

 DISCUSSION
PAPER

1. April 2020

von Ralph Tunder, Vivienne Dierkes & Pavel Vitis

COVID-19: Maßnahmen und Simulationsmodelle

Die Zahlen stammen nicht vom Virus, die Zahlen werden von den Menschen gemacht. Die statistische Berichterstattung hinsichtlich der Entwicklungen im Rahmen der COVID-19-Pandemie unterscheidet sich sowohl interinstitutionell als auch international: Die Werte der Johns Hopkins University und des Robert-Koch-Instituts weichen voneinander ab, die auf die verschiedenen Länder und Regionen bezogenen Kennzahlen widersprechen sich und die Prognosen über den weiteren Verlauf der Pandemie und deren Auswirkungen sind breit gefächert. Während ausschließlich die Anzahl der intensivmedizinisch betreuten Patienten präzise bestimmbar ist, stellt sich somit die Frage, inwieweit die Statistiken belastbar und vergleichbar sind. Die Maßnahmen zur Eindämmung der Pandemie basieren auf Berechnungen von Simulationsmodellen mit vorab definierten Modellparametern, die ihre Grundlage in belastbaren Kennzahlen und Annahmen finden müssen. Was ist die Folge von unpräzisen Zahlen und Annahmen, die zwar plausibel sind, aber von unterschiedlichen Voraussetzungen ausgehen?

1. Cum hoc ergo propter hoc

Die Gesamtzahl der an dem Virus SARS-CoV-2 infizierten Patienten ist unbekannt. Wer keine oder nur geringfügige Symptome zeigt, wird gar nicht oder nur begrenzt getestet. Die gegenüber der Öffentlichkeit kommunizierte *Anzahl der Infizierten* hat somit keine starke Aussagekraft. Sie gibt lediglich Auskunft über die Anzahl der identifizierten Infizierten. Letzterer Wert wird von der Johns Hopkins University nach Ländern differenziert in eine Rangreihe gestellt, selbiges gilt für die Summe der Todesfälle. Die Aussagekraft dieser Rangreihe ist

jedoch gleichermaßen beschränkt. Sowohl die Anzahl der Infizierten als auch die Anzahl der Todesfälle sind nicht präzise: Während nur Fälle, die aufgrund ihrer Symptomatik getestet wurden, bekannt sein können, sind die Zahlen international nicht vergleichbar, da in den verschiedenen Ländern unterschiedliche Testkapazitäten und -bereitschaften vorliegen. Grundsätzlich ist jedoch davon auszugehen, dass die Zahl der Infizierten deutlich höher ist, ohne dass es zurzeit einen belastbaren Nachweis für einen entsprechenden Faktor gibt. Um ebendiesen bestimmen zu können, wäre eine repräsentative Stichprobe notwendig.

Solange es keine präzise Anzahl an Infizierten gibt, ist auch die Frage nach den durch COVID-19 bedingten Todesfällen nicht eindeutig zu beantworten. Mitunter kann die Mortalitätsrate zu hoch sein, da sie nur die bekannt positiv Infizierten berücksichtigt. Bei der Berücksichtigung sämtlicher Krankheitsfälle, auch der Verläufe mit leichten oder keinen Symptomen, ist die Mortalitätsrate weitaus niedriger anzusetzen. Das präzise Sterberisiko bleibt somit unbekannt. Mehr Klarheit könnte die Letalitätsrate bieten. Diese spiegelt das Verhältnis zwischen den an einer bestimmten Krankheit Verstorbenen und der Anzahl neuer Fälle wider. Insbesondere bei akuten Fällen, so auch bei der gegenwärtigen Corona-Pandemie, ist die Letalitätsrate aussagestärker als die Mortalitätsrate.¹

Die aktuell veröffentlichten Daten (Stand: 1. April 2020) zu den Mortalitätsraten in den einzelnen Ländern (etwa Italien 11,75 Prozent, Spanien 8,82 Prozent, Großbritannien 7,03 Prozent oder Frankreich 6,68 Prozent)² sind aus einem weiteren Grund unpräzise und im Zweifel zu hoch angesetzt: Da die bekannten Todesfälle zwar mit der

Corona-Infektion korrelieren, aber die Todesfolge nicht zwingend kausal von der Erkrankung herrühren muss, ist insbesondere in Fällen von Multimorbidität zu hinterfragen, auf welcher Ursache die Todesfolge beruht.

