

# MODUS-COVID Bericht vom 21.08.2020

Christian Rakow<sup>1</sup>, Hanna Wulkow<sup>2</sup>, Natasa Djurdjevac Conrad<sup>2</sup>, Ricardo Ewert<sup>1</sup>, Tim Conrad<sup>2</sup>, Kai Nagel<sup>1</sup>, Christof Schütte<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Verkehrssystemplanung und Verkehrstelematik (“VSP”), TU Berlin,  
[nagel@vsp.tu-berlin.de](mailto:nagel@vsp.tu-berlin.de)

<sup>2</sup>Zuse-Institut Berlin (“ZIB”)

<sup>3</sup>Research on Complex Systems (“ROCS”), Robert-Koch-Institut & HU Berlin

Available online via TU Berlin repository: <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10480>

Date of this version: 21-august-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 21.08.2020

### Zusammenfassung

Reiserückkehrer können Infektionen nach Deutschland tragen. Wir betrachten dies in unserem *agenten-basierten* Modell. Wesentliches Resultat ist, dass der Infektionsimport in derzeitiger Höhe bei den derzeitigen Neuinfektionszahlen einen sehr deutlichen Beitrag leistet, und damit die Maßnahmen, um diesen zu reduzieren, durch die Simulation bestätigt werden.

Sogenannten “Superspreading Events” werden immer mal wieder diskutiert. Wir zeigen erste Resultate des *agenten-basierten* Modells, dass in der Literatur diskutierte Verfahren, dies zu einer Verbesserung der Effizienz der Kontaktnachverfolgung zu nutzen, auch in den Simulationen anschlagen. Wir werden das weiter untersuchen.

Um die Auswirkung der Kontaktnachverfolgung (Contact Tracing) besser analysieren zu können, haben wir unser vorhandenes *mathematisches* Modell in diesem Bereich verbessert. Auf Basis dieses erweiterten Modells können wir nun auch hier zeigen, dass eine stärkere Kontaktnachverfolgung eine Verringerung der Infektionsrate zur Folge hat.

Insgesamt ergibt sich aus unserer Sicht folgende Situation:

- Wenn wir hohe Neuinfektionszahlen vermeiden wollen und gleichzeitig mit relativ wenig Restriktionen auskommen wollen, so bleibt die Kontaktnachverfolgung wichtigster Baustein. Deren Kapazitäten dürfen auf keinen Fall erschöpft werden. Darüber hinaus gibt es hier weiteres Optimierungspotential, welches wir in diesem Bericht andeuten, und in Zukunft genauer untersuchen werden.
- Im jetzigen Zustand der Pandemie wird laut unseren Simulationen die Kontaktnachverfolgung alleine nicht ausreichen, um die Neuinfektionszahlen niedrig zu halten. Durch Reiserückkehrer, Schulöffnungen, und Rückkehr von Aktivitäten in Innenräume wird die Situation deutlich schwieriger werden (siehe vorherigen Bericht vom 24.07.2020 (vgl. Müller et al. 2020b)). Es wird daher nötig sein, die Kontaktnachverfolgung

durch zusätzliche Maßnahmen, vor allem die Verlagerung normalerweise aushäusiger Aktivitäten nach Hause sowie Masken, zu unterstützen, um ein erneut exponentielles Ansteigen der Fallzahlen zu verhindern.

- Wir gehen weiterhin davon aus, dass sich selbst ohne Impfstoff die Situation mit der Verlagerung von Aktivitäten nach draußen zum Sommer 2021 entspannen wird.

## Langfassung

### Agenten-basiertes Modell

#### Reiserückkehrer

Um eine bessere Einschätzung für die Wirkung der sog. Infektionsimporte zu bekommen, haben wir Simulationen für Infektionsimporte zwischen 4 und 120 pro Tag ab dem 9. Juli für unser Berlin-Modell (5 Mio Personen) gerechnet (Fig. 1). Einmal für eine Kapazität der Kontaktnachverfolgung von maximal 30 neuen Fällen pro Tag, einmal mit einer unbegrenzten Kapazität; die Realität dürfte dazwischen liegen. Man sieht folgendes:

