



CSH-Studie

Wirksamkeitsstudie zur Reduzierung von COVID-19-Infektionen in Wien durch die frühzeitige Isolation von Verdachtsfällen im Zuge der Fahrten des Ärztefunkdienstes

Peter Klimek, Stefan Thurner

15. Mai 2020



AutorInnen

Peter Klimek, Stefan Thurner

Titel

Wirksamkeitsstudie zur Reduzierung von COVID-19-Infektionen in Wien durch die frühzeitige Isolation von Verdachtsfällen im Zuge der Fahrten des Ärztekundendienstes

Kontakt

Complexity Science Hub Vienna – Verein zur Förderung wissenschaftlicher Forschung im Bereich komplexe Systeme

Josefstädter Straße 39, 1080 Wien

T +43 1 59991 600
office@csh.ac.at
www.csh.ac.at
ZVR: 709748150

Der Complexity Science Hub Vienna

Der Complexity Science Hub Vienna wurde mit der Vision gegründet, ein Zentrum der Komplexitätsforschung in Europa zu werden. Ziel ist, ein spannendes, kreatives Umfeld frei von bürokratischen Hürden für aufgeschlossene DenkerInnen zu schaffen, die den Mut haben, über die Grenzen traditioneller Wissenschaftsdisziplinen hinauszugehen. Der Hub ist ein Inkubator und Spielfeld für neue und spannende Ideen. Er ist ein Knoten innerhalb eines Netzwerks internationaler Partnerinstitutionen wie etwa das Santa Fe Institute, das Complexity Institute der Nanyang Technological University Singapore, der Arizona State University und dem Institute for Advanced Study Amsterdam. Durch dieses Netzwerk wird der lebhafteste Austausch von Ideen unter ForscherInnen angeregt.

INHALTSVERZEICHNIS

Kurzfassung	1
Hintergrund	3
Modellierung des Epidemieverlaufs in Wien	5
Abschätzung der Effekte des Ärztekundendienstes	8
Szenariosimulationen: Verlauf der Epidemie ohne frühzeitige Isolation von Verdachtsfällen durch Transporte	10
Auswirkungen aus Spitalsaufenthalte und Intensivbelag	12
Auswirkungen auf die Zahl der Sterbefälle	16
Diskussion	17
Schlussfolgerungen	20
Literatur	21

Kurzfassung

Im Verlauf der Covid-19-Epidemie war der Ärztfunkdienst in Wien im Einsatz, um Verdachtsfälle direkt an den Wohnorten aufzusuchen und zu testen. Dadurch konnten weitere Ansteckungen durch einen Arzt- oder Spitalbesuch verhindert werden. Ziel dieser Studie ist es abzuschätzen, wie wirksam diese Tätigkeit des Ärztfunkdienstes beim Abflachen der Epidemiekurve in Wien tatsächlich war.

Im Prinzip kann man in der Covid-19-Epidemie zwischen zwei Arten von Präventionsmaßnahmen unterscheiden. Erstens können Ansteckungen durch eine frühzeitige Identifizierung und Isolation von Infizierten verhindert werden, zum Beispiel durch Contact Tracing. Zweitens können Kontaktwahrscheinlichkeiten durch gesamtgesellschaftliche Maßnahmen wie Lockdown und Social Distancing reduziert werden. Letztere Maßnahmen sind mit erheblichen wirtschaftlichen und psychosozialen Risiken verbunden und können zu gesundheitlichen Kollateralschäden führen.

Die Tätigkeiten des Ärztfunkdienstes trugen zu einer frühzeitigen Isolation von Fällen bei. Konkret ist davon auszugehen, dass durch diese Tätigkeit die effektive Dauer der Infektiosität (die Zeitspanne vom Beginn der Infektiosität bis zur Isolation der infizierten Person) verringert werden konnte. Diese Zeitspanne beträgt typischerweise wenige Tage. Hier gehen wir davon aus, dass dieser Zeitraum um die Dauer eines Arzt- oder Spitalbesuchs verringert werden konnte.

Diese Reduktion der Infektiositätsdauer erzeugt einen Schneeballeffekt bei der Prävention. Jede Ansteckung, die am Weg zu Arzt oder Ärztin stattgefunden hätte, hätte eine neue Infektionskette lostreten können. Da über viele Wochen hinweg in Wien eine infizierte Person im Schnitt mehr als eine andere Person neu ansteckte, multiplizieren sich die verhinderte Fälle entlang der Infektionskette auf ein Vielfaches.

Um diesen Effekt genauer abschätzen zu können, verwenden wir ein rezentes, vom Robert Koch Institut entwickeltes mathematisches Modell für epidemische Ausbreitungen. Nach einer Kalibrierung des Modells für den Epidemieverlauf in Wien können Szenarien simuliert werden, die Aufschluss darüber geben, wie der Verlauf in Wien ohne die Fahrten des Ärztfunkdienstes gewesen wäre.

Im Zeitraum vom 8. März bis 27. April 2020 wurden in Wien vom Ärztfunkdienst 1.436 positive Fälle gefunden, das entspricht ca. 60 Prozent aller Fälle in Wien. Unsere Berechnungen ergeben, dass ohne die aufsuchenden Fahrten des Ärztfunkdienstes der Epidemieverlauf in Wien fast dreimal so heftig hätte gewesen sein können, wie er tatsächlich war.

Im Best-Case-Szenario gehen wir davon aus, dass ohne die Fahrten in Wien 3.900 Fälle von Covid-19 statt der tatsächlichen 2.400 Fälle aufgetreten wären. Damit wären am Höhepunkt der Infektionswelle bis zu 300 PatientInnen im Spital gelegen, 60 davon auf der Intensivstation. Tatsächlich waren es ca.

200 Personen, 45 davon auf der Intensivstation. Außerdem wäre mit etwa 180 Todesopfern statt der beobachteten 106 Sterbefälle zu rechnen gewesen.

Im Worst Case hätte es unseren Berechnungen zufolge in Wien bis zu 6.700 Covid-19-Fälle gegeben. Dann wären am Höhepunkt der Infektionswelle 530 PatientInnen gleichzeitig im Spital gewesen, mehr als 100 davon auf der Intensivstation. Bis zu 310 Todesopfer wären möglich gewesen. Unsere Simulationen zeigen daher deutlich, dass die Fahrten des Ärztekundendienstes eine erhebliche präventive Wirkung entfaltet haben.

Hintergrund

Im Vergleich zu vielen anderen europäischen Hauptstädten ist Wien bisher mit relativ niedrigen Infektionszahlen durch die COVID-19-Pandemie gekommen. Am 12. Mai wies etwa Madrid ca. 65.000 bestätigte Fälle bei 6,7 Millionen EinwohnerInnen aus (9,7 Fälle pro tausend Personen), London 18.000 Fälle bei 8,9 Millionen Einwohner (2,0 Fälle pro tausend), Berlin 6.274 Fälle bei 3,8 Millionen (1,7 Fälle pro tausend) und Zürich 3.600 Fälle bei 0,4 Millionen EinwohnerInnen (8 Fälle pro tausend) (Quelle der Zahlen: Wikipedia). Wien verzeichnete zum selben Zeitpunkt ca. 2.800 positiv Getestete bei 1,9 Millionen EinwohnerInnen, was 1,5 Fällen pro tausend EinwohnerInnen entspricht.

Warum der anfangs – auch in Wien – exponentielle Anstieg von Neuinfektionen in Österreich relativ rasch gebremst werden konnte, hat vermutlich mehrere Gründe. Zum einen wurden hierzulande – im europäischen Vergleich als eines der ersten Länder – mit dem Lockdown sehr strikte Maßnahmen eingeführt, um die Ausbreitung des Coronavirus zu verhindern. Diese Maßnahmen zielen darauf ab, die Kontaktwahrscheinlichkeiten zwischen infektiösen und noch suszeptiblen Personen zu reduzieren. Da diese Maßnahmen zu wesentlichen und tiefgreifenden Einschnitten in persönliche Freiheiten und geschäftliche Aktivitäten führen, sind sie mit erheblichen Kosten auf mehreren Ebenen, von psychosozialen bis hin zu wirtschaftlichen, verbunden.

