



Gutenberg School of Management and Economics
& Research Unit “Interdisciplinary Public Policy”

Discussion Paper Series

Testet auf CoV-2, zählt Covid-19

Klaus Wälde

October 19, 2020

Discussion paper number 2023

Johannes Gutenberg University Mainz
Gutenberg School of Management and Economics
Jakob-Welder-Weg 9
55128 Mainz
Germany
<https://wiwi.uni-mainz.de/>

Contact Details:

Klaus Wälde
Chair in Macroeconomics
Johannes Gutenberg University
Johannes-von-Müller-Weg 2
55128 Mainz, Germany

waelde@uni-mainz.de

Testet auf CoV-2, zählt Covid-19

Klaus Wälde¹

Johannes Gutenberg-Universität Mainz
CESifo and Visiting Research Fellow IZA

19. Oktober 2020

Hintergrund: Gesundheitspolitische Maßnahmen werden mit der Anzahl der SARS-CoV-2 Neuinfektionen begründet. Vielfach wird behauptet, die Anzahl der CoV-2 Neuinfektionen sei durch die Anzahl der Testungen beeinflusst. Damit stellt sich die Frage, ob CoV-2 Neuinfektionen ein gutes Maß für die tatsächliche Stärke einer Epidemie sind.

Methode: Das klassische SIR Modell der Epidemiologie wird um Testungen erweitert. Es wird angenommen, dass der wahre Verlauf der Epidemie nicht beobachtet werden kann. Er muss vielmehr aus der Anzahl der gemeldeten Infektionen abgeleitet werden. Der Informationsgehalt der Anzahl der Neuinfektionen wird mittels eines mathematischen Modells analysiert.

Ergebnisse: Die Anzahl der Neuinfektionen ist ein verzerrter Indikator für den tatsächlichen Verlauf einer Epidemie. Unterschiedliche Gründe für Testungen (symptombezogen, repräsentativ oder z.B. Reiserückkehrer) führen zu dieser Verzerrung. Schwellenwerten von z.B. 50 Neuinfektionen pro 100.000 Einwohner über die letzten 7 Tage, die vor wenigen Monaten noch sinnvoll waren, fehlt heute eine gute Grundlage und sollten nicht mehr verwendet werden.

Schlussfolgerung: Informativere Indikatoren bauen auf Covid-19 Fallzahlen auf. Diese Daten liegen auf verschiedenen Ebenen vor, sind jedoch der Öffentlichkeit nicht ohne weiteres zugänglich. Würden sie ausgewertet werden, hätten gesundheitspolitische Maßnahmen in Deutschland wieder eine Fundierung.

Die Anzahl der Neuinfektionen innerhalb der letzten 24 Stunden wird täglich durch alle Medien verbreitet. Tageszeitungen widmen CoV-2 Infektionen in Deutschland und weltweit ganze Seiten, in vielen öffentlich-rechtlichen Sendern sind Infektionszahlen Meldung Nummer 1 bis 3 in den Hauptnachrichten. Es ist schwer, dieser Information zu entkommen.

Verdienen diese Zahlen diese Aufmerksamkeit? Sind sie tatsächlich so wichtig? Wichtig wären sie, wenn Sie Information enthielten, welche der Bevölkerung, politischen Entscheidungsträgern, Privatpersonen, Unternehmern, Journalisten, Familien, Schulen,

¹Klaus Wälde (ORCID 0001-5717-0383), Gutenberg School of Management and Economics, Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, Jakob-Welder-Weg 4, D-55131 Mainz, Germany, waelde@uni-mainz.de. Der Anstoß zu der vorliegenden Arbeit waren Dutzende von Nachfragen auf unserer Maskenstudie (Mitze et al., 2020). Die am Häufigsten gestellte Frage war, welchen Einfluss die Anzahl von Tests auf die Anzahl der gemeldeten Infektionen hat. Ein herzlicher Dank geht an alle Fragesteller. Mein Dank geht auch an eine Vielzahl von Kollegen aus vielen Disziplinen. Gespräche mit Bodo Plachter und Christian Karagiannidis halfen besonders bei dem hier vorliegenden Beitrag.

Kindergärten oder Altenheimen erlauben würde, sich ein Bild über den aktuellen Verlauf der Covid-19 Epidemie zu machen. Ist dies der Fall, wenn wir wissen, bei wieviel Tausend Personen pro Tag aktuell das SARS-CoV-2 Virus nachgewiesen wurde?

