilnehmer*innen reduziert; alle anderen Teilnehmer*innen bleiben zu Hause.*

Die ansteckende Person ist nun entweder mit 50%iger Wahrscheinlichkeit zu Hause, oder mit 25%iger Wahrscheinlichkeit auf der großen Veranstaltung, oder mit je 2.5%iger Wahrscheinlichkeit auf einer der kleinen Veranstaltungen. Weiterhin trifft sie dort auf nur halb so viele Personen (nunmehr große Veranstaltung: 50 Teilnehmende, kleine Veranstaltung: 5 Teilnehmende). Es ergibt sich

$$2.5\% \times 50\% \times 5 + 2.5\% \times 50\% \times 5 + \dots + 25\% \times 5\% \times 50 = 1.25;$$

wir erwarten im Mittel also 1.25 Neuinfizierte.

Insgesamt:

Die zweite Maßnahme, welche die Teilnahme überall "verdünnt", wirkt also doppelt so gut wie die erste, welche einen Teil der Veranstaltungen ganz absagt, und den anderen Teil unverändert bestehen lässt. Wie gesagt, das entspricht auch nicht sofort unserer eigenen Intuition ...

⁶ Genau genommen müsste man die ansteckende Person von den Teilnehmerzahlen abziehen. Dies unterlassen wir, um die Rechnung zu vereinfachen, und fügen anschließend das "knapp" hinzu.

... es ergab sich aber wiederholt aus unseren Simulationen. Es lässt sich wie folgt plausibilisieren: Maßnahme 1 schließt einen Teil der Räume, es werden also Teilnahme und Flächen/Luftvolumina gleichermaßen verkleinert. Bei Maßnahme 2 werden die gleichen Räume genutzt; die Fläche/Luftvolumina pro Teilnehmer*innen verdoppeln sich also. Zusätzlich zum Effekt, dass 50%iges Zuhausebleiben 50% der Infektionen reduziert, kommt also der Effekt, dass die verbleibenden 50% Teilnehmer*innen auf doppelt so viel Fläche pro Person verteilt werden.

Konsequenz

Der Fokus sollte also weggehen von “Reduktion großer Veranstaltungen” und hin zu “Reduktion von Veranstaltungen mit hoher Teilnehmerdichte”. Bei gleicher Gesamtzahl an Teilnehmenden sind (wenige) große Veranstaltungen mit *geringer* Teilnehmerdichte vorzuziehen gegenüber (vielen) kleinen Veranstaltungen mit *hoher* Teilnehmerdichte.

Offenbar hat die Effektivität von Maßnahmen hier viel damit zu tun, wie die Betroffenen reagieren: Optimalerweise führt die Öffnung von großen Veranstaltungen mit geringer Teilnehmerdichte (z.B. große Sportereignisse) zu einer *Reduktion* der Teilnahme an Veranstaltungen mit hoher Teilnehmerdichte (z.B. *gemeinsames* Anschauen des Sportereignisses in Kneipe/zu Hause; substitutiv). Im schlechten Fall führt es stattdessen zu einer *Erhöhung* der Teilnahme an Veranstaltungen mit hoher Teilnehmerdichte (z.B. Besuch von Kneipe/Restaurant *nach* Sportereignis). Aufgrund der Mobilitätsdaten halten wir den ersten Fall für wahrscheinlicher: Aus den Daten lässt sich eine Reduktion von Freizeitaktivitäten gegenüber normal ohnehin nicht mehr ablesen. Insofern ist zu erwarten, dass die Öffnung zusätzlicher Veranstaltungsorte in der Tat zu möglichst viel “Verdünnung der Personendichten” führen wird. Es ist darauf zu achten, dass auch der ÖV trotz der geringeren Teilnehmerzahlen entsprechend viele Fahrzeuge bereitstellt, so dass die Personendichte auch in den Fahrzeugen gering ist.

Im privaten Bereich dürften große Veranstaltungen mit geringer Teilnehmerdichte nur selten möglich sein. Insofern ist die Festlegung einer Maximalzahl von Teilnehmer*innen aus pragmatischer Sicht eine Möglichkeit. Genauer wäre eine Maximalzahl von Teilnehmer*innen in Abhängigkeit von der Raumgröße.