Eine zweite Kategorie von Maßnahmen zielt darauf ab, (potenzielle) Infektionsfälle möglichst früh zu identifizieren und zu isolieren, sodass die Infizierten keine weiteren Personen anstecken können. Umfassendes Testen und Contact Tracing sind hier von großer Bedeutung, um die Dauer der effektiven Infektiosität – also der Zeitspanne, innerhalb derer ein womöglich noch asymptomatisch Infizierter andere anstecken kann – soweit wie möglich verringern zu können. Hierbei ist es wichtig zu beachten, dass die effektive Infektiositätsdauer typischerweise kleiner als die „biologische“ Infektiositätsdauer ist (die Zeitspanne, innerhalb derer eine infizierte Person hinreichend viele Viren ausscheidet, um andere anstecken zu können). Gegenüber einem gesamtgesellschaftlichen Lockdown haben Maßnahmen zur Reduzierung der effektiven Infektiositätsdauer den Vorteil, dass die persönlichen Freiheiten von Nichtinfizierten viel weniger eingeschränkt werden müssen.

In Wien wurde sehr früh die Telefonnummer 1450 eingerichtet, bei der sich Personen mit Symptomen telefonisch melden können. Bei entsprechenden Verdachtsfällen fuhr der Ärztekundendienst bzw. das Rote Kreuz aus, um den Fall abzuklären und die Person zu testen. Diese Maßnahme führt also zu einer frühzeitigen Isolation von infizierten Personen und ist in diesem Sinne der Wirksamkeit von Contact Tracing nicht unähnlich.

Tatsächlich setzte auch international eine Reihe von Ländern auf die selbst-initiierte Isolation von Personen mit bereits milden Symptomen (Desvars-Larrive et al., 2020). Der Vorteil einer solchen

Isolation liegt auf der Hand: Infizierte Personen werden früher von Nichtinfizierten isoliert, was weitere Ansteckungen verhindert.

Da in Wien über mehrere Wochen hinweg jede Ansteckung im Schnitt zu mehr als einer weiteren Ansteckung führte (die mittlerweile berühmte „effektive Reproduktionszahl“, die in Österreich im März lange weit über 1 lag) (Richter et al., 2020), treten auch bei der Wirksamkeit von Präventionsmaßnahmen Multiplikator-Effekte ein.

Die Quantifizierung der Wirksamkeit von Präventionsmaßnahmen ist im Allgemeinen herausfordernd, da man so gut wie immer mit „*counterfactuals*“ umgehen muss, also nicht beobachtete Ereignisse quantifizieren muss. Erfolgreiche Prävention verhindert, dass eine Verschlimmerung eintritt. Das veranlasst manche zu dem Schluss, die Prävention sei gar nicht notwendig gewesen. In der Literatur ist das als Präventionsparadox bekannt (Fineberg, 2013).

Im vorliegenden Fall wird diese Schwierigkeit noch um eine zusätzliche Dimension erweitert: Einzelne Städte und Länder haben sich mit Maßnahmen regelrecht überschlagen. Die Vielzahl von gleichzeitig eingeführten Maßnahmen macht es methodisch herausfordernd, valide Aussagen über die Wirksamkeit einzelner Präventionsschritte zu treffen.

Eine etablierte Methode zur quantitativen Beschreibung von epidemischen Ausbrüchen sind sogenannte *Compartmental Models* (Brauer, 2008). In diesen Modellen wird die Bevölkerung einer Region in unterschiedliche *Compartments* eingeteilt, also Gruppen von Leuten. Im einfachsten Fall sind dies drei Gruppen: Suszeptible, Infizierte und Genesene („*recovered*“). Man spricht von einem SIR-Modell (Anderson und May, 1992).

In der Modelldynamik sind anfangs einige wenige Individuen infiziert, der Rest ist suszeptibel. Mit einer gewissen Rate trifft eine suszeptible Person eine Infizierte, woraufhin diese ebenfalls infiziert wird und andere Suszeptible anstecken kann. Nach einiger Zeit sind Infizierte nicht mehr ansteckend und zählen zu den Genesenen. Das Ende einer Epidemie tritt dann ein, wenn hinreichend viele Suszeptible bereits infiziert wurden, sodass eine Infektion nur noch zu weniger als einer weiteren Neuinfektion führt. In diesem Fall ist die sogenannte Herdenimmunität erreicht.

Als Reaktion auf die COVID-19-Pandemie wurden eine Reihe von erweiterten SIR-Modellen entwickelt, mit denen beschrieben werden kann, wie unterschiedliche Maßnahmen eine Infektionswelle bereits vor Erreichen der Herdenimmunität abbremsen können. So wurde etwa am deutschen Robert Koch Institut das sogenannte SIR-X-Modell entwickelt, in dem zwei Arten von Maßnahmen modelliert werden (Maier und Brockmann, 2020). Zum einen sind dies Social-Distancing- und Lockdown-Maßnahmen, aufgrund derer suszeptible Personen ihre Kontaktwahrscheinlichkeiten reduzieren. Zum anderen ist dies die frühzeitige Isolation von Infizierten durch Testen, Tracing und Quarantäne.

Es konnte gezeigt werden, dass dieses Modell in der Lage ist, den Verlauf der ersten Infektionswelle in annähernd hundert unterschiedlichen Ländern genau zu beschreiben (Maier und Brockmann, 2020). Eine Variante des SIR-X-Modells wird auch im Prognose-Konsortium des österreichischen Gesundheitsministeriums verwendet, um eine Kurzfristprognose für das Infektionsgeschehen auf Bundeslandebene abzugeben (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2020).

In dieser Studie verwenden wir dieses Modell, um Szenarien für die Wirksamkeit des Ärztekundendienstes in Wien in den Monaten März und April zu erstellen. Basierend auf der Zeitserie der vom Ärztekundendienst identifizierten Infektionsfälle kann berechnet werden, wie viele Wege etwa ins Spital oder zur Ärztin diesen infizierten Personen erspart wurden. Daraus kann abgeschätzt werden, um wieviel sich die effektive Infektiositätsdauer dieser Personen verringert. Dieser Effekt kann direkt im für Wien kalibrierten SIR-X-Modell abgeschätzt werden, um hypothetische Epidemieverläufe ohne die entsprechenden Maßnahmen zu simulieren.

Diese simulierten Verläufe geben eine Bandbreite von wahrscheinlichen Infektionswellen an, die in Wien ohne die durchgeführten Fahrten des Ärztekundendienstes aufgetreten wären. Aus den so erhaltenen hypothetischen Verläufen können dann auch die implizierten Verläufe für die Spitalsauslastung und Sterbefälle berechnet werden.

Modellierung des Epidemieverlaufs in Wien

Hier beschreiben wir die Modellierung des Epidemieverlaufs in Wien auf Basis des SIR-X-Modells (Maier und Brockmann, 2020). Als Kalibrierungszeitraum betrachten wir die Spanne vom 8. März 2020 (mehr als 30 positive Fälle) bis zum 27. April 2020. Als Datenbasis für die Modellierung wird die Zeitreihe gemäß dem Epidemiologischen Meldesystem (EMS) verwendet, wie sie etwa dem Dashboard des Gesundheitsministeriums zu entnehmen ist (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2020).

Im betrachteten Zeitraum stieg die Zahl der positiv Getesteten von 30 auf etwa 2.400. In absoluten Zahlen kam es gegen Ende März zu den höchsten Zuwächsen.

Am 16. März traten österreichweit umfassende Lockdown-Maßnahmen in Kraft, die praktisch alle Lebensbereiche durchdrangen (Desvars-Larrive et al., 2020). Für die Modellierung ist das relevant, da die Stärke dieser Maßnahmen (also um wieviel suszeptible Personen ihre Kontakte reduzieren) direkt ins Modell eingehen. Daher wird das Modell über zwei Zeiträume zu den Echtdateen kalibriert, nämlich (i) von 8. bis 16. März und (ii) vom 17. März bis 27. April.

Nach dem Osterwochenende, am 14. April, wurde mit dem schrittweise Wiederhochfahren des öffentlichen Lebens begonnen. Die erste Phase fiel dabei noch äußerst vorsichtig aus und betraf im Wesentlichen kleine Geschäfte und Baumärkte. Da diese Öffnungsstufe einerseits keinen wesentlichen Einfluss auf die Infektionszahlen zeigte, andererseits eine mögliche Wirkung dieser Öffnung ohnehin erst zeitversetzt zu erwarten wäre, wurde von einem dritten Kalibrierungsfenster abgesehen.