Viele haben im Kopf, dass die Anzahl der Neuinfektionen Anfang April über 6000 lagen und im Sommer auch schon bei 400. Ist eine Situation Mitte Oktober mit im Schnitt etwa 5000 Neuinfektionen über die letzten 24 Stunden nun „besser“ als in April und „schlechter“ als im Sommer?²

Um Antworten auf diese Fragen zu bekommen benötigen wir mehr als nur Zahlen. Zahlen benötigen Interpretation. Um Zahlen zu verstehen benötigt man Theorie. Ob bewusst oder unbewusst, jeder Mensch interpretiert täglich, in jedem Augenblick, eine Vielzahl von vermeintlich objektiven Eindrücken. Niemand würde sich zurechtfinden im Leben, hätte er oder sie nicht eine Reihe von Theorien (ohne diese so zu nennen) im Hinterkopf, die es erlauben, ein Lächeln, eine rote Ampel, einen Brief, also irgendein Signal, zu interpretieren.

1. Die Anzahl der SARS-CoV-2 Infektionen ist nicht sehr informativ

Genauso verhält es sich mit Neuinfektionen. Auch das ist nur eine Zahl. Was bedeutet diese Zahl? Dieser Frage geht die Arbeit „How to remove the testing bias in CoV-2 statistics“ (Wälde, 2020) nach, die wir hier kurz und ohne mathematische Struktur zusammenfassen. Kommen wir direkt zum wesentlichen Argument unserer Arbeit.³

Eine Änderung der Häufigkeit von symptom-bezogenen Tests relativ zu repräsentativen Tests oder Tests von Reiserückkehrern führt zu verzerrten Zeitreihen von CoV-2 Infektionszahlen. Unter verzerrt verstehen wir, dass die bestätigten CoV-2 Infektionszahlen nicht informativ sind bezüglich des wahren Infektionsverlaufes. Wenn wir CoV-2 Infektionszahlen verwenden, um gesundheitspolitische Maßnahmen zu rechtfertigen, dann wissen wir, dass wir eine falsche Kenngröße verwenden. Warum ist diese Kenngröße irreführend?

- Symptombezogene Tests

Wenn Tests nur symptombezogen durchgeführt werden, dann wissen wir, dass positive Tests auf jeden Fall symptomatische Verläufe einer CoV-2 Infektion widerspiegeln. Wir wissen also in diesem Fall, dass ein Anstieg der gemeldeten Infektionen einhergeht mit einem Anstieg der symptomatischen Verläufe. Wir haben einen Zusammenhang hergestellt zwischen dem, was wir beobachten (die bestätigten Infektionen) und dem, was wir wissen möchten (der wahre Infektionsverlauf).

Im Fall von ausschließlich symptom-verursachten Tests können wir noch einen zweiten wichtigen Zusammenhang verstehen: Die Anzahl der Tests ist bestimmt durch die Anzahl der Symptome. In diesem Fall ist eine Aussage „die Anzahl der gemeldeten Infektionen ist nur so hoch, weil wir so viel testen“ also falsch.

- Tests von Reiserückkehrern

Betrachten wir nun den Fall des Testens von Reiserückkehrern. Dabei stehen Tests von „Reiserückkehrer“ für tatsächliche Reiserückkehrer, aber auch für alle anderen Arten von

² Dieser Frage gehen auch Dorn et al. (2020) nach. Sie schlussfolgern aus ihrer numerischen Analyse, dass Infektionszahlen nicht über die Zeit vergleichbar sind. Die vorliegende Arbeit erklärt, warum die Werte nicht vergleichbar sind und wie vergleichbare Werte berechnet werden können.

³ Siehe den (online) Anhang auf S. 7ff für eine grafische Darstellung der zugrundeliegenden Modellstruktur.

Tests, die nicht symptombezogen oder repräsentativ sind. Wenn wir also die Anzahl der Tests von Reiserückkehrern erhöhen, dann steigt die Anzahl der gefundenen und mit CoV-2 infizierten Menschen. Dies sagt aber nichts aus über die tatsächliche Anzahl von infizierten Menschen, da Reiserückkehrer nicht repräsentativ für den Rest der Bevölkerung sind.

Im Fall von Reiserückkehrern ist die Anzahl der Tests nicht durch Symptome bedingt, sondern durch politische Entscheidungen, die Höhe der zur Verfügung stehenden Mittel, die Geschwindigkeit des Aufbaus von Teststationen und vielem mehr. Bei dieser Art von Tests ist es richtig, dass wir „mehr bestätigte Neuinfektionen haben, weil wir viel testen“.

- Keine zweite Welle?