Im Rahmen der durch das Robert-Koch-Institut veröffentlichten Statistik wird COVID-19 jedoch unmittelbar als Todesfolge zugewiesen, sobald das Virus bei Sterbenden nachgewiesen werden konnte. Im Falle eines multimorbiden Verstorbenen ist diese Kausalität nicht automatisch gegeben – trotzdem wird sie bei der statistischen Erfassung von Corona unterstellt.³

Zusammenfassend kreist das Grundproblem der Mortalitätsrate um die zwei Fragen, (1) welche Kennzahlen miteinander ins Verhältnis gesetzt werden sollen und (2) ob diese letztlich auf zuverlässigen statistischen Daten beruhen: Werden im Nenner der Berechnungen die *Anzahl der tatsächlich Infizierten* oder nur die der positiv getesteten Patienten aufgeführt? Inkludiert der Zähler wirklich nur die Verstorbenen, deren Todesursache kausal auf COVID-19 zurückgeht?

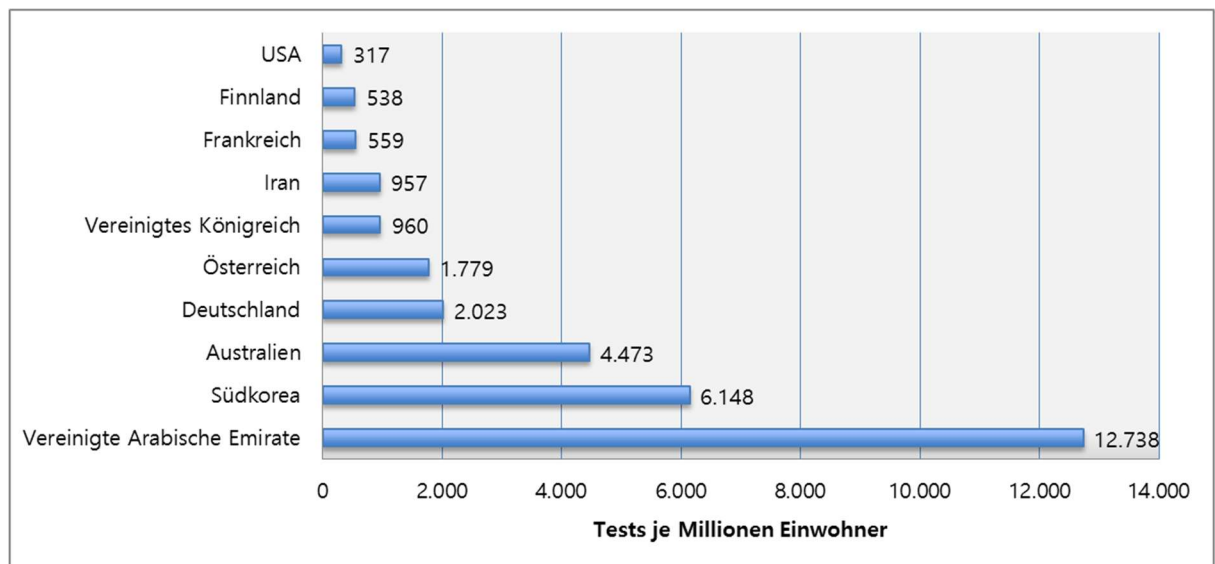


Abb. 1: Durchschnittliche Anzahl durchgeführter Tests für das COVID-19 in ausgewählten Ländern bis 20.03.2020
Quelle: Statista (2020, b)

¹ Bonita, Beaglehole & Kjellstrom (2008)

³ Robert-Koch-Institut (2011)

² Statista (2020a)

2. Maßnahmen

Das Virus SARS-CoV-2 bedroht mit der von ihm ausgelösten COVID-19-Pandemie die Gesundheit der Weltbevölkerung – dies erfolgte so zuletzt zu Beginn des 20. Jahrhunderts im Rahmen der Spanischen Grippe. Ohne Zugang zu einem entsprechenden Impfstoff und adäquaten Wirkstoffen zur Heilung werden tiefgreifende, globale Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung ergriffen, wie es das letzte Mal im Rahmen der Influenzapandemie H1N1 von 1918 bis 1919 der Fall war. Damals reagierten die USA mit einer Reihe nicht-pharmazeutischer Interventionen auf die rasante Verbreitung der Spanischen Grippe. Wie auch heute zielten die damals ergriffenen Maßnahmen speziell darauf ab, den Anstieg der Virusübertragung durch Reduzierung der Kontaktraten in der Allgemeinbevölkerung zu verringern. Die in diesem Zusammenhang ergriffenen Maßnahmen umfassten die Schließung von Schulen, Kirchen, Bars und anderen sozialen Einrichtungen. Städte, in denen diese Interventionen zu Beginn der Epidemie durchgeführt wurden, konnten für die Dauer dieser Maßnahmen eine Reduktion der Fallzahlen verzeichnen und als weiteren Effekt die Mortalitätsrate verringern. Mit Aufhebung der Kontrollmaßnahmen stieg die Übertragungsrate jedoch wieder an.⁴