Im Vergleich zur Basisvariante des SIR-X-Modells wurde zusätzlich eine Altersstruktur in der Bevölkerung modelliert. Dazu wurden die EinwohnerInnen Wiens in Altersgruppen von je 20 Jahren unterteilt. Im Modell können damit auch die Infektionszahlen in diesen Altersgruppen angegeben werden. Anstelle einer einzelnen Kontaktwahrscheinlichkeit benötigt das Modell dann Matrizen von Kontaktwahrscheinlichkeiten: dass eine Person in Altersgruppe A mit Personen in Altersgruppe B in Kontakt kommt. Diese altersabhängigen Kontaktwahrscheinlichkeiten wurden über eine Kooperation mit der TU Wien auf Basis von Mobilfunkdaten ausgewertet.

Für die vorliegende Studie ist der Schlüsselparameter die sogenannte „Quarantänewahrscheinlichkeit“ Q , also die Wahrscheinlichkeit, dass eine infizierte Person frühzeitig durch Interventionen identifiziert und isoliert wird. Aus der Kalibrierung ergibt sich, dass diese Wahrscheinlichkeit einen Wert von 0,16 im ersten Zeitfenster und einen Wert von 0,23 in der zweiten Kalibrierungsperiode hat.

Die Ergebnisse der Kalibrierung sind Abbildung 1 zu entnehmen. Dort zeigen wir den tatsächlichen Wiener Epidemieverlauf (blaue Punkte) mit den Modellergebnissen (blaue Kurve).

Der simulierte Epidemieverlauf weicht vom tatsächlichen Verlauf im Schnitt um ca. 6 Prozent ab.

Methodisch erfolgt die Kalibrierung über eine numerische Optimierung. Dabei wird als Zielfunktion die quadratische Abweichung zwischen den Modellergebnissen und der tatsächlichen Zeitserie vorgegeben. Mittels eines adaptiven Algorithmus („*trust reflexive algorithm*“) werden die freien Parameterwerte angepasst, bis ein optimaler Fit für die Daten gefunden wird (Coleman und Li, 1996). Die so fixierten Modellparameter sind zum einen die Maßnahmenparameter (die Quarantänewahrscheinlichkeit sowie ein Maß für die Stärke von Lockdowns und Social Distancing), sowie ein Parameter, der die Dunkelziffer widerspiegelt, also wie viele der tatsächlich Infizierten zu Beginn der Simulation bereits positiv getestet wurden.

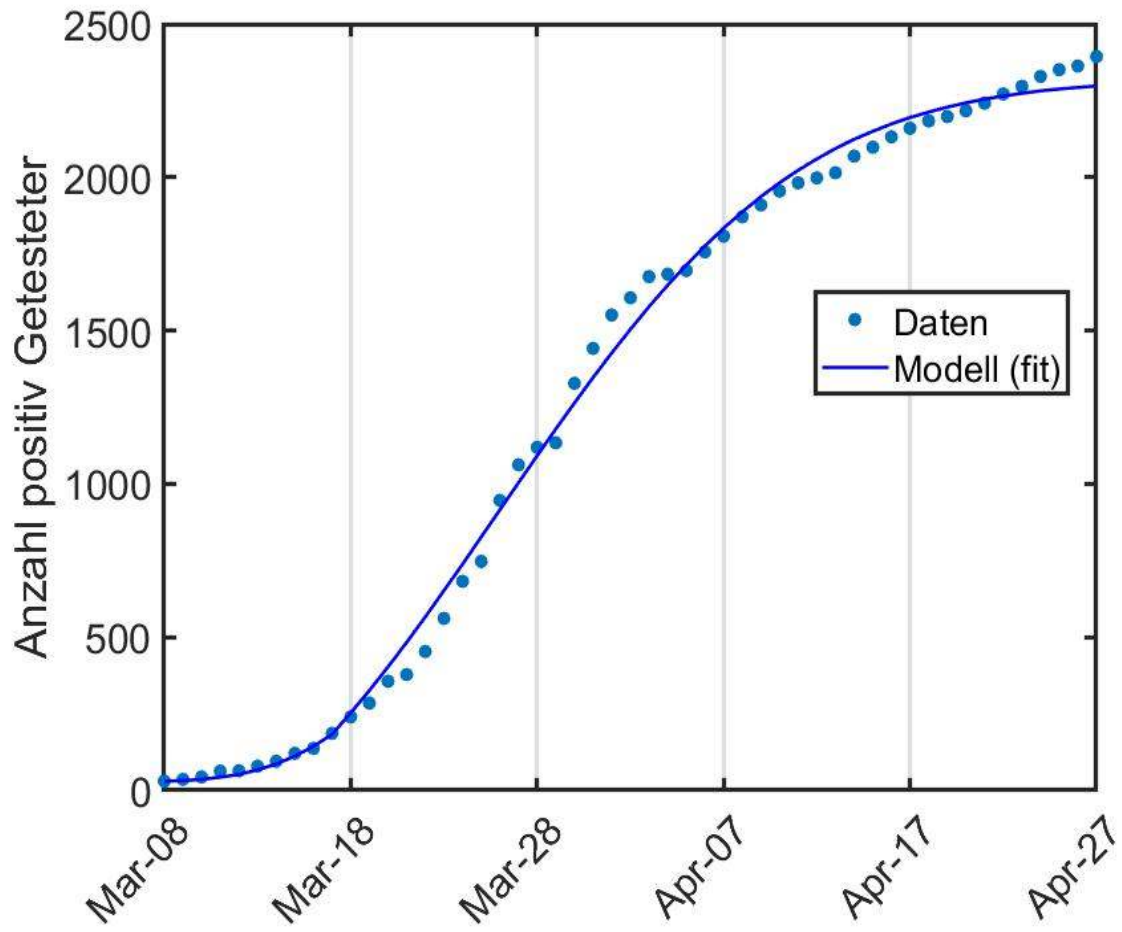


Abbildung 1: Ergebnis der Modellkalibrierung. Der Epidemieverlauf in Wien zwischen dem 8.3.2020 und dem 27.4.2020 (blaue Punkte) wird zusammen mit den Ergebnissen des SIR-X-Modells gezeigt.

Abschätzung der Effekte des Ärztefunkdienstes

Für diese Studie wurde eine Zeitserie zur Verfügung gestellt, welche die tägliche Anzahl von durchgeführten Fahrten des Ärztefunkdienstes oder vom Roten Kreuz im Beobachtungszeitraum enthält.

Abbildung 2 zeigt diese Zeitserie gemeinsam mit der Anzahl der täglichen Neuinfektionen in Wien.