Mit diesen zwei Arten von Tests lässt sich ein einfaches Beispiel konstruieren, das zeigt, wie die Anzahl der gemeldeten Infektionen eine „zweite Welle“ suggeriert, obwohl tatsächlich keine zweite Welle vorliegt.

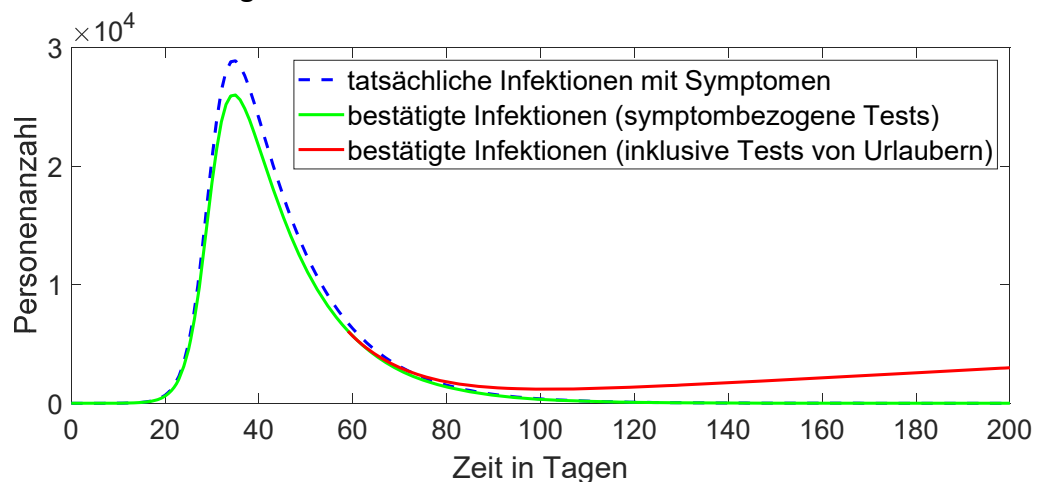


Abbildung 1: Eine zweite Welle in bestätigten Infektionen (rote Kurve) ohne eine zweite Welle im wahren Infektionsverlauf (blaue Kurve)

Der tatsächliche, aber unbeobachtete Verlauf der Epidemie ist durch die blau-gestrichelte Kurve gekennzeichnet. Die Anzahl der bestätigten Infektionen, wenn es nur symptombezogene Tests gäbe, ist durch die grüne Linie abgebildet. Die zwei Linien liegen unter Annahmen des Modells perfekt übereinander, sind hier leicht verschoben dargestellt, um die Kurven besser sichtbar zu machen. Wesentlich am Beispiel ist die perfekte Abbildung des wahren Infektionsverlaufs durch die Anzahl der bestätigten Infektionen, wenn für diese Anzahl nur die positiven Tests zusammengezählt werden, die aufgrund von Symptomen veranlasst wurden. Wenn wir nun ab Tag 60 eine weitere Art von Tests einführen, hier Tests von Urlaubern genannt, und die positiven Tests zu den symptombezogenen Tests hinzuzählen, dann sehen wir den roten Verlauf der Anzahl der bestätigten Infektionen. Wir sehen, wie sich die bestätigten Infektionen immer weiter entfernen vom tatsächlichen Infektionsverlauf. Die Abbildung zeigt eine zweite Welle in den bestätigten Infektionszahlen, obwohl es in der Realität gar keine zweite Welle gibt: die wahre Anzahl der Infektionen nimmt ab.

- Zwei weitere Beispiele zu Testverzerrung

Dass nicht-repräsentative und nicht-symptombezogene Tests keinen Zusammenhang herstellen lassen zu dem tatsächlichen Infektionsverlauf lässt sich einfach an zwei Beispielen veranschaulichen. Stellen wir uns vor, wir wollen die Anzahl der St. Pauli Fans in Hamburg zu einem bestimmten Stichtag messen. Es ist plausibel anzunehmen, dass es zu einem

bestimmten Tag eine bestimmte Anzahl an St. Pauli Fans gibt. Bei manchen Bewohnern Hamburgs ist dies durch die Art der Kleidung leicht erkennbar. Das sind die „symptomatischen Fans“. Andere müssen jedoch befragt werden. Wir werden nun mehr Fans identifizieren, umso mehr Bewohner Hamburgs befragt werden. Die Anzahl der gemessenen Fans steigt also in der Anzahl der Befragungen, nicht aber die Anzahl der tatsächlichen Fans.