- Das Phänomen des Infektionsimportes macht bei den derzeit niedrigen Neuinfektionszahlen einen deutlichen Unterschied. Dies ist auch intuitiv plausibel: Die öffentlich diskutierten Zahlen legen einen Infektionsimport in der Größenordnung von mindestens 30/Tag für unser Simulationsgebiet nahe; da die "intrinsischen" Infektionszahlen in der gleichen Größenordnung liegen, wird unsere Reinfektionsrate  $R$  durch den Infektionsimport sozusagen fast verdoppelt.<sup>1</sup>
- Bzgl. der Höhe der Maxima hat der Infektionsimport hingegen kaum einen Einfluss.
- Allerdings liegen die Maxima selbst für das unrealistisch günstige Szenario unbegrenzter Kontaktnachverfolgungs-Kapazität etwa 10x so hoch wie während der Hochphase ersten Welle im März. Dies würde 10x so hohe Krankenhausbelegungszahlen implizieren. Dies wäre vermutlich "gerade so" noch handhabbar; es handelt sich allerdings, wie gesagt, um ein "unrealistisch günstiges Szenario".

Fig. 2 zeigt die selben Simulationen, **ergänzt um zusätzliche Maßnahmen**, die ab dem 1. Oktober eingeführt würden:

- Es handelt sich dabei um dieselben Maßnahmen, wie sie im letzten Bericht diskutiert wurden (vgl. Müller et al. 2020b): Eine (erneute) "Ausdünnung" des Erziehungsbetriebs, deutliche Verbesserung der Kontaktnachverfolgung, bessere Masken, nochmals deutlich verbesserter Arbeitsschutz.
- Es ergibt sich wie im letzten Bericht, dass alle diese Maßnahmen zusammen bei gleichzeitig immer noch ausreichenden Kontaktnachverfolgungs-Kapazitäten die Infektionsdynamik unter Kontrolle halten können, selbst bei erhöhtem Infektionsimport.
- Man sieht aber auch sehr deutlich, dass bei einem Infektionsimport von 60/Tag die jeweiligen Stellen für die Kontaktnachverfolgung bis zu 1000 Neuinfektionen pro Tag auch tatsächlich nachverfolgen müssten (grün gestrichelte Linie Anfang Oktober) – es ist eher zu erwarten, dass dies nicht zu leisten sein wird. **Selbst unter günstigen Annahmen ist es also wichtig, den Infektionsimport zu reduzieren.** Vierzehntägige häusliche Quarantänen dürften hierfür gut geeignet sein; wieviel davon der (punktuelle, und damit nicht alle Fälle erfassende) Covid-Test ersetzt, können wir derzeit nicht einzuschätzen.

---

<sup>1</sup> Wir gehen in den Simulationen davon aus, dass diese Fälle am normalen Infektionsgeschehen teilnehmen, d.h. wir ignorieren die Möglichkeit der häuslichen Quarantäne oder des Reise-Tests.