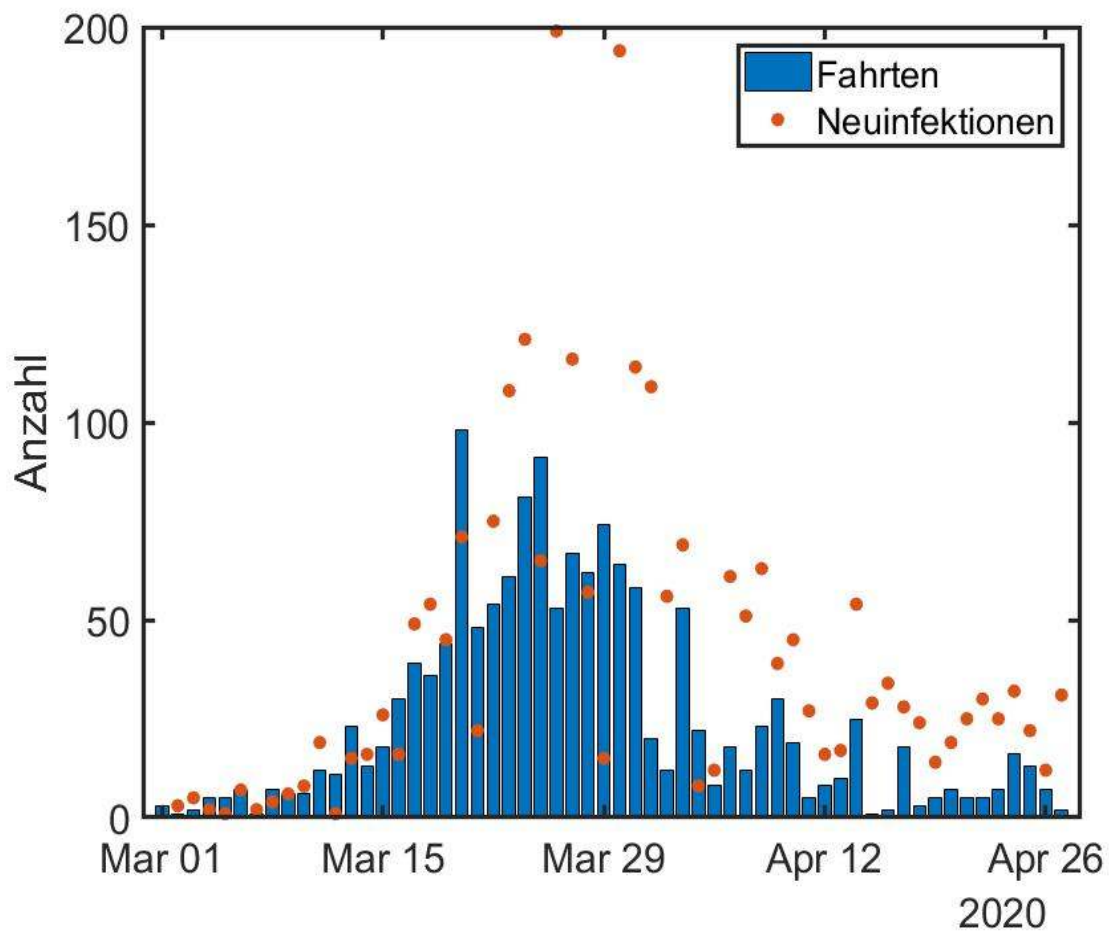


Abbildung 2: Die Anzahl der täglichen Fahrten mit positiv Getesteten (blaue Balken) wird der Zeitserie der täglichen Neuinfektionen (rote Punkte) gegenübergestellt.

Insgesamt wurden im Zeitraum 1.436 Fahrten mit positiv Getesteten durchgeführt, was ca. 60 Prozent der insgesamt in Wien positiv getesteten Personen entspricht. 186 dieser Fahrten wurden vom Roten Kreuz durchgeführt (insbesondere im April), die restlichen 1.252 vom Ärztefunkdienst.

An einzelnen Tagen entsteht der Eindruck, dass mehr Fahrten als Neuinfektionen zu verzeichnen sind. Diese Diskrepanzen ergeben sich aus der Zählweise im EMS, in dem das Datum der Meldung nicht ident

mit dem Datum der Fahrt sein muss. Wenn diese durch das Meldesystem erklärbaren Inkonsistenzen außer Acht gelassen werden, ergibt sich, dass durchschnittlich 58 Prozent der täglichen Neuinfektionen durch das Angebot des Ärztefunkdienstes frühzeitig isoliert werden konnten.

Für täglich 58 Prozent der Neuinfektionen wurde die effektive Dauer der Infektiosität reduziert, also der Zeitraum, in dem weitere Personen angesteckt werden können. Um eine Szenario-Simulation zur Präventivwirkung diese Fahrten durchführen zu können, muss abgeschätzt werden, um welchen Zeitraum sich diese Infektiositätsdauer reduzierte.

Wir gehen hier davon aus, dass ohne das entsprechende Angebot des Ärztefunkdienstes die betroffenen PatientInnen eigenständig ins Spital oder zum Arzt gegangen wären, wobei es zu zusätzlichen Ansteckungen hätte kommen können. Diese zusätzlichen Ansteckungen hätten dann auch in der zweiten Ansteckungsgeneration zu mehr Neuinfektionen geführt und so weiter. Wie lange diese Wege mit Anreise, Abreise, Wartezeit und eventuell anderen damit verbundenen Erledigungen gedauert hätten, ist schwer abzuschätzen. Wir treffen dazu also zwei Annahmen, welche die mögliche Bandbreite an realistischen Wegzeiten abdecken sollen:

Im Best-Case-Szenario gehen wir davon aus, dass sich für 58 Prozent der täglichen Neuinfektionen die Dauer der effektiven Infektiosität um einen Viertel Tag erhöht. Dies entspricht der Annahme, dass der Arzt- oder Spitalbesuch einen halben Vormittag oder Nachmittag dauert. Im Worst-Case-Szenario gehen wir davon aus, dass sich die Infektiositätsdauer um einen halben Tag erhöht. Hier dauert der Arzt- oder Spitalbesuch also einen ganzen Vormittag oder Nachmittag. Die Bandbreite an Szenarien zwischen diesen beiden Werten bezeichnen wir als „*credible interval*“ (CI): das „glaubwürdige Intervall“. Es gibt die Unsicherheit der Modellergebnisse an, welche sich aus den Unsicherheiten der Modellparameter ergeben.

Eine kürzlich in *Nature Medicine* veröffentlichte Studie schätzt, dass eine relevante Infektiosität bereits zwei Tage vor Symptombeginn vorliegt (He et al., 2020). Nach diesen zwei infektiösen Tagen setzen also die Symptome ein, und die Betroffenen werden einen Test anstreben. Von daher kann die effektive Dauer der Infektiosität mit etwas mehr als zwei Tagen angesetzt werden; wir gehen hier von 2,6 Tagen aus (Maier und Brockmann, 2020).

Szenariosimulationen: Verlauf der Epidemie ohne frühzeitige Isolation von Verdachtsfällen durch Transporte

Mit der erfolgten Abschätzung der Wirkung der Fahrten des Ärztefunkdienstes können nun hypothetische Szenarien simuliert werden, in denen sich die Infektiositätsdauer wie oben beschrieben erhöht und die dazugehörige Quarantänewahrscheinlichkeit im Modell entsprechend reduziert. Diese reduzierte Quarantänewahrscheinlichkeit führt zu einer größeren Anzahl an Infektionsketten, was zu einem nichtlinearen Anstieg an weiteren Infizierten führt.

Die Ergebnisse werden in Abbildung 3 gezeigt (siehe auch Tabelle 1).