COVID-19SARS-CoV-2, ein Virus mit vergleichbarer Letalität wie bei der H1N1-Influenza von 1918, stellt die meisten Länder vor Herausforderungen, die sich in keiner Weise zu denen vor hundert Jahren unterscheiden. Der weitere Umgang mit COVID-19 entspricht den bekannten Mustern, selbst wenn die wissenschaftlichen Erkenntnisse über Infektionskrankheiten und ihrer Prävention sich auf einem ganz anderen Niveau befinden als noch vor hundert Jahren. Mit der sogenannten Suppression einerseits und der Mitigation andererseits werden

zwei grundsätzliche Handlungsstränge in der Bekämpfung einer Pandemie verfolgt.⁵

2.1 Suppression

Das grundlegende Ziel der Suppression besteht darin, die Reproduktionszahl, sprich die durchschnittliche Anzahl der von jedem Fall erzeugten Sekundärfälle R auf unter 1 zu reduzieren und damit die Fallzahlen auf ein niedriges Niveau zu senken oder die Übertragung von Mensch zu Mensch zu eliminieren, vergleichbar mit der Vorgehensweise bei SARS oder bei der Ebola-Epidemie. Sämtliche Maßnahmen zielen somit darauf ab, die Ausbreitung des Virus vollständig zu verhindern und die Pandemie konsequent zu unterdrücken. Als große (auch gesellschaftliche und wirtschaftliche) Herausforderung zeichnet sich hierbei ab, dass die nicht-pharmazeutischen Interventionen solange aufrechtzuerhalten sind, wie die Zirkulation des Virus in einer bestimmten Geschwindigkeit anhält (maximale Zirkulationsgeschwindigkeit nach Maßgabe der Versorgungskapazitäten) oder solange ein adäquater Impfstoff nicht verfügbar ist.⁶ Im Falle von COVID-19 geht man von mindestens 12 bis 18 Monaten aus, bis ein Impfstoff verfügbar ist, ohne zu wissen, wie hoch die Wirksamkeit des Erstimpfstoffes tatsächlich sein wird.⁷

Vor diesem Hintergrund stellt die Akzeptanz der nicht-pharmazeutischen Interventionen innerhalb der Bevölkerung eine weitere Herausforderung für die *Suppression* dar, denn sobald die Maßnahmen ihre gewollten Wirkungen zeigen, nimmt die Akzeptanz für ebendiese ab. Im schlimmsten Fall werden die Maßnahmen in der Retrospektive als zu überzogen wahrgenommen, weil die befürchteten Negativszenarien nicht eingetreten sind. Erschwerend kommt hinzu, dass die Verinnerlichung des Maßnahmenkatalogs in der Bevölkerung als Nebeneffekt eine Katastrophenerwartung auslöst, die bei gewünscht positiver Wirkung der Maßnahmen nicht erfüllt wird, gleichwohl jedoch einen gewissen Grad an Enttäuschung hervorruft – ein Zusammen-

⁴ Bootsma & Ferguson (2007)

⁵ Ferguson et al. (2020)

⁶ Ferguson et al. (2020)

⁷ Vfa (2020)

hang, der aus dem sogenannten *Confirmation/Disconfirmation Paradigm* bekannt ist.⁸

2.2 Mitigation

Der zweite Handlungsstrang zur Eindämmung einer Pandemie will die Übertragung des Virus nicht vollständig unterbinden, sondern die gesundheitlichen Auswirkungen begrenzen. Die nicht-pharmazeutischen Interventionen sollen in diesem Fall dazu führen, dass sich eine Immunität in der Bevölkerung durch eine kontrollierte Infektion aufbaut. Sobald die Immunität innerhalb der Bevölkerung einen gewissen Grad erreicht hat, wird die Übertragungsrate des Virus eingedämmt - Herdenimmunität. Anschließend folgt ein Rückgang der Fallzahlen.⁹

Dieser Handlungsstrang entspricht der US-amerikanischen Vorgehensweise im Jahr 1918 und den internationalen Maßnahmen zur Bekämpfung der Influenzapandemien von 1957, 1968 und 2009. So wurde beispielsweise im Verlauf der Pandemie 2009 ein erster Impfstoff zunächst nur an Personen der Risikogruppen verabreicht, um die Herdenimmunität nicht zu konterkarieren.¹⁰