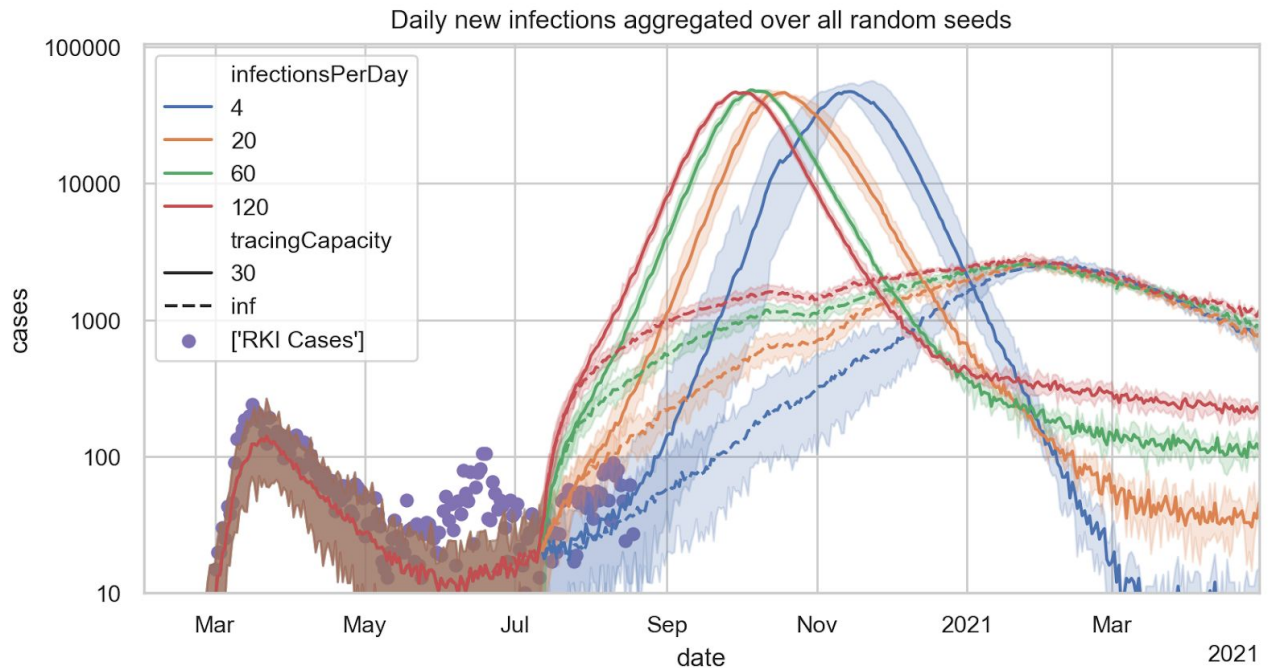


Figure 1: Tägliche Neuinfektionen in Berlin. *Farblich abgestuft* ist die Anzahl “importierter” Infektionen, wie z. B. durch Reiserückkehrer, ab dem 09. Juli. Die Realität in Berlin dürfte zwischen 20 und 60 liegen, wobei unsere Simulationen die derzeit bereits ergriffenen Maßnahmen (häusliche Quarantäne oder Test) nicht berücksichtigen. *Gestrichelt*: unbegrenzte Kapazität der Kontaktnachverfolgung; *durchgezogene Linien*: Kapazität der Kontaktnachverfolgung begrenzt auf 30 Neuinfektionen pro Tag.