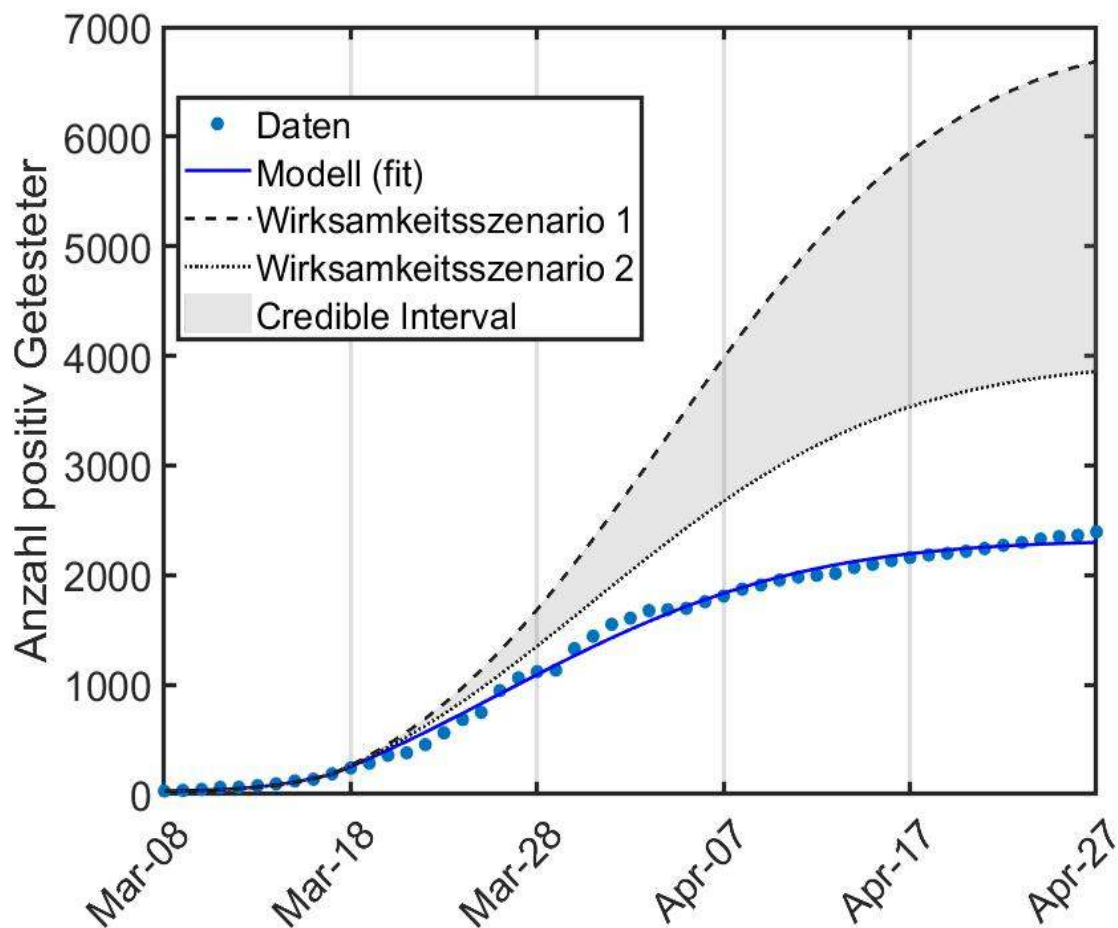


Abbildung 3: Ergebnisse der Modellrechnungen mit reduzierten Isolations- und Quarantänewahrscheinlichkeiten. Wir zeigen zwei Szenarien, in denen sich die Infektiositätsdauer um einen halben Tag (Wirksamkeitsszenario 1, strichlierte Linie) oder um ein Viertel Tag (Wirksamkeitsszenario 2, punktierte Linie) durch Wegfall der PatientInnentransporte erhöht hätte. Zum Vergleich mit den hypothetischen Szenarien wird die Modellrechnung des tatsächlichen Verlaufs gezeigt (blau).

Wir zeigen die Modellrechnung für den Worst Case (Wirksamkeitsszenario 1) und den Best Case (Wirksamkeitsszenario 2). Diese beiden Szenarien begrenzen das CI von anderen möglichen Epidemieverläufen, die sich innerhalb der Bandbreite der von uns getroffenen Annahmen bewegen. Zum Vergleich zeigen wir auch den tatsächlichen Epidemieverlauf in den Echtdateien und im Modell.

In allen betrachteten Szenarien zeigt sich eine deutliche Wirkung der Fahrten. Ohne die Tätigkeit des Ärztekundendienstes wären am 27. April 2020 zwischen 3.900 (Best Case) und 6.700 (Worst Case) Fälle in Wien zu erwarten gewesen, anstatt der tatsächlichen 2.400 Fälle. Auch der Höhepunkt der Epidemie hätte sich merklich nach hinten, bis in den April hinein, verschoben.

Tabelle 1: Vergleich der Fallzahlen des tatsächlichen Epidemieverlaufs mit Best- und Worst-Case-Szenarien.

	<i>Tatsächliche Fallzahlen</i>	<i>Szenario 1 (Worst Case)</i>	<i>Szenario 2 (Best Case)</i>
<i>16.03.2020</i>	137	142	143
<i>23.03.2020</i>	561	826	733
<i>30.03.2020</i>	1.328	2.105	1.624
<i>06.04.2020</i>	1.757	3.746	2.555
<i>13.04.2020</i>	2.015	5.234	3.268
<i>20.04.2020</i>	2.217	6.207	3.677
<i>27.04.2020</i>	2.394	6.688	3.859

Auswirkungen auf Spitalsaufenthalte und Intensivbelag

Auf Basis der Zeitserien an täglichen Neuinfektionen können auch Zu- und Abgänge in den Spitälern modelliert werden. Diese Modellierung beruht auf folgenden Annahmen:

- Ein gewisser Prozentsatz der täglichen Neuinfektionen nimmt einen schweren Krankheitsverlauf und muss im Spital behandelt werden. Die Spitalsaufnahme erfolgt zeitlich verzögert mit einer Verteilung der Wartezeit für die Aufnahme, welche aus den Daten geschätzt wird (Exponentialverteilung).
- Zuerst werden die PatientInnen im Normalpflegebereich aufgenommen. Ein gewisser Prozentsatz entwickelt einen kritischen Krankheitsverlauf und muss im Intensivbereich behandelt werden. Der Transfer von Normal- zu Intensivbereich erfolgt mit einer aus den Daten geschätzten Wartezeitverteilung (Exponentialverteilung).
- Für einen Teil der PatientInnen betragen diese Wartezeiten null Tage, sie werden zum Beispiel am selben Tag getestet und auf einer Intensivstation aufgenommen.
- Für Normal- und Intensivbetten werden unterschiedliche Verweildauern angenommen. Diese Verweildauern werden ebenfalls aus den Daten geschätzt (Weibull-Verteilung).
- Sämtliche Verteilungen sind alters- und geschlechtsabhängig. Die Aufnahmewahrscheinlichkeiten können aus den EMS-Daten modelliert werden in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht. Für die Verweildauern werden die Effekte von Alter und Geschlecht mittels eines *Cox Proportional Hazard Modells* (Cox, 1972) ermittelt.

Eine detailliertere Beschreibung des oben umrissenen Modells ist auf Anfrage verfügbar. Es ermöglicht eine granulare und risikostratifizierte Berechnung des Belags mit Covid-19-PatientInnen an Normal- und Intensivstationen in Abhängigkeit von Alters- und Geschlechtsverteilungen der positiv getesteten Personen.

Die Ergebnisse der Spitalsmodellierung sind in Abbildung 4 gezeigt für alle Spitalsbetten (Normal- und Intensivpflege). Wir zeigen die Ergebnisse für die tatsächlichen Bettenzahlen (blau) und die Modellrechnungen für die Wirksamkeitsszenarien (schwarz).

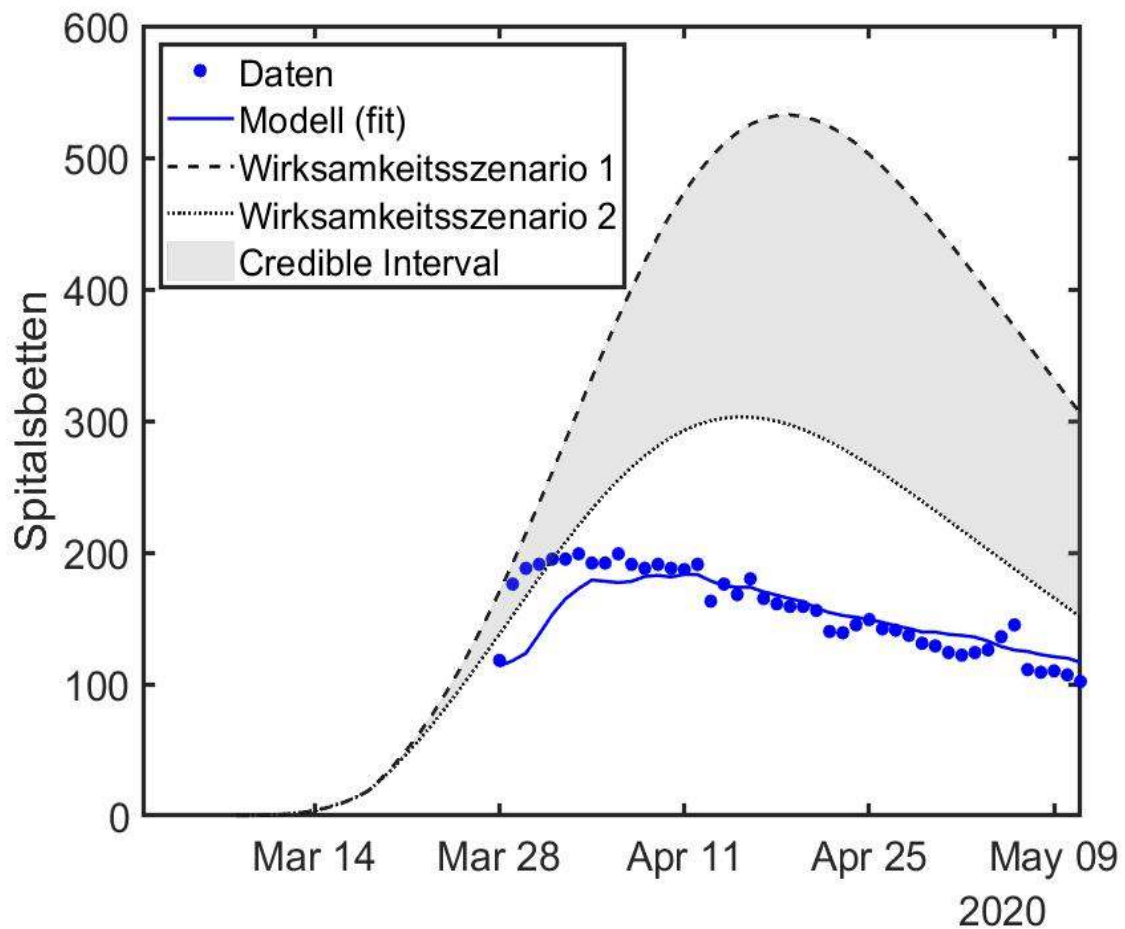


Abbildung 4: Modellrechnung zum Bedarf an Spitalsbetten (Normal- und Intensivbetten). Die tatsächlich belegten Betten (blaue Punkte) wurden ab Ende März vom Gesundheitsministerium täglich bereitgestellt. Die blaue Linie beschreibt das kalibrierte Modell, wie oben beschrieben, auf Basis der tatsächlichen Fallzahlen. Die unterschiedlichen Wirksamkeitsszenarien sind wieder in Schwarz dargestellt.