Die zwei vorangegangenen Maßnahmen unterscheiden sich konkret darin, ob sie darauf abzielen, die Reproduktionszahl R auf unter 1 (*Suppression*) zu reduzieren und damit die Fallzahlen zu verringern oder lediglich die Ausbreitung durch Reduzierung von R zu verlangsamen, jedoch nicht auf unter 1 runterzufahren (Mitigation).¹¹

3. Epidemiologische Modellierungsansätze

Mit Auftreten der aktuellen COVID-19-Pandemie, erhöht sich erneut das Interesse an der Modellierung der Dynamik und der Vorhersage der Ent-

wicklung neu auftretender und wiederkehrender Krankheiten. Die historische Suche nach einem Verständnis des Ausbreitungsverhaltens von Infektionskrankheiten resultierte in der Vergangenheit in unterschiedlichen Modellierungsansätzen.

3.1 S-I-R-Modell

Das erste Modell wurde 1927 von Kermack und McKendrick erstellt: Für Infektionen, die nach einmaliger Erkrankung in einer Immunität resultieren, entwickelten sie das S-I-R-Modell. Die drei Buchstaben stehen stellvertretend für drei Populationsklassen, die dem S-I-R-Modell zugrunde liegen. Zum einen sind es gesunde Menschen, die sich infizieren können (S = Susceptible), zum anderen sind es bereits infizierte Personen, die das Virus im weiteren Verlauf weitergeben können (I = Infected), und zu guter Letzt sind es von der Krankheit genesene Menschen (R = Recovered). Das S-I-R-Modell berechnet die Geschwindigkeit der Übergänge zwischen den drei Populationsklassen, um somit den potenziellen Verlauf von Krankheiten zu skizzieren. Dies erfolgt unter der Berücksichtigung weiterer Einflussfaktoren wie Kontaktraten, Ansteckungswahrscheinlichkeit und Krankheitsdauer. Das S-I-R-Modell dient als Basis für weitere Modellvarianten.¹²

3.2 Zellularautomaten-basierte Modelle

Neben den S-I-R-basierten Modellen gibt es einen zweiten Modellansatz in Form der zellularautomaten-basierenden Modelle. Charakteristisch für diese Modellansätze ist es, dass sie räumliche Parameter integrieren, um die in der Natur vorkommende heterogene Umgebung besser widerzuspiegeln. Diese Modelle sind eine Alternative zur Verwendung deterministischer Differentialgleichungen, die einen zweidimensionalen zellulären Automaten verwenden, um ortsspezifische Merkmale der anfälligen (susceptible) Population zusammen mit stochastischen Parametern zu modellieren, die die

⁸ Das Confirmation/Disconfirmation Paradigm stammt aus der Zufriedenheitsforschung. Einen kurzen Überblick über die historische Entwicklung des C/D-Paradigmas gibt Dittmar (2000, S. 22f.)

⁹ Ferguson et al. (2020)

¹⁰ Ferguson et al. (2020)

¹¹ Ferguson et al. (2020)

¹² Möhler (2010)

Wahrscheinlichkeitscharakteristik der Krankheitsübertragung erfassen.

Da zellularen Automaten-basierende Modelle jedoch das soziale Verhalten und die dynamischen Interaktionen zwischen Individuen in der modellierten Gemeinschaft vernachlässigen, wurden diese durch agentenbasierte Modelle ergänzt.¹³

3.2 Agentenbasierte Modelle

Agentenbasierte Modelle ähneln zellularen Automatenmodellen, berücksichtigen jedoch zusätzlich die Auswirkungen der sozialen Interaktionen einzelner Objekte. Der große Vorteil von agentenbasierten Modellen besteht darin, dass diese Modelle epidemiologischen Forschern eine vorläufige *Was-wäre-wenn*-Analyse ermöglichen, um das Verhalten von Systemen unter verschiedenen Bedingungen zu untersuchen und anschließend eine Bewertung vorzunehmen, welche alternativen Kontrollstrategien zur Bekämpfung von Epidemien anzuwenden sind.¹⁴

Grundsätzlich können herkömmliche Modellierungstechniken bestenfalls nur eine allgemeine Vorstellung davon vermitteln, wie sich eine Pandemie entwickeln könnte, da wichtige Informationen zu Modellparametern im Allgemeinen nicht verfügbar sind. Bezogen auf das S-I-R-Modell fehlen beispielsweise Angaben zum ursprünglichen Anteil anfälliger Personen in der Bevölkerung S_0 sowie zur Basisreproduktionszahl R_0 . Ohne genaue Informationen zu beiden Parametern ist es unmöglich, den Anteil der infizierten Bevölkerung oder die Angriffsrate der Epidemie vorherzusagen.¹⁵