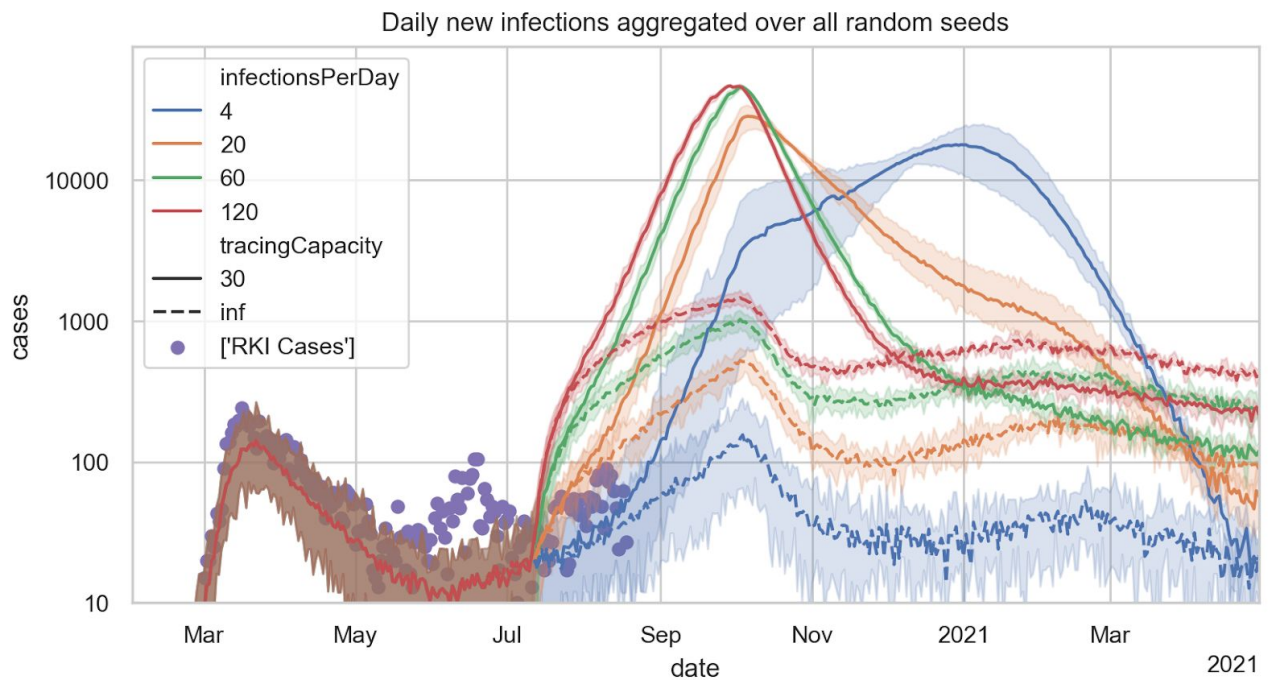


Figure 2: Tägliche Neuinfektionen in Berlin unter der Annahme zusätzlicher Maßnahmen am 1. Okt – vgl. letzter Bericht vom 24.07.2020 (Müller et al. 2020b). *Farblich abgestuft* ist die Anzahl “importierter” Infektionen, wie z. B. durch Reiserückkehrer, ab dem 9. Juli. *Gestrichelt*: unbegrenzte Kapazität der Kontaktnachverfolgung; *durchgezogene Linien*: Kapazität der Kontaktnachverfolgung begrenzt auf 30 Neuinfektionen pro Tag.

## Ortsabhängige Kontaktnachverfolgung im agentenbasierten Modell (“Superspreading”)

Die bisherige Kontaktnachverfolgung in unserem Modell konzentriert sich auf die Nachverfolgung der Kontakte von einzelnen Personen. Dabei ist unerheblich, wo diese sich angesteckt haben.

Zusätzliche Strategien betrachten jedoch auch die Aktivitäten einer Person, um eventuelle gemeinsame Infektionsquellen zu finden und Quarantäneverordnungen zu verhängen. Das Ziel dabei ist, sogenannte “Superspreading” Events zu identifizieren und einzudämmen.

Die Effektivität solcher Ansätze wurde bereits in einigen Ländern unter Beweis gestellt (vgl. Japans Cluster-Strategie, z.B. Omu & Oshitani (2020)).

Wir haben eine Version dieses Ansatzes in unserem Modell implementiert, um Aussagen über die Effektivität machen zu können. Im Sinne unseres Modells ist der wesentliche Unterschied, dass wir bei unserer bisherigen Kontaktnachverfolgung davon ausgehen, dass nur 50% der relevanten Personen identifiziert werden können und damit häusliche Quarantäne angeordnet werden kann. Bei der ortsabhängigen Kontaktnachverfolgung werden z.B. ganze Hochzeitsgesellschaften oder ganze abendliche Gästelisten eines Restaurants ggf. in häusliche Quarantäne geschickt. In unseren ersten Auswertungen haben wir uns auf ein hypothetisches Szenario ohne weitere Restriktionen beschränkt. Abbildung 3 vergleicht beide Strategien. Man sieht, dass eine zusätzliche ortsabhängige Kontaktverfolgung effektiver ist: Der Höchstwert an Infektionen konnte nochmals deutlich reduziert werden; die aus den Kurven ermittelte Reduktion von R fällt um 8 Prozentpunkte höher aus:

Kontaktnachverfolgung	Reduktion von R um ca.
Individuelle Kontaktnachverfolgung bei der 50% aller Kontakte erfolgreich ermittelt werden können	<b>32%</b>
Zusätzliche ortsabhängige Kontaktnachverfolgung	<b>40%</b>

Dies verdeutlicht, welche Wichtigkeit das Identifizieren von gemeinsamen Infektionsquellen hat. Es verdeutlicht auch, dass in der konventionellen Kontaktnachverfolgung noch Optimierungspotential steckt, auch ohne App. Wir werden diesen Aspekt zeitnah genauer untersuchen.