Tatsächlich wurde der Höhepunkt an benötigten Spitalsbetten Ende März bzw. Anfang April mit ca. 200 Betten erreicht. Ohne die Tätigkeit des Ärztefunkdienstes schätzen wir, dass der Höhepunkt erst Mitte April erreicht worden wäre – mit mindestens 300 und womöglich über 500 belegten Betten.

Die Ergebnisse für die Berechnung der Intensivbetten sind in Abbildung 5 dargestellt. Tatsächlich erreichte der Intensivbelag seinen Höhepunkt bei ca. 45 belegten Betten zwischen Ende März und Mitte April. Ohne die Tätigkeiten des Ärztefunkdienstes wäre dieser Höhepunkt vermutlich erst in der zweiten Aprilhälfte eingetreten bei mindestens 60 und möglicherweise mehr als 100 belegten Betten.

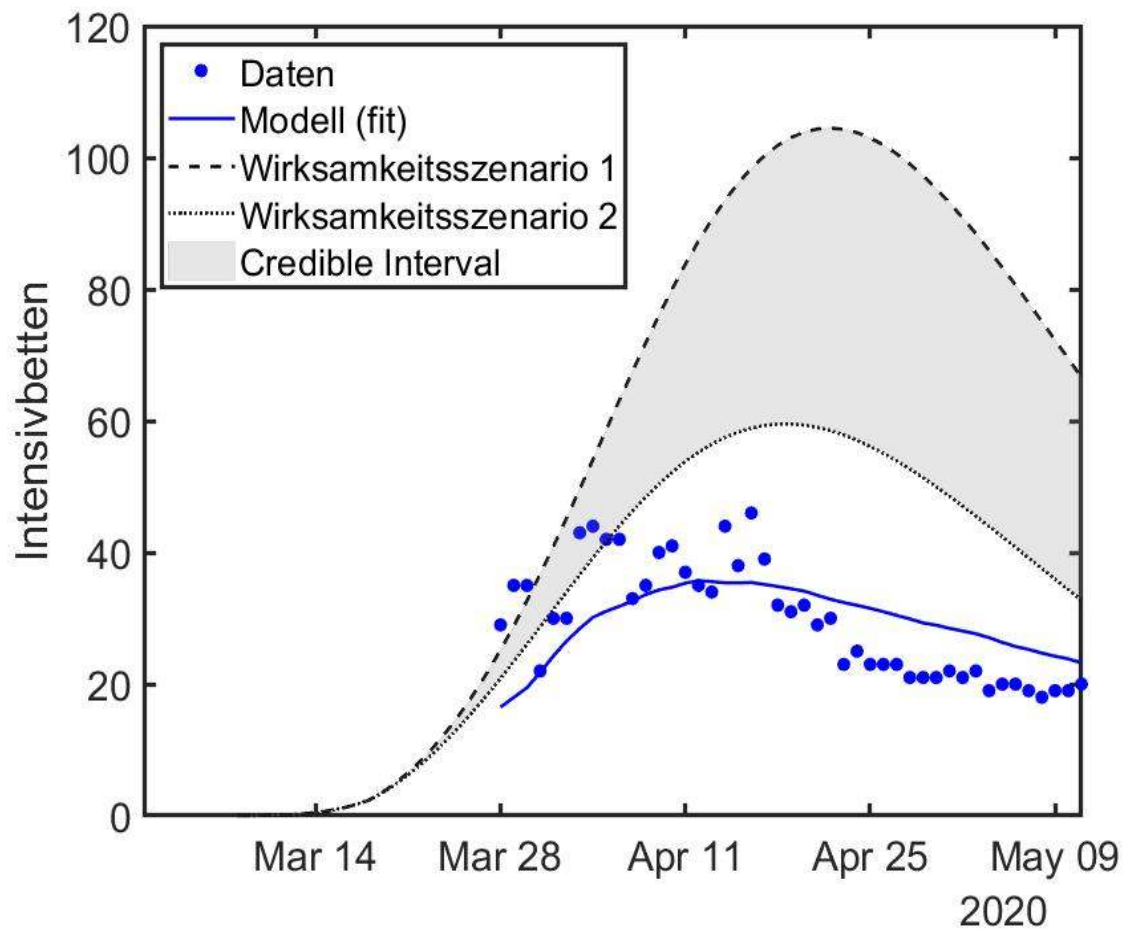


Abbildung 5: Modellrechnung zum Bedarf an Intensivbetten. Die tatsächlich belegten Betten (blaue Punkte) wurden ab Ende März vom Gesundheitsministerium täglich bereitgestellt. Die blaue Linie beschreibt das kalibrierte Modell, wie oben beschrieben, auf Basis der tatsächlichen Fallzahlen. Die unterschiedlichen Wirksamkeitsszenarien sind wieder in Schwarz dargestellt.

Die Ergebnisse für die Modellierung des Bettenbedarfs sind auch in Tabelle 2 und Tabelle 3 zusammengefasst.

Table 2: Vergleich der tatsächlichen Spitalsbetten mit den Ergebnissen der Modellrechnungen.

	<i>Tatsächliche Spitalsbetten</i>	<i>Szenario 1 (Worst Case)</i>	<i>Szenario 2 (Best Case)</i>
28.03.2020	118	237	181
04.04.2020	192	400	265
11.04.2020	187	511	302
18.04.2020	161	528	289
25.04.2020	149	472	246
02.05.2020	122	384	195

Table 3: Vergleich der tatsächlichen Intensivbetten mit den Ergebnissen der Modellrechnungen.

	<i>Tatsächliche Intensivbetten</i>	<i>Szenario 1 (Worst Case)</i>	<i>Szenario 2 (Best Case)</i>
28.03.2020	29	37	29
04.04.2020	44	68	46
11.04.2020	37	94	57
18.04.2020	32	104	59
25.04.2020	23	99	53
02.05.2020	21	83	42

Auswirkungen auf die Zahl der Sterbefälle

Die Auswirkungen der erhöhten Infektionszahlen in den betrachteten Szenarien können auch gegenüber den Sterbefällen betrachtet werden.

Für diese Auswertung betrachten wir an einem gegebenen Tag die Zahl der bisherigen Todesfälle laut Dashboard des Gesundheitsministeriums (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz 2020) im Verhältnis zur Anzahl der insgesamt positiv Getesteten. Danach skalieren wir die Fallzahlen der Szenario-Rechnungen um einen entsprechenden Faktor, um Schätzungen für die Auswirkungen auf die Sterbefälle zu erhalten.

Die Ergebnisse dieser Modellierung sind in Abbildung 6 zu sehen.