4. Simulationsmodelle von COVID-19

4.1 Modellierung nach Ferguson et al.

Im Rahmen einer aktuellen Studie untersuchen Ferguson et al. (2020) die Machbarkeit und die Auswirkungen von Maßnahmen zur Suppression und

Mitigation von COVID-19 unter Berücksichtigung einer Reihe nicht-pharmazeutischer Interventionen. Selbst wenn die Studie sehr zeitnah (parallel) auf die gegenwärtige Pandemie eingeht, stoßen die Aussagen der Ergebnisse vornehmlich hinsichtlich zweier unbekannter Modellparameter an ihre Grenzen.¹⁶

Erstens ist zum aktuellen Zeitpunkt die Übertragung von SARS-CoV-2 als neu auftretendes Virus noch nicht vollumfänglich nachvollzogen. Zweitens hängen davon einerseits die Wirkungsweisen vieler der im Rahmen der Studie beschriebenen nicht-pharmazeutischen Interventionen entscheidend ab, andererseits ist noch völlig unklar, wie die Maßnahmen von der Bevölkerung akzeptiert und durch entsprechende Verhaltensweisen umgesetzt werden. Während sich die Maßnahmen zwischen Ländern und sogar Gemeinden mit hoher Wahrscheinlichkeit unterscheiden werden, geht die Studie von einer grundsätzlichen Änderung des Bevölkerungsverhaltens auch ohne staatlich vorgeschriebene Interventionen aus.¹⁷

In der epidemiologischen Modellierung der Corona-Pandemie beschränken sich Ferguson et al. auf Großbritannien und die USA. Das individuelle Simulationsmodell, das Ferguson et al. 2006 vorab bereits zur Unterstützung der Planung einer Influenza-Pandemie entwickelt hatten, wurde in diesem Zusammenhang modifiziert. Grundsätzlich kommt die Studie zum Ergebnis, dass die Wirksamkeit einer isolierten Intervention wahrscheinlich begrenzt ist und mehrere Interventionen kombiniert werden müssten, um einen wesentlichen Einfluss auf die Übertragung des Virus zu haben. Des Weiteren ist den Studienergebnissen zu entnehmen, dass die Isolierung bzw. Quarantäne von Verdachtsfällen und der in demselben Haushalt lebenden Personen sowie die soziale Distanzierung älterer Menschen und weiterer Risikogruppen die notwendige Inanspruchnahme kurativer bzw. medizi-

¹³ Möhler (2010)

¹⁴ Khalil (2012)

¹⁵ Katriel & Stone (2010)

¹⁶ Ferguson et al. (2020)

¹⁷ Ferguson et al. (2020)

nischer Versorgung um 2/3 reduzieren und die Anzahl der Todesfälle um 50 Prozent senken könnten. Allerdings reichen diese positiven Effekte und die damit einhergehende, gemilderte Epidemie nicht aus, um die (punktuelle) Kollabierung des Gesundheitssystems zu verhindern und um die Gesamtzahl an Todesfällen unter Hunderttausend zu drücken. Folglich empfehlen Ferguson et al. einen Schwerpunkt der Maßnahmen und politischen Optionen auf *Suppression* zu setzen, weil die reine Verlangsamung der Ausbreitung im Sinne der *Mitigation* – etwa in Form der kontrollierten Infektion – nicht ausreicht. Der Strategiewechsel in Großbritannien zur Eindämmung der Pandemie geht genau in diese Richtung.¹⁸

4.2 Modellierung nach Kermack und McKendrick

Basierend auf den Vorarbeiten von De Keninck¹⁹ lässt sich der Verlauf einer Epidemie nach dem S-

ckungsrate) 2,72 beträgt²⁰, lässt sich der Verlauf der Epidemie wie folgt modellieren.

Modellannahmen:²¹

- Bevölkerungsgröße: 80 Millionen,
- durchschnittliche Inkubationszeit: 5,2 Tage,
- durchschnittlicher Ansteckungszeitraum: 2,9 Tage,
- Sterblichkeitsrate: 2 Prozent,
- durchschnittliches Zeitintervall vom Ende der Inkubation zum Tod: 21,33 Tage,
- durchschnittlicher Krankenhausaufenthalt: 10,15 Tage,
- durchschnittliche Genesungsdauer für milde Verläufe: 11,1 Tage,
- Rate der Krankheitsfälle mit stationärem Behandlungsbedarf: 0,1402,
- Zeitraum zwischen dem Ende der Inkubation und dem stationären Behandlungsbedarf: 5 Tage.