Ein praktischer Fall von Kontaktnachverfolgung

Ein Fall in unserem Bekanntenkreis verlief wie folgt:

- Tag 1: deutliche Symptome
- Tag 2: Kontakt zum Hausarzt
- Tag 3: Test
- Tage 4 & 5: Wochenende
- Tag 6: positives Testergebnis, Benachrichtigung von telefonisch erreichbaren Kontaktpersonen; *keine* Benachrichtigung von nicht erreichbaren Kontaktpersonen (auch keine Rückrufaufforderung).

Nach allen uns vorliegenden Erkenntnissen *ist dies zu langsam*. Nach Symptombeginn haben wir etwa zwei Tage, während derer selbst deutlich vor Symptombeginn infizierte Kontaktpersonen noch nicht selbst ansteckend sind. Spätestens an Tag 3 hätte die Benachrichtigung von Kontaktpersonen stattfinden müssen. Ein Stillstand des Verfahrens über das Wochenende ist aus epidemiologischer Sicht auf keinen Fall akzeptabel. Wir verstehen, dass verschiedene Belange, z.B. auch die der Familienfreundlichkeit eines Arbeitsverhältnisses, balanciert werden müssen. Aber wenn die Benachrichtigungen von Kontaktpersonen erst 6 Tage nach Symptombeginn erfolgt, dürften die meisten von ihnen, falls überhaupt infiziert, bereits mehrere Tage ansteckend gewesen sein, so dass ein großer Teil der möglichen positiven Wirkung der Kontaktnachverfolgung verpufft.

Verbindung von ODE und ABM Systemen

Wie in früheren Berichten geschildert, haben wir mit Simulationsdaten aus dem agentenbasierten Modell (ABM) gearbeitet, um Parameter unseres ODE-Modells (ODE = ordinary differential equation = gewöhnliche Differentialgleichung) möglichst gut zu berechnen (Parameterschätzung, auch "fitten" genannt). Die Datensätze aus Simulationen des ABM gehören jeweils zu einer der folgenden Maßnahmen-Kombinationen:

- 0, 50, 100 % Reduktion der Schulbesuche
- 0, 50, 100 % Maskentragen im ÖV und beim Einkaufen
- 0, 50, 100 % Contact Tracing

Daraus ergeben sich 27 Datensätze, für die jeweils eine ODE-Parameterschätzung durchgeführt wurden.⁷

Bei diesen Parameterschätzungen zeigt sich, dass das Verhalten des ODE-Modells für alle 27 Maßnahmen-Kombinationen mit guter Genauigkeit (ca. 10% relativer Fehler) an die ABM-Datensätze angepasst werden kann und dass dabei im Wesentlichen nur zwei Parameter des ODE-Modells, die Infektionsrate und der Parameter γ , der die Anzahl an Personen beschreibt, die pro symptomatischen Infizierten in Quarantäne gehen, an die jeweilige Maßnahmen-Kombination angepaßt werden müssen, während die anderen Parameter des ODE-Modells für alle 27 Maßnahmen-Kombinationen unverändert bleiben können. Wir haben also für alle 27 Maßnahmen-Kombinationen die beiden optimalen Parameterwerte für β und γ berechnet.

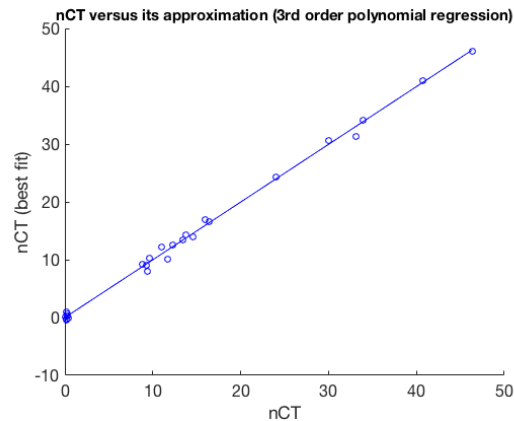
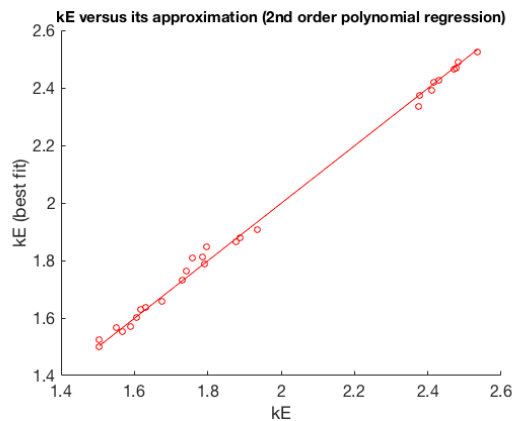
Die hier betrachteten Maßnahmen spannen einen durch drei Werte x, z, y bestimmten Maßnahmen-Raum auf:

$x\%$ Schulschließungen, $y\%$ Maskentragen, $z\%$ Contact Tracing

Zu jeder möglichen Maßnahmen-Kombination (x, y, z) gehören die optimalen Parameterwerte β und γ . Für diese beiden Parameterfunktionen auf dem Maßnahmenraum haben wir mit der obigen Parameterschätzung jeweils 27 Werte bestimmt. Nun würden wir gerne andere Werte der Funktion für bisher nicht betrachtete Maßnahmenkombinationen (x, y, z) bestimmen, ohne auf neue, sehr aufwändige ABM-Simulationen zurückgreifen zu müssen. Dazu bestimmen wir spezifische Formen der Funktionen und mittels polynomieller Regression (d.h. wir nehmen an, dass die beiden Funktionen im Maßnahmenraum als Polynome niedrigen Grads dargestellt werden können und bestimmen dann die Koeffizienten dieser Polynome).

Eine polynomielle Regression vom Grad 2 für die Infektionsrate und vom Grad 3 für den γ -Wert repliziert die jeweiligen Parameterwerte ausgezeichnet. Das bedeutet, wir haben eine Funktion, die uns für die 27 Kombinationen eine Approximation des wahren Wertes für β / γ zurückgibt. Visuell sieht man das hier:

⁷ Die ABM-Simulationen enthalten eine Zufallskomponente. Für jede der 27 Parameterkombinationen wurde daher über 50 gleiche Simulationen nur mit unterschiedlicher Zufallskomponente gemittelt.



Es liegen zwar nicht alle Punkte auf der roten bzw. blauen Linie (dann wäre der Fehler der Regression 0), aber die Abweichungen sind marginal.

Was bedeutet das?

Wir können diese Funktion nun verwenden, um auch unbekannte Maßnahmenkombinationen zu approximieren (vgl. Fig. 5 und Fig. 6). Dann können wir das ODE-Modell benutzen, um Vorhersagen für die Infektionszahlen bei bestimmten Maßnahmen zu machen, ohne das ABM bemühen zu müssen, dessen Rechenaufwand sehr viel größer ist. Das eröffnet erstmals die Möglichkeit, mittels der ODE die *optimale Maßnahmen-Kombination* zur Eindämmung des Infektionsgeschehens zu berechnen, da nun (aufgrund des geringen Rechenaufwands zur Lösung der ODE) tatsächlich über den gesamten Maßnahmenraum optimiert werden kann. Was man jetzt schon gut sieht, ist die Nichtlinearität der Maßnahmen: 50% Maskennutzung führt zu mehr als 50% der erreichbaren Wirkung, etc. Dies deutet auch darauf hin, dass eine Kombination vieler Maßnahmen, die nicht vollständig befolgt werden, besser funktioniert als eine Konzentration auf weniger Maßnahmen, die dafür vollständig durchgesetzt werden.