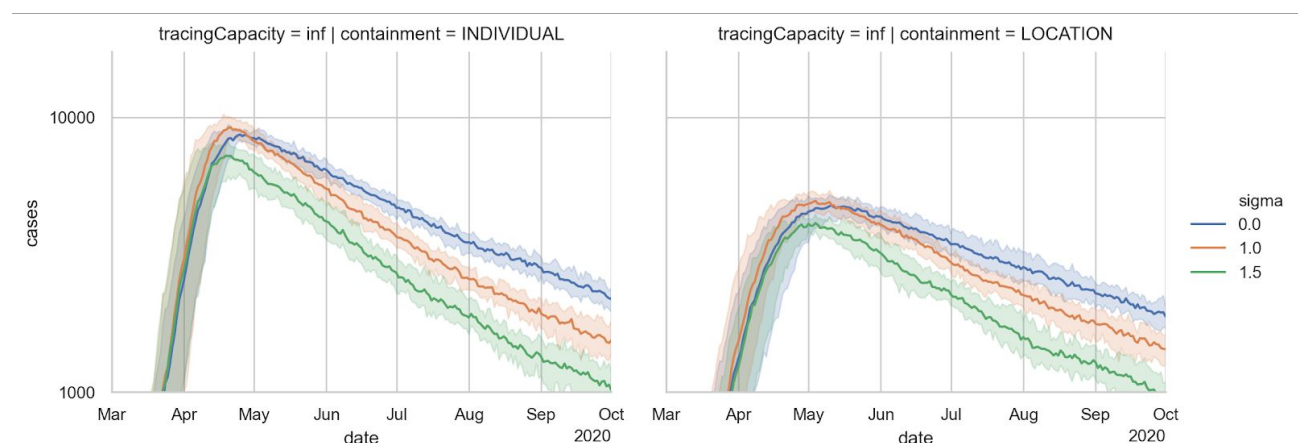


Figure 3: Vergleich von Tracing einzelner Personen und zusätzlichen ortsabhängigen Tracing. Die deutlich stärkere Wirkung von ortsabhängig Tracing (rechts) wird hier an dem reduzierten Peak deutlich.

# Mathematisches Modell

Das agenten-basierte Modell war schnell aufzusetzen, hat aber relativ lange Rechenzeiten, und wegen der enthaltenen stochastischen Komponente Nachteile bei der Interpretation. Wir bemühen uns daher darum, eine äquivalente mathematische Beschreibung zu finden, die zum einen effizientere Simulationen erlauben sollte (z.B. auch für jedes Bundesland statt nur für Berlin), und zum anderen eine verbesserte Interpretation möglich machen sollte. In früheren Berichten wurde dies unter dem Stichwort SIR- oder SEIR-Modell bereits beschrieben (vgl. Müller et al. 2020a). Derzeit versuchen wir vor allem, die Eigenschaften des agenten-basierten Modells in das schneller rechnende mathematische Modell zu übernehmen.

## Ausgangssituation

Basierend auf unseren Simulationsdaten wurden 27 Datensätze mit den folgenden Eigenschaften ausgewählt (Daten für jeweils 360 Tage):

- NUR 0, 50, 100 % der Schulen sind geschlossen (niemand trägt OP Masken und keine Kontaktnachverfolgung),
- NUR 0, 50, 100 % der Leute tragen OP-Masken (keine Schulen sind geschlossen, keine Kontaktnachverfolgung),
- NUR 0, 50, 100 % Kontaktnachverfolgung wird betrieben (keine Schulen sind geschlossen, niemand trägt OP Masken)
- KOMBINATION aus den o.g. Fällen, also z.B. 0-50-50, 0-50-100, 0-100-100, etc.

Basierend auf den 0-0-0 Simulationsdatensätzen (keine Schulen sind geschlossen, niemand trägt OP Masken, es gibt keine Kontaktnachverfolgung) wurden die freien Parameter (die sog. Raten) unseres bestehenden SIR Modell mathematisch mit einer sehr guten Schätzgüte berechnet ("gefittet"). Für alle weiteren Datensätze wurde nur die Infektionsrate ( $k_E$ ) mathematisch bestimmt und alle anderen Parameter fixiert, da sich nur die Infektionsrate für jeden Datensatz unterscheiden sollte. Während die Modellparameter wie z.B. die Rate für Übergänge in einen schweren Krankheitsverlauf für alle Datensätze gleich sein sollte, hängt die Infektionsrate von den getroffenen Maßnahmen ab. Weiterhin wurde die Schätzgüte für die Bestimmung von  $k_E$  bestimmt.

Dabei stellten wir fest, dass die Güte der Parameterschätzungen für  $k_E$  bei allen Datensätzen sehr gut ist, außer bei denjenigen Datensätzen, bei denen Kontaktnachverfolgung eingeschaltet ist. Die möglichen Gründe für dieses Phänomen werden in verschiedenen Publikationen, wie etwa in Aleta et al. (2020), beschrieben. Zusammengefasst lässt sich sagen:

- Kontaktnachverfolgung ist eine andere Art von Eindämmungsmaßnahme: sie wirkt nur für eine bestimmte Personengruppe (all jene, die entweder infiziert sind oder mit einem Infizierten in Kontakt waren), aber für diese Personengruppe wird die wirksamste und strengste Maßnahme, die Quarantäne, angeordnet. Maßnahmen wie z.B. die Maskenpflicht betreffen dagegen alle in einer Population, ist aber an sich eine viel schwächere Maßnahme.
- Kontaktnachverfolgung hängt außerdem von der Anzahl der Infizierten ab – wenn es keine infizierten Personen gibt, gibt es auch keine Kontaktnachverfolgung. Dagegen betrifft eine Maskenpflicht alle Leute, unabhängig davon, wie viele infizierte Personen es in einer Population gibt.
- Kontaktnachverfolgung ist keine Maßnahme, die die Infektiosität des Virus direkt betrifft, im Gegensatz zur Maskenpflicht, durch die eine direkte Übertragung eingeschränkt bzw. sogar ganz verhindert wird.