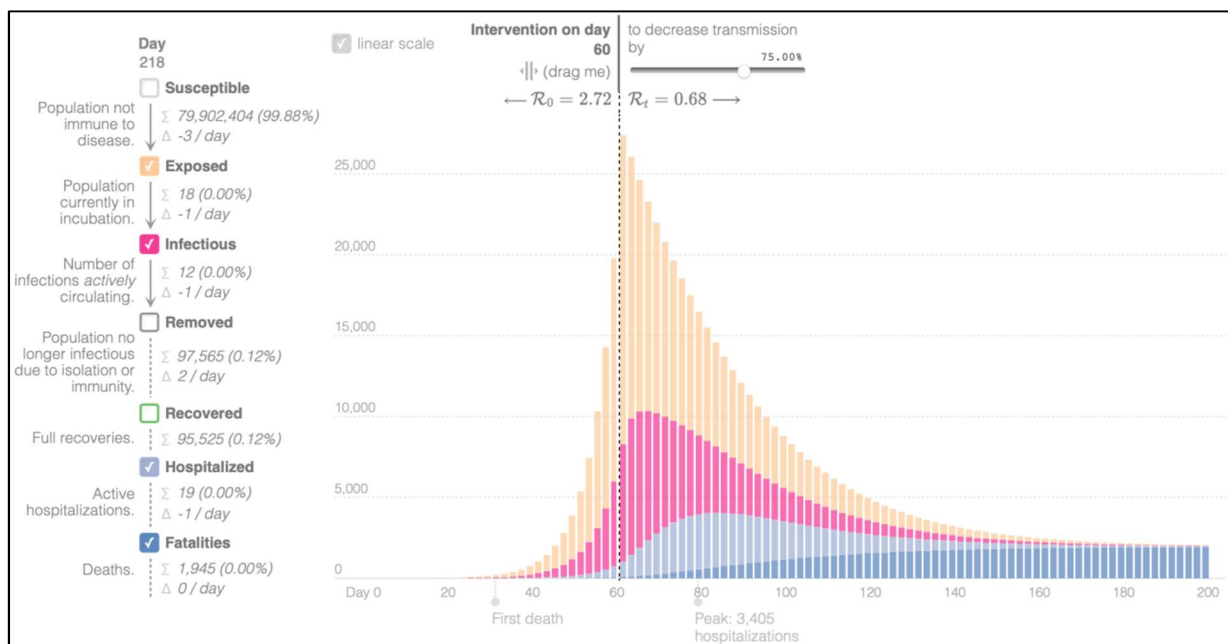


Abb. 2: Beispiel-Epidemieverlauf Suppression, Modellierung basierend auf De Keninck (2020)

I-R-Modell von Kermack und McKendrick mit verschiedenen Modellparametern modellieren. Im Falle eines imaginären Staates von ca. 80 Millionen Einwohnern, bei dem die durchschnittliche SARS-CoV-2 Sekundarfälle-Erzeugungsrate (Anste-

Angenommen die Maßnahmen zur Suppression reduzieren die Ausbreitung von SARS-CoV-2 um 75 Prozent und wurden zwei Monate nach dem erstmals aufgetretenen Krankheitsfall eingeleitet, sieht der Verlauf der Epidemie wie folgt aus (s. Abb. 2).

¹⁸ Ferguson et al. (2020)

¹⁹ De Keninck (2020)

²⁰ Li et al. (2020)

²¹ Wu, Leung, & Leung (2020)

Der generierten Grafik kann entnommen werden, dass die Anzahl der Todesfälle nach 6 Monaten in diesem Szenario bei 1.945 läge und die Anzahl der Genesenen bei 95.525, während die Anzahl der epidemiebedingten Krankenhausaufenthalte zu keinem Zeitpunkt 3.405 übersteigen würde.

Angenommen der Effekt einer Mitigation wird gewünscht und die Ausbreitung deswegen nur um die Hälfte verringert (statt 75 Prozent nur 50 Prozent Suppressionswirkung), weswegen auch die Sekundarfälle-Erzeugungsrates R 1 übersteigt (hier: $R = 1,3$), dann ergibt sich das Bild aus Abbildung 3 (s. Abb. 3).

Bei über 297.000 Todesfällen und 490.000 gleichzeitigen epidemiebedingten Krankenhausaufenthalten würde nicht nur das deutsche Gesundheitssystem überlastet werden - auch wirtschaftlich bildete sich diese Problematik ab. Im

des Patientenalters auf die Sterberate sowie die demografische Verteilung unbeachtet. Die Darstellung ermöglicht jedoch eine ungefähre Einschätzung hinsichtlich erwarteter Todesfälle sowie der prognostizierten Krankenhausauslastung im Rahmen entsprechender Maßnahmen.

5. Fazit

Bei der Suppression werden Maßnahmen getroffen, die deutlich über die einfache Begrenzung von sozialen Kontakten hinausgehen. Zu diesen gehören oft eine Ausgangsperre sowie die vorübergehende Einstellung von Präsenzbetrieben, welche keine für die Bevölkerung überlebenswichtige Funktion erfüllen. Darunter fallen beispielsweise Bildungseinrichtungen wie Schulen oder Universitäten, Kindertagesstätten, die gesamte Unterhaltungsindustrie oder Fahrschulen. Politisch

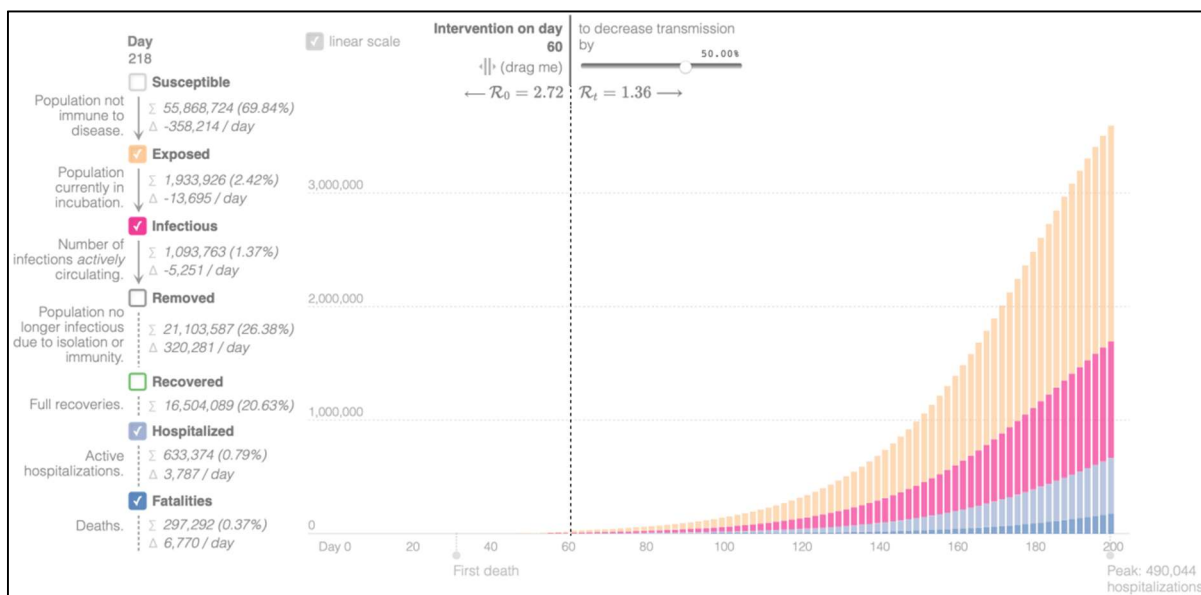


Abb. 3: Beispiel-Epidemieverlauf Mitigation, Modellierung basierend auf De Keninck (2020)

Falle einer Mitigation wären die wirtschaftlichen Auswirkungen wahrscheinlich nicht weniger stark als im Rahmen temporärer, dafür aber umso effektiverer Suppressionsmaßnahmen.

Die hier verwendete Modellierung hat zahlreiche Limitationen, die eine Abbildung der realen Welt verhindern. So bleiben beispielsweise der Einfluss

müssen solche Schritte aufgrund der sich daraus ergebenden wirtschaftlichen Folgen stets akkurat abgewogen werden. Gleichzeitig muss zudem der Zeitfaktor beachtet werden, denn je früher diese Maßnahmen ergriffen werden, desto weniger müssen sie andauern, um eine Epidemie erfolgreich zu beenden. Ein zu langes Hinauszögern kann aus diesem Grund die negativen Folgen für die Wirtschaft verschärfen, sofern die Mitigation nicht planmäßig

verläuft und beispielsweise das Gesundheitssystem an seine Grenzen stößt.²²

Im Rahmen der Mitigation soll die Eindämmung der Ausbreitung des neuartigen SARS-CoV-2 vor allen Dingen über die Begrenzung von sozialen Kontakten erfolgen. Unter der Zielsetzung, dass möglichst wenige Menschen gleichzeitig erkranken, werden besonders gefährdete Personen aus Risikogruppen – wie Ältere oder Menschen mit Vorerkrankungen – besonders isoliert und somit geschützt. Eine Infektion der restlichen Bevölkerung mit dem Virus wird in diesem Zusammenhang bis zu dem Punkt akzeptiert, dass das Gesundheitssystem nicht überfordert wird. Diese Theorie der Herden- bzw. Gruppenimmunität geht von einer Immunisierung nach erstmalig durchlebter Infektion aus und strebt aus diesem Grund eine schrittweise Infizierung der Bevölkerung an.²³

Eine realitätsgetreue Modellierung des Verlaufs von COVID-19 ist nicht möglich, jedoch kann davon ausgegangen werden, dass der Ausbreitung von SARS-CoV-2 politisch mit aggressivenSuppressionsmaßnahmen begegnet werden sollte. Bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Sekundarfälle- Erzeugungsrate $R < 1$ dauerhaft sichergestellt werden kann, müssen anderweitige gesellschaftliche oder wirtschaftliche Interessen zurücktreten. Wird ein Mitigationsansatz im Fall von SARS-CoV-2 verfolgt, kann davon ausgegangen werden, dass die Folgen – insbesondere für die wirtschaftliche Lage im Land – deutlich schwerwiegender wären.

Literaturverzeichnis

Bonita, R., Beaglehole, R., Kjellstrom, T. (2008). Einführung in die Epidemiologie, Bern.

Bootsma, M., Ferguson, N. (2007). The effect of public health measures on the 1918 influenza pandemic in U.S. cities. Proc Natl Acad Sci U S A 2007;104(18):7588–93

De Keninck, S. (2020). Epidemic Calculator (Version 1) [RK4]. Enkimute. Retrieved from: <http://gabgoh.github.io/COVID/index.html>

Dittmar, M. (2000): Profitabilität durch das Management von Kundentreue, Wiesbaden.

Ferguson, N., Cummings, D., Fraser, C., Cajka, J., Cooley, P., Burke, D. (2006). Strategies for mitigating an influenza pandemic. Nature 2006; 442(7101):448–52.

Ferguson, N., Laydon, D., Nedjati-Gilani, G., Imai, N., Ainslie, K., & Baguelin, M. et al. (2020). Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID-19 mortality and healthcare demand. London: Imperial College London.

Katriel, G., Stone, L. (2010). Pandemic Dynamics and the Breakdown of Herd Immunity. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2837721/>

Khalil, K. et al (2012). An Agent-Based Modeling for Pandemic Influenza in Egypt. Retrieved from: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1001/1001.5275.pdf>

Li, Q., Guan, X., Wu, P., Wang, X., Zhou, L., & Tong, Y. et al. (2020). Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-Infected Pneumonia. New England Journal Of Medicine, 382(13), 1199-1207.

Möhler, Sebastian (2010). Ausbreitung von Infektionskrankheiten, Retrieved from: Ausbreitung von Infektionskrankheiten

Robert-Koch-Institut (2011): Sterblichkeit, Todesursachen und regionale Unterschiede, Gesundheitsberichterstattung des Bundes, Heft 52.

Statista (2020a). Sterblichkeitsrate beim Coronavirus (COVID-19) in den am stärksten betroffenen Ländern (Stand: 1. April 2020).

²² Ferguson et al. (2020)

²³ Ferguson et al. (2020)

Retrieved from: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1103785/umfrage/mortalitaetsrate-des-coronavirus-nach-laendern/>

Statista (2020b). Durchschnittliche Anzahl durchgeführter Tests für das Coronavirus (COVID-19) in ausgewählten Ländern bis zum 20. März 2020. Retrieved from: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1105115/umfrage/durchschnittliche-anzahl-tests-fuer-das-coronavirus-nach-laendern-maerz/>

Vfa (2020). Impfstoffe zum Schutz vor Covid-19, der neuen Coronavirus-Infektion. Retrieved from: <https://www.vfa.de/de/arszneimittel-forschung/woran-wir-forschen/impfstoffe-zum-schutz-vor-coronavirus-2019-ncov>

Wu, J., Leung, K., & Leung, G. (2020). Nowcasting and forecasting the potential domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan, China: a modelling study. *The Lancet*, 395(10225), 689-697.

Verfasser:

Prof. Dr. Ralph Tunder

Vivienne Dierkes, MA

Pavel Vitis, M.Sc.

Health Care Management Institute (HCMI)

EBS Universität für Wirtschaft und Recht

EBS Business School | Rheingaustraße 1

65375 Oestrich-Winkel | Germany