Ähnlich ist es mit CoV-2 Infektionen. An jedem Tag gibt es in jedem beliebigen Land eine wahre Anzahl an Neuinfektionen. Nehmen wir an, diese läge bei x-Tausend in Deutschland. Nehmen wir an, wir testen überhaupt nicht. Dann ist die bestätigte Anzahl von Neuinfektionen gleich Null. Nehmen wir an, wir testen an diesem einen Tag die Hälfte aller Einwohner Deutschlands. Dann ist die bestätigte Anzahl von Infektionen etwa x-Tausend geteilt durch 2. Wir bekommen also entweder null Infektionen oder die Hälfte aller Fälle. Die Anzahl der gemeldeten Infektionen steigt also in der Anzahl der Tests, die Anzahl der tatsächlichen Neuinfektion hat sich aber natürlich durch das Zählen nicht geändert. Die Anzahl der gemeldeten Infektionen ist also nicht informativ bezüglich der tatsächlichen Anzahl von Neuinfektionen.

- Warum ist der tatsächliche Infektionsverlauf so wichtig?

Es ist nicht wichtig, wie viele Infektionen wir zählen, es ist wichtig, wie viele Menschen tatsächlich infiziert sind. Ein Mensch wird sich nur infizieren und eventuell erkranken, wenn er Kontakt mit einer infizierten Person hat. Deswegen müssen gesundheitspolitische Maßnahmen davon abhängig gemacht werden, wie viele Menschen in einem Landkreis innerhalb der letzten 7 Tage pro 100.000 Einwohner *tatsächlich* infiziert wurden. Die gesundheitspolitischen Maßnahmen dürfen nicht davon abhängig gemacht werden, ob in einem Landkreis viele Menschen *gezählt* wurden oder nicht. Nur weil in einem Landkreis viel gezählt wird ist die Anzahl der Infizierten noch nicht notwendigerweise hoch.

2. Die Anzahl der Covid-19 Erkrankungen wären informativ

Gibt es einen Ausweg aus dieser orientierungslosen Situation? Wir schauen auf eine Uhr, und wir wissen, dass sie falsch geht. Wir wissen aber nicht, um wieviel sie falsch geht. Vielleicht geht sie nur um ein paar Sekunden falsch, vielleicht um Stunden.

Um herauszufinden, wie stark unsere Uhr falsch geht benötigen wir zwei Dinge: Ein unverzerrtes Maß für den tatsächlichen Infektionsverlauf in einer Gesellschaft. Daten, die uns erlauben, diese Maß zu berechnen. Zum Glück ist beides einfach.

Ein Maß ist per Definition dann unverzerrt, wenn es uns Information über den tatsächlichen Infektionsverlauf gibt. Aus dem Modell im Anhang ist ein solches Maß einfach zu erkennen: Zählen wir nur die Covid-19 Fälle. Wenn wir nur die positiven Tests zusammenzählen, welche aufgrund von Symptomen angeordnet wurden, dann wissen wir, dass mehr gemeldete Fälle auch tatsächlich mehr Erkrankungsfälle bedeuten, eben die Fälle aus dem roten gestrichelten Oval. Wir wüssten, dass ein Anstieg der gemeldeten Fälle mit einem intensiveren wahren Infektionsverlauf zusammenhängen. Daher der Titel „Testet auf CoV-2, zählt Covid-19“.

Liegen dazu auch Daten vor? Öffentlich zugängliche Daten zählen die Anzahl der Todesfälle mit Covid-19 (RKI, 2020). Öffentlich zugängliche Daten erlauben auch den Bestand an Covid-19 Fälle (nicht notwendigerweise Patienten) in Intensivstationen zu messen

(www.intensivregister.de, Karagiannidis et al., 2020).⁴ Zu der Anzahl der Covid-19 Erkrankten gibt es jedoch aktuell (nach unserem besten Kenntnisstand) keine systematische Auswertung.

Die Grundlagen dafür lägen jedoch vor. Das Meldeformular (ohne Datum) für meldepflichtige Krankheiten, das an Gesundheitsämter geschickt wird, beinhaltet Angaben zu Symptomen. Würde man diese gemeldeten Daten auswerten, hätte man einen über die Zeit vergleichbaren Index für die Schwere des wahren Infektionsverlaufs.⁵ Es ist zu vermuten, dass eine solche Auswertung nicht „über Nacht“ erfolgen kann, es ist auch zu vermuten, dass verschiedene Detailspekte der gemeldeten Daten zu berücksichtigen wären. Dies ist jedoch täglich Brot von Statistikern oder auch von statistisch geschulten Wissenschaftlern. Es wäre Privatmenschen, Journalisten, Wissenschaftlern, der allgemeinen Öffentlichkeit und vor allem politischen Entscheidungsträgern sehr geholfen, wenn diese Daten regelmäßig und systematisch untersucht würden. Dann wüssten wir, wieviel die Uhr falsch geht. Dann hätten wir endlich wieder eine fundierte Grundlage für alle im Zusammenhang mit der Epidemie zu treffenden Entscheidungen.

3. Zusammenfassung

Gesundheitspolitische Maßnahmen in der Bundesrepublik Deutschland (und anderen Ländern) werden von der Anzahl der Neuinfektionen abhängig gemacht und damit begründet. Es besteht jedoch Grund zur Annahme, dass die Anzahl der Neuinfektionen kein guter Indikator dafür ist, wie stark der Infektionsverlauf in einem Land oder Landkreis tatsächlich ist. Die Anzahl der Tests, die nicht aufgrund von Symptomen oder nicht repräsentativ durchgeführt werden verzerren die gemeldeten Infektionszahlen relativ zu den tatsächlichen Infektionszahlen nach oben.

Ein unverzerrter Indikator für die Schwere eines Verlaufs einer Epidemie würde auf Erkrankungen aufbauen. Man würde also nicht mehr SARS-CoV-2 Fälle zählen, sondern Covid-19 Fälle. Dann wären politische und private Entscheidungen bezüglich des Umgangs mit CoV-2 Infektionen und Covid-19 besser fundiert.

Eine allgemeine Bereitstellung besserer, also Covid-19 fundierter, Daten scheint aktuell schwierig. Gibt es trotzdem Hoffnung? Was könnte sofort geschehen, um die allgemeine Informationslage zu verbessern? Der Fokus auf die bestätigte Anzahl von Neuinfektionen muss aufhören. Stattdessen sollten folgende Größen betrachtet werden:

- Die Anzahl der Todesfälle, die mit Covid-19 in Zusammenhang stehen
- Der Zugang von Covid-19 Fällen in Intensivstationen
- Der Zugang von Covid-19 Fälle in Krankenhäusern und im privaten Umfeld

Glücklicherweise ist für den letzten und nach unserer Einschätzung wichtigsten Punkt kein bundesweiter Beschluss notwendig. Jeder Bürgermeister, jede Bürgermeisterin, Landräte, Mitarbeiter (innen) in Gesundheitsämtern könnten die Meldeformulare (ohne Datum) für meldepflichtige Krankheiten betrachten. Wenn eine CoV-2 Infektion in einem Gesundheitsamt gemeldet wird, dann kann unterschieden werden zwischen Fällen mit Covid-19 Symptomatik und ohne. Es können die Reisen in Risikogebiete getrennt gezählt werden zu Meldungen mit

⁴ Patienten in Krankenhäusern außerhalb von Intensivstationen werden nicht erfasst. Zugänge in Intensivstationen werden nicht ausgewiesen.

⁵ Eine mittelfristige Maßnahme würde das Meldesystem hinter der nationalen Teststrategie (RKI, 2020b) um die Information erweitern, warum ein Test durchgeführt wurde. Dann müssten nur noch (positive) Tests aufgrund von Symptomen addiert werden, um ein unverzerrtes Maß für den Verlauf einer Epidemie zu erhalten.

Patientenkontakt. All diese Angaben sind auf den aktuell verwendeten Meldeformularen vorhanden. Wenn Klarheit über die Stärke einer zweiten Welle gewünscht wird, dann müssten nur diese Zahlen betrachtet werden. Solange dies nicht geschieht, schauen wir weiterhin auf eine Uhr, die falsch geht. Wir treffen weiterhin gesundheitspolitisch, bildungspolitisch und ökonomisch weitreichende Entscheidungen, ohne zu wissen, was wir wirklich tun. Dies erscheint eine sehr eigenartige Situation.

Referenzen

- Dehning, J., J. Zierenberg, F. P. Spitzner, M. Wibral, J. P. Neto, M. Wilczek, and V. Priesemann (2020): Inferring COVID-19 spreading rates and potential change points for case number forecasts. *Science*, 369(6500).
- Donsimoni, J.R., R. Glawion, B. Plachter, and K. Wälde (2020), Projecting the Spread of COVID-19 for Germany, *German Economic Review* 21: 181–216
- Donsimoni, J.R., R. Glawion, T. Hartl, B. Plachter, J. Timmer, E. Weber, K. Wälde und C. Weiser, 2020b, Covid-19 in Deutschland – Erklärung, Prognose und Einfluss gesundheitspolitischer Maßnahmen. *Perspektiven der Wirtschaftspolitik* 21 (3): 250–262
- Dorn, F., C. Fuest, D. Gstrein, A. Peichl und M. Stöckli, 2020, Corona-Infektionen und die Dunkelziffer: Vergleichen wir Äpfel mit Birnen? *ifo Schnelldienst Digital* 1(12).
- Hethcote, H. (2000), The Mathematics of Infectious Diseases, *SIAM Review*, 42(4), 559-653
- Khailaie, S., T. Mitra, A. Bandyopadhyay, M. Schips, P. Mascheroni, P. Vanella, B. Lange, S. Binder, and M. Meyer-Hermann (2020): Estimate of the development of the epidemic reproduction number R_t from Coronavirus SARS-CoV-2 case data and implications for political measures based on prognostics. medRxiv preprint, <https://doi.org/10.1101/2020.04.04.20053637>
- Karagiannidis, C., C. Mostert, C. Hentschker, T. Voshaar, J. Malzahn, G. Schillinger, J. Klauber, U. Janssens, G. Marx, S. Weber-Carstens, S. Kluge, M. Pfeifer, L. Grabenhenrich, T. Welte und R. Busse, 2020, Case characteristics, resource use, and outcomes of 10021 patients with COVID-19 admitted to 920 German hospitals: an observational study, *Lancet Respir Med* 8(9), S. 853–62 .
- Kermack, W.O. und A.G. McKendrick (1927), A contribution to the mathematical theory of epidemics, *Proceedings of the Royal Society* 115(772), S. 700–21.
- Meldeformular, ohne Datum, Meldepflichtige Krankheiten gemäß §§ 6, 8, 9 IfSG, https://www.kv-rlp.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Mitglieder/Coronavirus/Meldepflichtige_Krankheit_Meldeformular.pdf
- Mitze, T., R. Kosfeld, J. Rode, and K. Wälde, 2020, Face Masks Considerably Reduce Covid-19 Cases in Germany - A synthetic control method approach. CESifo Working Paper No. 8479, Revise & Resubmit.
- RKI, Robert Koch Institut, 2020, Covid-19 Dashboard, <https://experience.arcgis.com/experience/478220a4c454480e823b17327b2bf1d4>
- RKI, Robert Koch Institut, 2020b, Nationale Teststrategie – wer wird in Deutschland auf das Vorliegen einer SARS-CoV-2 Infektion getestet? https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Teststrategie/Nat-Teststrat.html
- Wälde, K., 2020, How to Remove the Testing Bias in CoV-2 Statistics, IZA Discussion Paper No. 13785, <http://ftp.iza.org/dp13785.pdf>

Klaus Wälde ist Professor für Volkswirtschaftslehre. Er beschäftigt sich seit März 2020 (gemeinsam mit vielen Kollegen aus verschiedenen Disziplinen) mit der statistischen und modelltheoretischen Untersuchung der Covid-19 Epidemie in Deutschland. Als theoretischer Volkswirt arbeitet er mit denselben Grundlagen aus der Mathematik und speziell der Stochastik wie die Epidemiologie. Einen Überblick seiner Forschungsergebnisse für die allgemeine Öffentlichkeit mit Querverweise auf wissenschaftliche Arbeiten bietet <https://www.macro.economics.uni-mainz.de/corona-blog/>.

Der Autor war im Sommersemester 2020 zu 50% am IZA Institute of Labor als Gastwissenschaftler beschäftigt. Der Autor erklärt, dass kein Interessenskonflikt vorliegt.

Anhang - Die Modellstruktur

- Der wahre Infektionsverlauf kann nicht beobachtet werden

Ausgangspunkt unserer Analyse ist das Standardmodell der Epidemiologie, das SIR (nach susceptible-infectious-removed) Modell (Kermack and McKendrick, 1927, Hethcote, 2000).⁶ Die grundsätzliche Erweiterung dieses Modells besteht in der Annahme, dass die Anzahl der infektiösen und infizierten Einwohner eines Landes nicht beobachtet werden kann. Kein Wissenschaftler, kein Politiker, kein Mensch auf diesem Planeten weiß, wie viele mit SARS-Cov-2 Infizierte es tatsächlich gibt. Physische, organisatorische und politische Kapazitätsgrenzen erlauben es nicht, täglich die gesamte Bevölkerung zu testen.

Wenn also der wahre Verlauf einer Epidemie nicht bekannt ist in der tatsächlichen Welt, dann muss dies in theoretischen Abbildungen so auch dargestellt werden. Also interpretiert Wälde (2020) das einfache SIR Modell als ein Modell, das etwas Unbeobachtetes beschreibt.⁷ Die Anzahl der Anfälligen („susceptible“), die Anzahl der Infizierten und damit Infektiösen („infectious“) und die Anzahl der Genesenen bzw. Verstorbenen („removed“) beschreiben den wahren Verlauf der Epidemie in einem Land, sind aber nicht beobachtbar. Weiterhin werden Tests im Modell berücksichtigt. Menschen werden getestet wegen Symptomen, im Rahmen repräsentativer Studien oder weil sie Reiserückkehrer sind. Testen von Reiserückkehrer steht dabei stellvertretend für alle Tests, die nicht aufgrund von Symptomen oder repräsentativen Zwecken durchgeführt werden. Es beinhaltet also auch alle Tests z.B. von Kontaktpersonen einer nachgewiesenen infizierten Person, von Spitzensportlern, von Menschen, die verreisen möchten, dazu aber CoV-2 Infektionsfreiheit nachweisen müssen oder Tests zur Vermeidung von Quarantäne nach Rückkehr aus Risikogebieten.

Abbildung 2 zeigt eine graphische Darstellung des zugrundeliegenden mathematischen Modells. Der „normale“ Infektionsverlauf, wie er von einem SIR Modell beschrieben wird, ist rot gekennzeichnet. Individuen werden mit einer Rate λ_c^{symp} infiziert, sind irgendwann infektiös und genesen oder versterben dann mit einer Rate ρ_c . Das SIR Modell wird um

⁶ Die Erklärung und Prognose der CoV-2 Infektionszahlen im Anfangsstadium der Epidemie in Deutschland erfolgte mithilfe verschiedener Varianten des SIR Modells u.a. von Donsimoni et al. (2020), Dehning et al. (2020) und Khailaie et al. (2020).

⁷ Es gibt eine Vielzahl von Anwendungen des SIR Modells, auch auf die aktuelle Pandemie. Nach unserer besten Kenntnis berücksichtigt keine dieser Anwendungen Tests und den Zusammenhang zwischen einem unbeobachtbaren, wahren Epidemieverlauf und gemeldeten Infektionen. Siehe Wälde (2020) für weitergehende Diskussion und Referenzen. Eine Einführung in das einfache SIR Modell erfolgt z.B. in Donsimoni et al. (2020b).

asymptomatische Verläufe erweitert, auch hier gibt es eine Infektions- und eine Genesungsrate. Die Zustände des Infektionsverlaufs sind in einem gestrichelten Oval dargestellt, um die Unbeobachtbarkeit des wahren Infektionsverlaufs zu betonen.

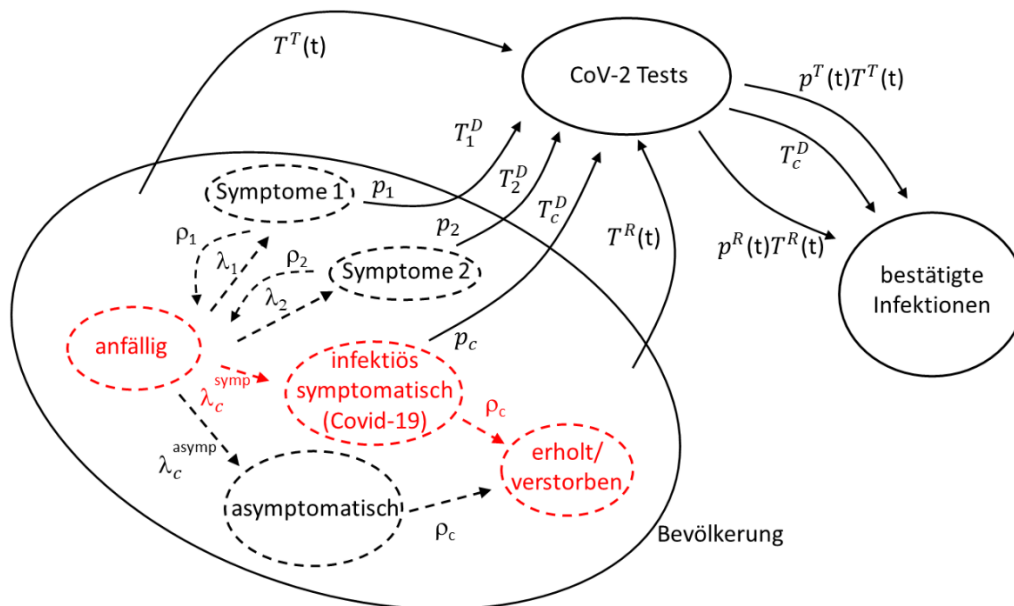


Abbildung 2: Das SIR Modell mit unbeobachtetem Infektionsverlauf und Testungen

- Die Anzahl der Tests

Damit sich eine Gesellschaft ein Bild eines Infektionsverlaufs machen kann, werden Tests durchgeführt. Zum einen gibt es Tests, weil eine Person mit Covid-19 ähnlichen Symptomen zum Arzt geht. Diese Symptome wie u.a. Husten, Fieber, Kopfschmerzen, Geschmacksverlust oder andere können vielfältige Ursachen haben. Es kann eine Erkältung vorliegen, eine Grippe, Bronchitis oder eine Person hat zu viel getrunken oder gesungen. Personen kommen also mit unterschiedlichen Symptomen oder Symptomtungen zum Arzt. In Abbildung 2 sind zwei Symptomtungen dargestellt, im mathematischen Modell kann es eine beliebige Anzahl n sein. Die Covid-19 ähnlichen Symptome können aber tatsächlich auch von einer CoV-2 Infektion verursacht sein. Das wäre dann das rote Oval „infektiös symptomatisch“.

Menschen kommen also mit Symptomen zum Arzt, welcher mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit p_1 , p_2 , oder p_c , einen Test auf SARS-CoV-2 anordnet. Die Anzahl der Tests aufgrund der verschiedenen Symptome wird mit T_1^D , T_2^D oder T_c^D bezeichnet. Diese Anzahl ist die erste Größe im Modell, die beobachtet werden kann. Deswegen sind die Pfeile in Abbildung 2 durchgezogen gezeichnet.

Neben diesen symptom-induzierten Tests gibt es repräsentative Tests und Tests von Reiserückkehrern. Die Anzahl der repräsentativen Tests zu einem Zeitpunkt t sind mit $T^R(t)$, die Anzahl der Tests von Reiserückkehrern beläuft sich auf $T^T(t)$. Zählt man alle diese Tests zusammen, ergibt sich die Gesamtzahl an Tests zu einem Zeitpunkt t , dargestellt durch das Oval „CoV-2 Tests“. Wie ergibt sich nun aus dieser gesamten Anzahl von Tests die Anzahl der bestätigten Infektionen?

- Die Anzahl der bestätigten Infektionen

Wir wissen in unserem Modell (und Labore bestätigen dies durch Testergebnisse), dass Tests von Menschen mit nicht-CoV-2 induzierten Symptomen auf SARS-CoV-2 zu keinen positiven

Testergebnissen führen.⁸ Weiterhin nehmen wir an, dass alle Menschen mit CoV-2-induzierten Symptomen tatsächlich positiv auf SARS-CoV-2 getestet werden. Somit ist die Anzahl der positiven Tests, die sich aus symptom-bedingten Tests ergeben, durch die Anzahl der Tests von infektiösen und symptomatischen CoV-2 Patienten gegeben, also durch T_c^D . Diese Anzahl ist durch den Pfeil von „CoV-2 Tests“ zu „bestätigten Infektionen“ dargestellt.

Die Wahrscheinlichkeit eines positiven Tests bei Reiserückkehrern ist schwer zu bestimmen. Reiserückkehrer unterscheiden sich in einer Vielzahl von Eigenschaften wie u.a. den Reiseort, den Grund der Reise und das Verhalten vor Ort. Deswegen nehmen wir aus theoretischer Sicht eine Wahrscheinlichkeit $p^T(t)$ an, dass ein Test eines Reiserückkehrers positiv ist. Somit ergibt sich die Anzahl der bestätigt Infizierten aufgrund von Testungen von Reiserückkehrern als $p^T(t) T^T(t)$. Dies ist ebenfalls in Abbildung 2 abgebildet.

Schließlich gibt es noch die repräsentativen Tests. Die Wahrscheinlichkeit eines positiven repräsentativen Tests ist durch den wahren Verlauf des Infektionsgeschehens gegeben. Das ist gerade der Grund, warum repräsentative Tests durchgeführt werden. Somit ist diese Wahrscheinlichkeit $p^R(t)$ zu einem Zeitpunkt t gleich dem Verhältnis von Infizierten in der Bevölkerung (mit oder ohne Symptome) geteilt durch die Bevölkerungsgröße.

⁸ Wir nehmen in unserem Modell an, dass es keine „falschen positiven“ (oder auch „falschen negativen“) Tests gibt. Dies könnte leicht berücksichtigt werden, führt aber zu keinen weiteren Erkenntnissen.