## Erweiterung des Modells

Diese Beobachtungen zeigen, dass das vorhandene Modell nur unzureichend den Baustein der Kontaktnachverfolgung widerspiegelt. Im Ergebnis haben wir das vorhandene Modell wie in der folgenden Abbildung 4 dargestellt (bzw. nachfolgend im Text) erweitert und konnten damit die Infektionsrate (und ein neu eingeführter Parameter  $n_{CT}$ , s.u.) für alle untersuchten Datensätze mit einer guten Schätzgüte bestimmen.

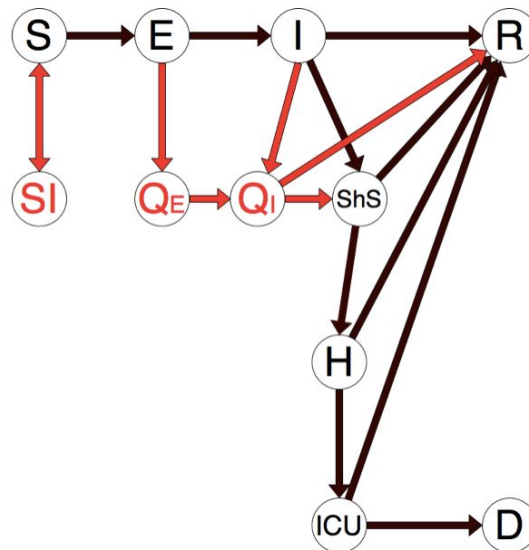


Figure 4: Erweitertes S(E)IR-Modell. Erweiterungen sind in rot markiert.

Das Modell wurde um drei Gruppen, die die Quarantänesituation darstellen, erweitert. In der Quarantänesituation kann eine Person weder anstecken noch angesteckt werden.

Dadurch wird jetzt modelliert: für jede Person, die Symptome zeigt (also in der Gruppe **ShS** ist), wird eine bestimmte Anzahl von Personen aus den Gruppen **S**, **E** und **I** in die jeweilige Quarantänesituation überführt. Diese Anzahl wird durch einen neu eingeführten Parameter  $n_{CT}$  bestimmt. Es gilt:  $n_{CT}$  = die Anzahl an Personen, die pro symptomatischen Infizierten in Quarantäne gehen. Aus den Quarantänegruppen  $Q_E$  und  $Q_I$  ist kein Übergang in die Ursprungsgruppe mehr möglich und damit nehmen diese Personen nicht mehr am Infektionsgeschehen teil. Das heißt, der Parameters  $n_{CT}$  hat einen großen Einfluß auf die Infektionszahlen.

## Erste Ergebnisse

Die Parameterschätzung für diejenigen Datensätze, bei denen keine Kontaktnachverfolgung durchgeführt wurde, ist der durch unserer (Fitting) Verfahren bestimmte Parameter  $n_{CT}$  nahezu 0, was zu erwarten ist. Interessanterweise verringert sich durch eine Erhöhung der Kontaktnachverfolgung auch der Wert des durch unsere Verfahren ermittelten Parameters  $k_E$  (der Infektionsrate), während der Wert von  $n_{CT}$  sich erhöht, wie in der folgenden Tabelle beispielhaft dargestellt.

Schulschließungen/Masken/CT	$k_E$	$n_{CT}$
50%/50%/0%	2.42	0.19
50%/50%/50%	1.76	10.9
50%/50%/100%	1.59	30.1

Eine Erhöhung der Kontaktnachverfolgung hat also einen positiven Einfluss auf die Infektionsrate: sie wird kleiner.