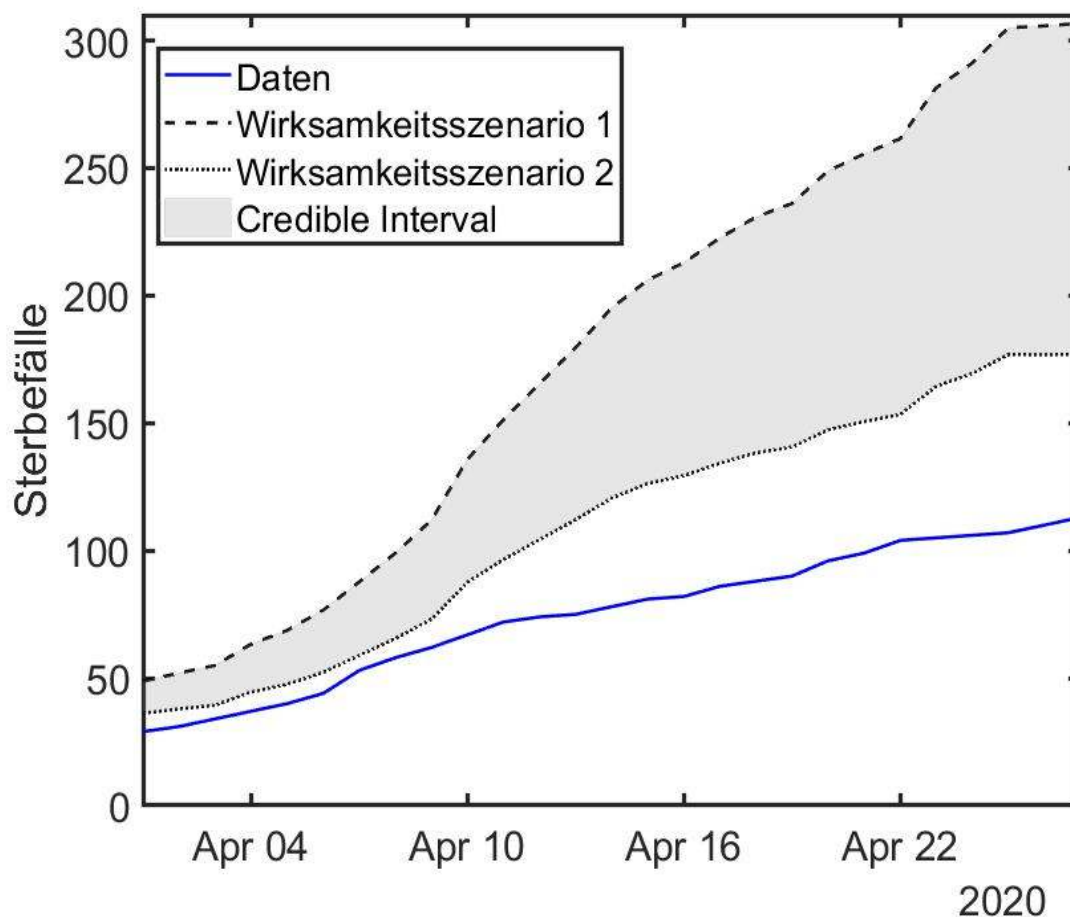


Abbildung 6: Modellierung der Sterbefälle. Basierend auf den tatsächlichen Sterbefällen (blau) wird die beobachtete Mortalitätsrate auf die Szenarien angewendet. Anstatt der etwas mehr als 100 Todesfälle in Wien hätte es zu mehr als 300 Todesfällen kommen können.

Die blaue Kurve zeigt den tatsächlichen Verlauf der Sterbefälle im April. Die schwarzen Kurven zeigen die hochgerechneten Sterbefälle für die beiden Szenarien.

Am 27. April zählte Wien tatsächlich 106 Sterbefälle. Wir schätzen, dass ohne die Tätigkeit des Ärztekundendienstes diese Zahl zwischen 177 (Best Case) und 307 (Worst Case) gelegen wäre (siehe auch Tabelle 4).

Tabelle 4: Vergleich der Sterbefälle des tatsächlichen Epidemieverlaufs mit den Best- und Worst-Case-Szenarien.

	<i>Tatsächliche Sterbefälle</i>	<i>Szenario 1 (Worst Case)</i>	<i>Szenario 2 (Best Case)</i>
<i>30.03.2020</i>	16	34	26
<i>06.04.2020</i>	34	77	52
<i>13.04.2020</i>	67	180	112
<i>20.04.2020</i>	86	249	147
<i>27.04.2020</i>	106	307	177

Diskussion

Etwa 60 Prozent der in Wien bis Ende April positiv getesteten Fälle wurde durch Fahrten des Ärztekundendienstes getestet. Dadurch wurde ein erheblicher Beitrag geleistet, die effektive Zeitspanne zu reduzieren, in der diese Personen durch Wege zu Arzt oder Ärztin bzw. ins Spital andere Personen anstecken hätten können.

Eine genauere Abschätzung des dadurch verursachten Präventionseffekts ist methodisch herausfordernd. Mit jeder einzelnen verhinderten Ansteckung wurden potentiell gleichzeitig mehrere Generationen von Infektionen verhindert – ganze Infektionsketten. Gerade in einer Phase der Epidemie, in der im Schnitt jede Infektion zu mehr als einer Neuansteckung führt, verstärkt ein Schneeballeffekt die Präventivwirkung erheblich.

Um das Ausmaß dieses Schneeballeffekts genauer quantifizieren zu können, verwenden wir hier ein für Wien kalibriertes mathematisches Modell für die Ausbreitung von Infektionswellen. Das Modell wurde explizit dazu entworfen, den Effekt von unterschiedlichen Präventionsmaßnahmen messbar zu machen (Maier und Brockmann, 2020). Insbesondere gilt dies für Maßnahmen, die auf die frühzeitige Isolation von potenziell infizierten Personen abzielen.

Um den Effekt des Ärztekundendienstes messbar zu machen, muss des Weiteren eine Annahme dafür getroffen werden, wie stark die Infektiositätsdauer verringert werden konnte. Wir gehen hier davon aus, dass ein Arzt- oder Spitalsbesuch zur Abklärung einer möglichen Infektion einen halben (Best-Case-Szenario, untere Schranke) oder ganzen (Worst-Case-Szenario, obere Schranke) Vormittag oder Nachmittag in Anspruch genommen hätte.

Unsere Modellrechnungen kommen zu dem Schluss, dass es unter den angeführten Annahmen und ohne die Tätigkeit des Ärztekundendienstes am 27. April in Wien zwischen 3.900 und 6.700 Infektionsfälle gegeben hätte. Letzteres wären etwa 2,8-mal so viele wie die tatsächlich beobachteten 2.400 Fälle gewesen.

An diesen Zahlen wird die multiplikative Präventionswirkung einer frühzeitigeren Isolation deutlich sichtbar. Eine Abschwächung der Quarantänewahrscheinlichkeit, welche einer frühzeitigeren Isolation von Infektionsfällen um einen Viertel Tag entspricht, führt über den betrachteten Zeitraum zu einer Steigerung um insgesamt 1.500 Fälle. Ein weiterer Viertel Tag führt zu einer zusätzlichen Steigerung von 2.800 Fällen. Diese Zahlen unterstreichen die Wichtigkeit effektiver Isolationsmaßnahmen von Verdachtsfällen.

Bei den Resultaten muss betont werden, dass es sich um Was-wäre-wenn-Rechnungen handelt. Hätte die Infektionskurve in Wien tatsächlich einen viel steileren Verlauf genommen, hätte man vermutlich mit stärkeren Lockdown-Maßnahmen gegengesteuert. Wie man die Kosten eines noch stärkeren gesamtgesellschaftlichen Lockdowns in Wien beziffern könnte, ist nicht klar.

Aus den simulierten Epidemieverläufen lässt sich auch der Effekt des Ärztekundendienstes auf die Spitalsaufenthalte von Covid-19-PatientInnen in Wien abschätzen. Die Anzahl der belegten Spitalsbetten erreichte tatsächlich Ende März ihren Höhepunkt (etwa 200 Betten). Bei den Intensivbetten wurde der Höhepunkt in der ersten Aprilhälfte mit etwa 45 belegten Betten verzeichnet. Auch diese Zahlen wären ohne die Fahrten des Ärztekundendienstes deutlich anders ausgefallen. Wir schätzen, dass in Wien ohne diese Fahrten in der zweiten Aprilhälfte 300 bis maximal 530 Spitalsbetten belegt gewesen wären, 60 bis 100 davon wären auf Intensivbetten entfallen.

Eine Abschätzung der hypothetischen Sterbefälle zeigt, dass ohne die Fahrten am 27. April zwischen 180 und 310 Todesopfer in Wien zu beklagen gewesen wären, im Vergleich zu den tatsächlichen 106 Fällen. Auch hier zeigt sich, dass im Worst Case der Epidemieverlauf in Wien fast dreimal so schwer ausgefallen wäre, wie er es tatsächlich war.