Verbesserung der Daten im Zusammenhang mit COVID-19

Offenbar ist es wünschenswert, dass über die Laufzeit der Pandemie unsere Modelle immer genauer werden. Hierfür sind gute Daten nötig. Es wäre für uns und für andere hilfreich, wenn die Situation hier verbessert würde. Folgende Verbesserungen wären u.E. zwingend notwendig, um bessere quantitative Arbeiten zu erlauben:

1. Bereitstellung aller Daten über Computerschnittstellen ("API"). Dies ist teilweise bereits der Fall (z.B. RKI Fallzahlen, DIVI Intensivregister), aber häufig auch nicht.
2. Möglichst gute Erläuterungen, wie die Daten zustande kommen. Dies ist teilweise bereits der Fall, aber häufig auch nicht.
3. Es wäre wünschenswert, wenn die gemeldeten Fälle mit einer Art Herkunftsstempel versehen würde. Sowas könnte z.B. sein: Fall aus Arztpraxis, Fall aus Flughafenscreening, Fall aus Clusterevent.
4. Es sollte eine nationale Institution geben, die alle Daten im Corona-Umfeld sammelt und einheitlich zur Verfügung stellt.⁸ Vgl. z.B. im Verkehrsbereich <https://www.dlr.de/cs>. Dafür würden sich neben dem (derzeit vielleicht stark belasteten) RKI z.B. Helmholtz-Institute eignen.⁹
5. Daten müssen in möglichst hoher räumlicher (Landkreise, Stadtbezirke) und möglichst auch zeitlicher (tagesfein statt wochenfein) Auflösung zur Verfügung stehen. Wenn wir je eine Chance haben sollen, unterschiedliche Verläufe des Infektionsgeschehens an

⁸ Vgl. im Verkehrsbereich <https://www.dlr.de/cs>.

unterschiedlichen Orten nachzuvollziehen, müssen dafür natürlich (!) überhaupt erstmal die Daten tages- und landkreisscharf bereitstehen.

6. Wir müssen eine Anstrengung bzgl. Datenqualität unternehmen. So nimmt der Anteil der Meldungen, die das wichtige Datum des Krankheitsbeginns nennen, immer weiter ab. Die wichtigen Punkte für die Datenqualität sind: hohe räumliche Auflösung (landkreisscharf; bezirksscharf in Städten); genaue Klärung zeitlicher Aspekte (Datum des Abstrichs, Datum des Eingangs im Labor, Datum des Labortests, etc.).

Im Anhang befindet sich eine genauere Analyse bzgl. dreier am RKI vorhandener Datensätze.

⁹ So etwas wie <https://www.rki.de/DE/Content/Institut/OrgEinheiten/Abt3/FG32/sumo/sumo.html> geht im Grunde in die richtige Richtung. Es fehlt aber eine Institution, welche zunächst einmal die *vorhandenen* Daten sammelt und geordnet zur Verfügung stellt. Auch die Liste des RKI (https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Projekte_RKI/Projekte.html) ist ein guter Anfang. Nötig wären zusätzliche Anstrengungen, diese Daten auch API-basiert zur Verfügung zu stellen. Auch enthält die Liste nur Projekte mit RKI-Beteiligung.

Anhang: Material

Abbildungen

Aufklärungskampagnen

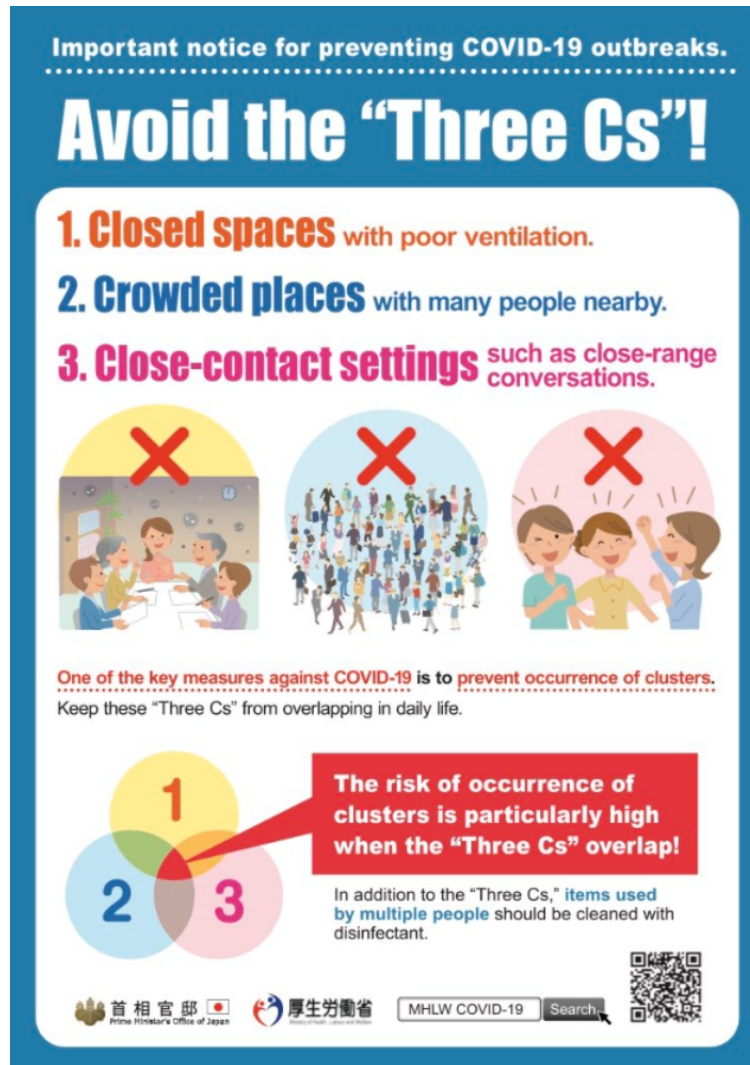


Figure 1: Aufklärungskampagne in Japan, mit einem deutlich anderen Fokus als die deutschen "AHA"-Regeln. Quelle: (Omi and Oshitani 2020)

Everyone can help slow the spread of COVID-19 by doing...

A CIVIC DUTY

AVOID (or reduce)

Crowding

Indoors

Ventilation (low)

Close proximity

Duration (long)

Unmasked

Talking/singing

Yelling

It's up to everyone to slow the spread of COVID-19 by taking these easy and effective actions.

IG: @americaedwards

Twitter: @edwards_america



Figure 2: Vorschlag für eine Aufklärungskampagne. Quellen: (Marr et al. 2020; Edwards 2020)

Anteil der Infektionen im ÖV mit und ohne Masken

Anteile Infektionen im ÖV (7 Tage Mittel)

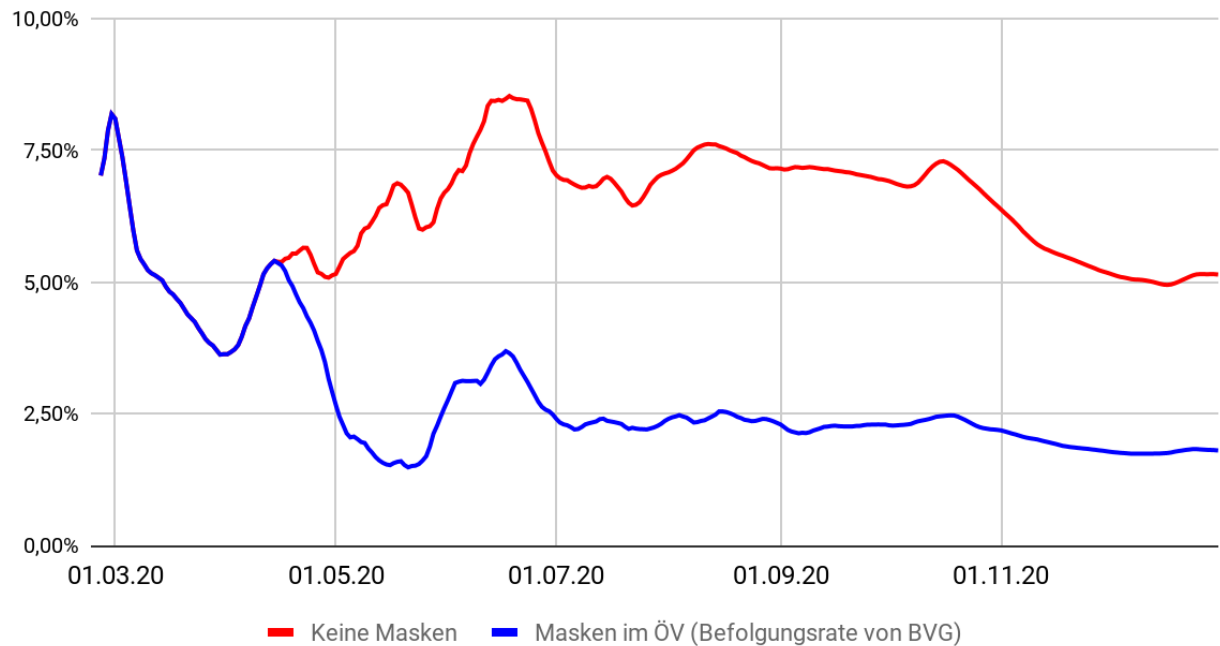
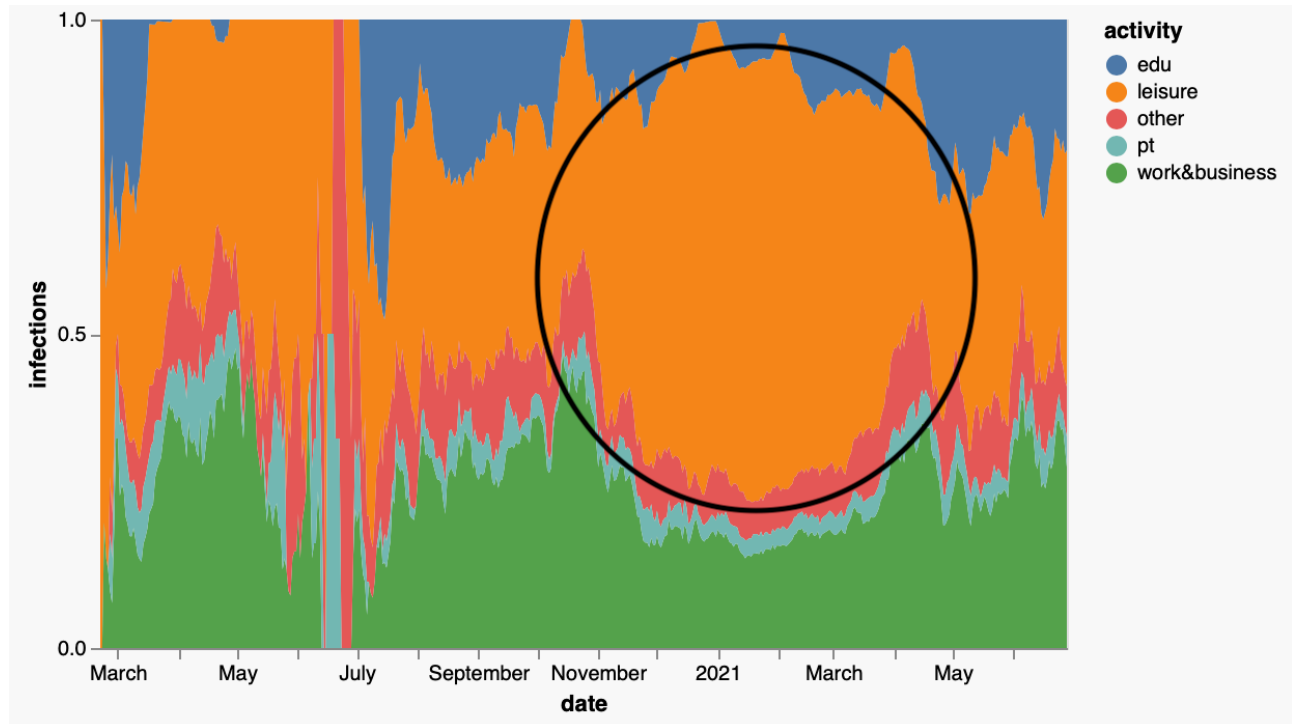


Figure 3: Anteil der Infektionen, die nach unseren Berechnungen im öffentlichen Verkehr stattfinden. BLAU: entsprechend der Befolgsrate. ROT: ohne Masken. Das Modell bestätigt, dass der Anteil der Infektionen im öffentlichen Verkehr durch Masken so weit gedrückt wird, dass sein Beitrag für die Gesamtdynamik der Infektion nicht mehr relevant ist.

Anteil der Freizeitaktivitäten an den aushäusigen Ansteckungen



F

Figure 4: Relative Anteile einzelner aushäusiger Aktivitäten am Gesamtgeschehen unter der Annahme, dass zum Winter hin nur noch 10% der Freizeitaktivitäten draußen stattfinden. Man sieht sehr deutlich den ansteigenden Anteil der Freizeitaktivitäten (leisure). Alle Bereiche sind mit

der Annahme derzeit gültiger Maßnahmen gerechnet; die Anteile der Bereiche “Ausbildung” (edu) sowie “Arbeit und Erledigungen” (work & business) könnten durch die im Text diskutierten Maßnahmen weiter reduziert werden.

Kombination von Maßnahmen im mathematischen Modell

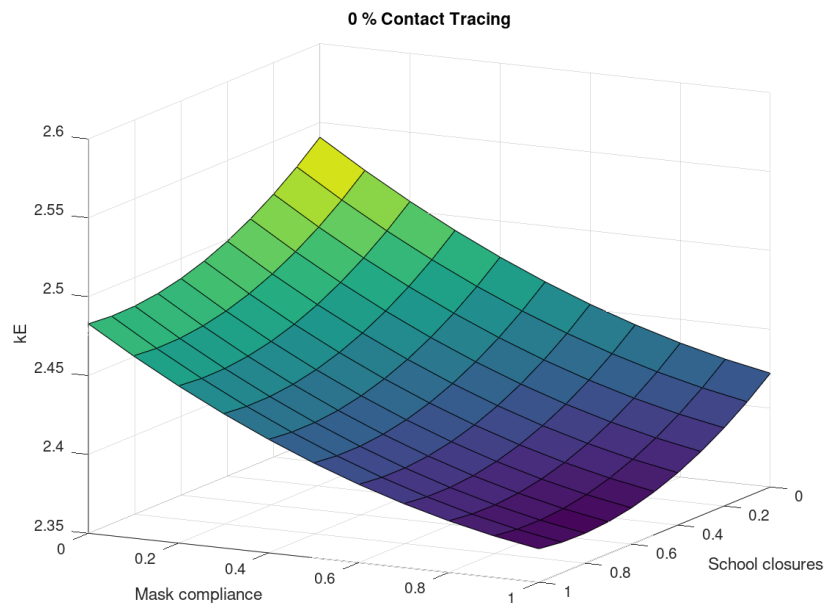


Figure 5: Kombination der Maßnahmen Maskennutzung im ÖV/beim Einkaufen und Reduktion der Teilnehmerzahlen bei Schülern. Man sieht an der “durchhängenden” Form der Kurve, dass die Maßnahmen nichtlinear sind: 50% Befolgungsrate bei Masken haben mehr als 50% Wirkung; 50% Reduktion bei der Teilnahme an schulischen Aktivitäten haben mehr als 50% Wirkung; und die Kombination beider Maßnahmen hat mehr Wirkung, als die reine Addition vermuten ließe.

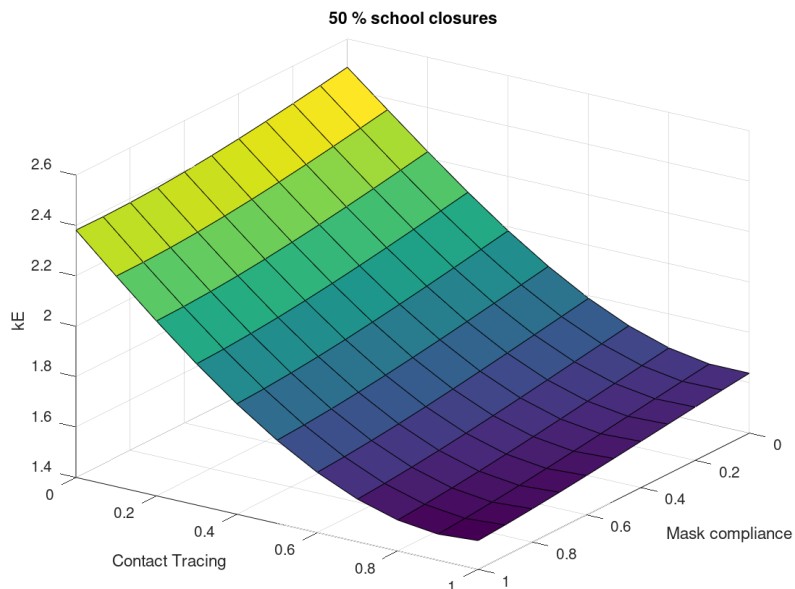


Figure 6: Kombination der Maßnahmen Kontaktnachverfolgung und Maskennutzung im ÖV und beim Einkaufen. Man sieht die potentiell sehr starke Wirkung der Kontaktnachverfolgung im Vergleich zur Maskennutzung im ÖV und beim Einkaufen.

Daten am RKI

Fallzahlen

URL: <https://experience.arcgis.com/experience/478220a4c454480e823b17327b2bf1d4>

API: <https://www.arcgis.com/sharing/rest/content/items/f10774f1c63e40168479a1feb6c7ca74/data>

Räumlich hoch aufgelöst: ja (Landkreise)

Zeitlich hoch aufgelöst: ja (tagesfein)

Dokumentation: gut

Qualität: Mittel:

- Datum Krankheitsbeginn oft nicht eingetragen.
- Die Fallzahlen entstehen aus räumlich und zeitlich uneinheitlichen Screening-Prozeduren: symptombezogen, kontaktbezogen, Einreise aus Risikogebieten, Tests bestimmter Berufs-/Bevölkerungsgruppen, freiwillige Tests. Es wäre sehr wünschenswert, wenn jeweils angegeben würde, aufgrund welcher dieser Screening-Prozeduren die Daten entstanden sind. Dies wäre gleichzeitig eine Möglichkeit, gegen Theorien von ansteigenden Fallzahlen nur aufgrund vermehrter Tests gegenzusteuern (weil man dann z.B. die Untermenge der symptombezogenen Tests auswerten könnte).

Außerdem unterliegen die Daten bekanntlich einem erheblichen Meldeverzug. Es wäre schön, wenn dies verbessert werden könnte. Wir vermuten aber, dass dann das gesamte gesetzlich geregelte Meldesystem umgebaut werden müsste.

Nowcasting

URL:

https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Projekte_RKI/Nowcasting.html

API:

https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Projekte_RKI/Nowcasting_Zahlen_csv.csv

Räumlich hoch aufgelöst: **nein (nur bundesweit)**

Zeitlich hoch aufgelöst: ja (tagesfein)

Dokumentation: gut

Qualität: im Prinzip gut; es fehlt die räumliche Auflösung.

SARS-2 Surveillance

URL: <https://ars.rki.de/Content/COVID19/Main.aspx>

API: **nicht gefunden.**

Räumlich hoch aufgelöst: Graphische Darstellungen implizieren, dass diese Daten vorhanden sind, wir haben sie **nicht gefunden.**

Zeitlich hoch aufgelöst: Graphische Darstellungen implizieren, dass diese Daten vorhanden sind, wir haben sie **nicht gefunden.** Dringend nötig ist (falls noch nicht vorhanden) eine **Differenzierung nach "Datum des Abstriches" und "Datum des Tests"**, damit wir in den

Simulationen bei Überlastung der Labore entsprechen rückrechnen können.

Dokumentation: vermutlich gut, aber ohne Zugang zu räumlich und zeitlich hochaufgelösten Daten schlussendlich *nicht beurteilbar*.

Qualität: vermutlich gut, aber ohne Zugang zu räumlich und zeitlich hochaufgelösten Daten schlussendlich *nicht beurteilbar*.

Quellen

Edwards, America. 2020. "Everyone Can Help Slow the Spread of COVID-19 by Doing." 2020.

<https://www.facebook.com/1844058357/posts/10213686048705858/?d=n>.

Marr et al. 2020. "FAQs on Protecting Yourself from Aerosol Transmission." 2020.

<https://tinyurl.com/FAQ-aerosols>.

Müller, Sebastian Alexander, William Charlton, Natasa Djurdjevac Conrad, Ricardo Ewert,

Christian Rakow, Tilmann Schlenther, Frank Schlosser, et al. 2020. "MODUS-COVID Bericht Vom 24.07. 2020." <https://doi.org/10.14279/depositonce-10417>.

Omi, S., and H. Oshitani. 2020. "Japan's COVID-19 Response." 2020.

<https://www.mofa.go.jp/files/100061341.pdf>.