Zum Vergleich: in den Simulationen ohne Kontaktnachverfolgung, bei denen in der simulierten Population auch keine OP Masken getragen werden, verringert sich die Infektionsrate  $k_E$  bei steigender Menge an Schulschließungen nur von 2.54 (alle Schulen sind offen) zu 2.48 (50% der Schulen sind geschlossen) zu 2.47 (alle Schulen sind geschlossen). Dabei scheint ein Zusammenhang zwischen den Parametern  $k_E$  und  $n_{CT}$  zu bestehen (siehe Figure 5): mit abnehmender Kontaktverfolgung steigt die Infektionsrate rasch an.

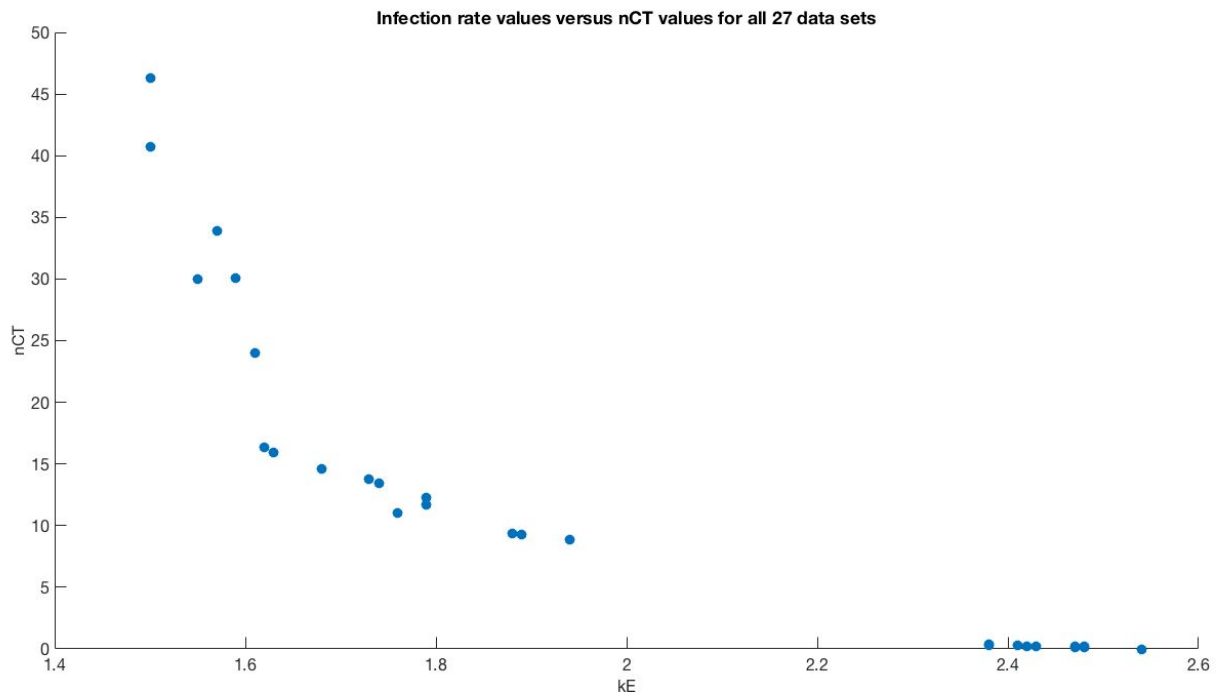


Figure 5: Zusammenhang zwischen Infektionsrate  $k_E$  und  $n_{CT}$

Dies ist auch deshalb wichtig, weil uns ein ähnliches Phänomen bereits in früheren Studien mit der agenten-basierten Simulationen aufgefallen war, aber noch nicht hinreichend quantifiziert werden konnte. Die strukturelle Aufklärung durch das mathematische Modell wird uns also auch helfen, die Arbeit mit dem agenten-basierten Modell zu fokussieren.

## Referenzen

- Aleta, Alberto, David Martín-Corral, Ana Pastore Y Piontti, Marco Ajelli, Maria Litvinova, Matteo Chinazzi, Natalie E. Dean, et al. 2020. "Modelling the Impact of Testing, Contact Tracing and Household Quarantine on Second Waves of COVID-19." *Nature Human Behaviour*, August. <https://doi.org/10.1038/s41562-020-0931-9>.
- Müller, Sebastian Alexander, William Charlton, Natasa Djurdjevac Conrad, Ricardo Ewert, Christian Rakow, Tilmann Schlenker, Frank Schlosser, et al. 2020a. "MODUS-COVID Bericht Vom 03.07.2020." <https://doi.org/10.14279/depositonce-10373>.
- . 2020b. "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>.