Diese Studie besitzt methodische Limitationen. Jede Modellierung ist nur so gut wie die Qualität der zugrundeliegenden Daten. So ist etwa die Dunkelziffer an Fällen – die Zahl der nicht getesteten Infizierten – in Wien unbekannt. Stichprobenstudien deuten allerdings darauf hin, dass diese

Dunkelziffer nicht viel höher liegen dürfte als die bekannte Zahl der Fälle (SORA Institute for Social Research and Consulting, 2020).

Doch selbst wenn die Dunkelziffer deutlich höher wäre, würde die Hauptaussage dieser Studie bestehen bleiben, da es dann natürlich auch in der Simulation eine entsprechend höhere Dunkelziffer gäbe.

Für die Durchführung der Berechnungen müssen Annahmen zu den Modellparametern gemacht werden. Für viele dieser Parameter (etwa die Dauer der Infektiosität) gibt es bereits umfangreiche wissenschaftliche Studien, die hier genauere Annahmen ermöglichen. Einige Parameter können indirekt aus den beobachteten Zeitserien der Fälle geschätzt werden, wie wir es hier zur Modellkalibrierung getan haben.

Ein Schlüsselparameter für unsere Studie ist die Veränderung der Quarantänewahrscheinlichkeit aufgrund einer veränderten Dauer der effektiven Infektiosität, also der Zeitspanne zwischen Infektiositätsbeginn und Isolation. Hier nehmen wir an, dass sich diese Zeitspanne um die Dauer eines Arzt- oder Spitalbesuchs erhöht hätte. Dazu nehmen wir ein glaubwürdiges Intervall (*Credible Interval*) für diese Dauer zwischen einem Viertel und halben Tag an, was einem halben oder ganzen Vormittag bzw. Nachmittag entspricht (soziale Kontakte sind ja zum überwiegenden Teil auf die Wachzeiten konzentriert). Dieses *Credible Interval* der Modellannahmen wurde auf die Fallzahlen weitergerechnet. Somit können wir die Unsicherheit der Resultate abbilden, die aus der Unbekanntheit der tatsächlichen Modellparameter stammt.

Studien zeigen, dass die Infektiosität zu Symptombeginn am höchsten ist (He et al., 2020). Die modellierte Präventivwirkung fällt genau in diese Phase. Da wir eine gleichbleibende Infektiosität annehmen, wird die tatsächliche Präventivwirkung vielleicht sogar noch unterschätzt (konservativer Ansatz).

Für die Modellierung der Spitalsbetten und Intensivbetten verwenden wir ein sogenanntes Stock-Flow-Modell, in dem die empirischen Wartezeitverteilungen – zwischen positivem Test und Spitalaufnahme, möglichen Verlegungen zur Intensivstation und dann zur Entlassung – alters- und geschlechtsspezifisch abgebildet sind.

Im Vergleich zur Modellierung der Fallzahlen zeigt sich hier eine größere Abweichung zwischen Modell und tatsächlicher Entwicklung. Diese Schwankungen ergeben sich in erster Linie aus der viel geringeren Zahl an Beobachtungen, mittels derer das Modell kalibriert werden kann. Die grundlegenden zeitlichen Veränderungen, etwa wann der Höhepunkt im Belag war und wie langsam oder schnell die PatientInnen wieder entlassen werden, kann das Modell reproduzieren.

Die Güte der Schätzung der hypothetischen Sterbefälle ist ebenfalls stark von der Qualität der zur Verfügung stehenden Daten abhängig. Auch hier ist davon auszugehen, dass eine Unterscheidung zwischen „verstorben an Covid-19“ und „verstorben mit Covid-19“ nicht immer konsistent gemacht wurde, gleichzeitig womöglich auch Personen unbemerkt mit oder durch Covid-19 verstorben sind.

Ähnlich wie für die Dunkelziffer gilt auch hier, dass unsere Modellrechnungen annehmen, dass etwaige systematische Abweichungen dieser Art ebenso in der Simulation auftreten.

Schlussfolgerungen

Die Tätigkeit des Ärztendienstes lieferte einen signifikanten Beitrag dazu, Infektionsfälle frühzeitig zu isolieren. Dadurch trat eine multiplikative Präventivwirkung ein. Mit jeder Stunde, um die diese Isolierung frühzeitig erfolgte, wurden mögliche neue Infektionsketten und damit Generationen von Ansteckungen verhindert.

Unsere Simulationsstudie kommt zu dem Schluss, dass ohne die Fahrten des Ärztendienstes der Epidemieverlauf in Wien fast dreimal so heftig hätte ausfallen können. Ende April hätte es dann statt der 2.400 Fälle in Wien zwischen 3.900 und 6.700 Fälle gegeben. 300 bis 530 PatientInnen wären am Höhepunkt der Epidemie im Spital gelegen (tatsächlich: 200) und bis zu 100 Personen auf Intensivstationen (tatsächlich: 40). Anstatt von 106 Todesopfern hätten wir zwischen 180 und 310 Sterbefälle erwartet.

Prinzipiell kann man zwei Arten von nicht-pharmazeutischen Interventionen unterscheiden. Solche, die auf eine frühzeitige Identifizierung und Isolation von Infizierten abzielen (e.g., Contact Tracing), und solche, die eine gesamtgesellschaftliche Reduzierung der Kontaktwahrscheinlichkeiten anstreben (e.g., Lockdown). Letztere sind aufgrund der gravierenden Einschnitte in sämtliche Bereiche des öffentlichen Lebens mit erheblichen wirtschaftlichen, psychosozialen und gesundheitlichen Risiken verbunden.

Unsere Studie zeigt, dass Maßnahmen, welche die effektive Infektiositätsdauer auch nur um wenige Stunden für einen großen Teil der Erkrankten reduzieren, eine deutliche Wirkung entfalten – und dies ohne weitreichende Kollateralschäden in anderen Lebensbereichen zu verursachen. Wie die vorliegende Studie zeigt, lieferten die Fahrten des Ärztendienstes einen signifikanten Beitrag zu einer solchen frühzeitigen Identifizierung und Isolation und konnten so dazu beitragen, einen schlimmeren Epidemieverlauf in Wien zu verhindern.

Literatur

- Anderson, Roy M, und Robert M May. 1992. *Infectious Diseases of Humans: Dynamics and Control*. Oxford: Oxford University Press.
- Brauer, Fred. 2008. *Compartmental Models in Epidemiology*. Heidelberg: Springer, Berlin.
- Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz. 2020. *Amtliches Dashboard COVID19*. Zugriff am 13. 5 2020. <https://info.gesundheitsministerium.at/>.
- . 2020. *COVID-Prognose-Konsortium*. Zugriff am 13. 5 2020. <https://www.sozialministerium.at/Informationen-zum-Coronavirus/COVID-Prognose-Konsortium.html>.
- Coleman, T.F., und Y. Li. 1996. „An Interior, Trust Region Approach for Nonlinear Minimization Subject to Bounds.“ *SIAM Journal on Optimization* 6: 418-445.
- Cox, DR. 1972. „Regression models and life tables (with discussion).“ *J R Statist Soc B* 34: 187-220.
- Desvars-Larrive, Amélie, Elma Dervic, Nils Haug, Thomas Niederkrotenthaler, Jiaying Chen, und et al. 2020. „A structured open dataset of government interventions in response to COVID-19.“ *medRxiv* 2020.05.04.20090498.
- Fineberg, Harvey. 2013. „The Paradox of Disease Prevention. Celebrated in Principle, Resisted in Practice.“ *JAMA* 310 (1): 85-90.
- He, Xi, Eric Lau, Peng Wu, Xilong Deng, Jiao Wang, und et al. 2020. „Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19.“ *Nature Medicine* 26: 672-675.
- Maier, Benjamin F, und Dirk Brockmann. 2020. *Event Horizon - COVID-19*. Zugriff am 13. 5 2020. <http://rocs.hu-berlin.de/corona/>.
- Maier, Benjamin, und Dirk Brockmann. 2020. „Effective containment explains subexponential growth in recent confirmed COVID-19 cases in China.“ *Science* eabb4557.
- Richter, Lukas, Daniela Schmid, Ali Chakeri, Sabine Maritschnik, Sabine Pfeiffer, und Ernst Stadlober. 2020. *Epidemiologische Parameter des COVID19 Ausbruchs – Update 3.4.2020, Österreich*. Wien: AGES.
- SORA Institute for Social Research and Consulting. 2020. *Spread of SARS-CoV-2 in Austria. PCR tests in a representative sample. Study report*. Wien: Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung.