

Kerstin Awiszus und Prof. Dr. Stefan Weber

Fallstudien zur Mortalität in der SARS-CoV-2-Pandemie

1. Einleitung

Die SARS-CoV-2-Pandemie ist mit erheblichen Konsequenzen in allen Lebensbereichen verbunden. Infektionen verursachen Erkrankungen, die unterschiedlich schwerwiegend ausfallen können und in einem Anteil der Fälle zum Tod der betroffenen Personen führen. Um die Ausbreitung der Pandemie zu bremsen, wurden weltweit unterschiedliche politische und sonstige Maßnahmen ergriffen. Zentral ist *Social Distancing* sowie eine *Nachverfolgung* von Infektionsketten und *Quarantäne* für infizierte Personen. Auch wenn die bisher berichteten Zahlen nur einen Teil der Fälle erfassen, so geben sie zumindest Anhaltspunkte hinsichtlich der Wachstumsrate der Epidemie; es lässt sich inzwischen konstatieren, dass die umgesetzten Maßnahmen verknüpft mit Verhaltensänderungen der Bevölkerung zur Eindämmung der Pandemie geeignet sind.

Unsicherheit bleibt zu diesem Zeitpunkt bestehen bei der Frage, wie lange Maßnahmen politisch umgesetzt werden, die Bevölkerung diese mitträgt und – als Folge – mit welcher Geschwindigkeit sich die Epidemie ausbreitet und welcher Anteil der Population in verschiedenen Ländern wann betroffen ist. Auch die Entwicklung von Medikamenten und Impfstoffen und ihre Anwendung ist nur grob abschätzbar. Hinsichtlich der Sterblichkeit der Infizierten gibt es erste Schätzungen, die auf Basis der Daten in Zukunft noch aktualisiert werden müssen.

Ziel dieses Artikels ist es, eine zentrale aktuarielle Rechnungsgröße in den Blick zu nehmen: die *Mortalität* in einer Population. In Fallstudien soll der Einfluss von COVID-19 auf Sterbefälle, Sterberaten sowie die erwartete Restlebensdauer untersucht werden. Diese Fallstudien sind keine Vorhersagen der Zukunft; sie stellen

vielmehr Analysen des *wenn – dann* dar, unter klar spezifizierten Annahmen. Die Voraussetzungen beinhalten z. B. den Anteil der Bevölkerung, der innerhalb eines Zeitfensters betroffen ist. Diese Größe ist unbekannt und in einer Gesellschaft teilweise steuerbar. Verschiedene Szenarien illustrieren daher den Horizont des Möglichen, auf den wir blicken.

Zusammenfassend erhalten wir folgende Ergebnisse:

Unter der Annahme, dass die Pandemie nur ein Jahr andauert, berechnen wir Sterbezahlen, Mortalitätsraten und Lebenserwartungen für verschiedene Szenarien und stellen als Ergänzung einen flexiblen und adjustierbaren MATLAB-Code in elektronischer Form zur Verfügung. Alternative Fallstudien können andere Zeitfenster und andere Parameterkonstellationen untersuchen.

Im – für Deutschland bei konsequenter Fortführung der ergriffenen Maßnahmen nicht realistischen – Worst-

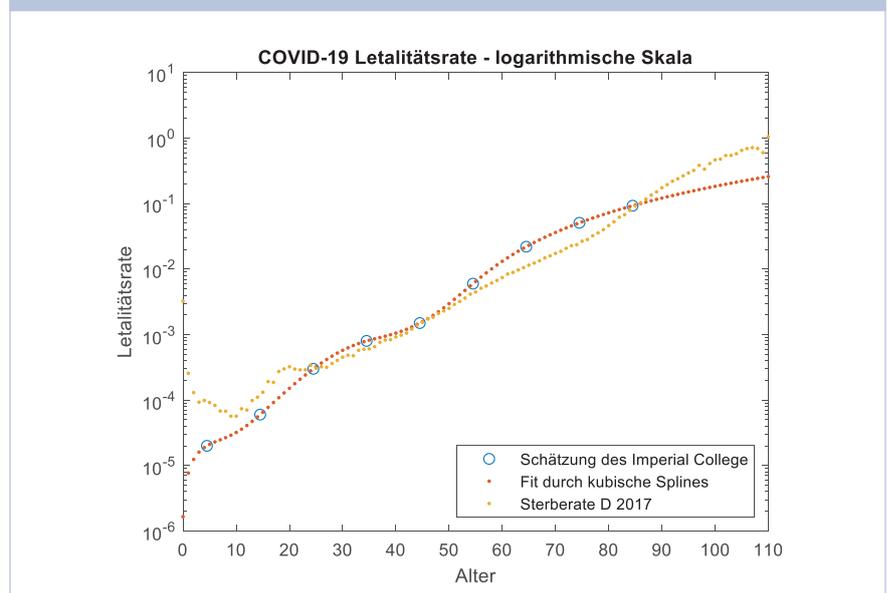
Case-Szenario kann die Sterblichkeit für einzelne Altersgruppen über ein Jahr bis zu einem multiplikativen Faktor 3 ansteigen; die Periodenlebenserwartungen sinken auch in diesem extremen Fall für sämtliche Altersgruppen höchstens um ca. sieben Monate, für Personen unter 50 Jahren sogar nur in sehr geringfügigem Maße. Die Pandemie wirkt den Sterblichkeitsverbesserungen der letzten Jahrzehnte entgegen, jedoch nicht im Umfang etlicher Dekaden; in quantitativer Hinsicht entsprechen für alle Altersgruppen und alle Fallstudien die adjustierten Periodenlebenserwartungen weiterhin historischen Periodenlebenserwartungen, die nach dem Jahr 2000 beobachtet worden sind.

2. Methoden

2.1. Daten

Grundlage und Referenzgröße für die folgenden Untersuchungen sind Populations- und Mortalitätsdaten für Deutschland aus dem Jahr 2017 (entnommen aus der Human Morta-

Abbildung 1: Geschätzte Letalitätsraten des Imperial College London [2] mit Anpassung kubischer Splines sowie historische Sterberate in Deutschland 2017



lity Database [1]). COVID-19-Erkrankungen erhöhen die reguläre Sterblichkeit. Letalitätsraten (d. h. Sterblichkeitsraten erkrankter Personen) für verschiedene Altersgruppen wurden von Wissenschaftlern des Imperial College in London geschätzt [2]. Zur Berechnung der Letalitätsrate für jedes einzelne Alter wurden diese Schätzungen durch die Anpassung kubischer Splines erweitert, siehe Abbildung 1. Eine zentrale Annahme unserer Untersuchungen ist, dass Sterberaten nur in einem einzigen Jahr durch COVID-19 erhöht werden und danach wieder auf die reguläre Mortalität absinken. Der von uns zur Verfügung gestellte MATLAB-Code kann aber auch flexibel an andere Zeitfenster angepasst werden.

2.2. Parameter

Drei wesentliche Quellen der Unsicherheit von Mortalitätsgrößen berücksichtigen wir in den Fallstudien explizit mittels zweier Parameter, die variiert werden: dem Szenarioparameter κ und dem Overlap-Parameter. Die drei diskutierten Quellen der Unsicherheit sind folgende: Erstens überschätzen die Letalitätsraten, die in der Anfangsphase einer Epidemie ermittelt worden sind, oft die wirklichen Raten. Zweitens ist der genaue Bevölkerungsanteil nicht bekannt, der

innerhalb des betrachteten Zeitfensters infiziert wird. Drittens führt die Pandemie zu Übersterblichkeit – jedoch wäre ein Teil der im betroffenen Zeitfenster mit COVID-19 verstorbenen Personen auch ohne Pandemie aufgrund anderer Ursachen verstorben.

Die folgenden zwei Parameter charakterisieren verschiedene fiktive Entwicklungen:

- **Szenarioparameter κ**

Der Szenarioparameter erfasst Unsicherheit hinsichtlich der bisher ermittelten Letalität sowie hinsichtlich des innerhalb des Zeitfensters infizierten Anteils der Bevölkerung. Hierzu sei β ein Multiplikator der in Abbildung 1 geschätzten Werte zur Berechnung einer korrekten Letalität; der Parameter α gibt den Anteil der infizierten Personen in der Gesamtpopulation an. Der Szenarioparameter κ bezeichnet das Produkt $\kappa = \alpha \beta$.

Ein größerer Szenarioparameter κ kann sowohl aus einem größeren Anteil von Infektionen als auch aus einer höheren Letalität resultieren. Zu jedem festen Wert des Parameters κ korrespondieren unendlich viele Kombinationen von α und β . Die Fallstudien, die in diesem Artikel diskutiert werden, betrachten die drei

Szenarien $\kappa=1$, $\kappa=0,5$ und $\kappa=0,1$. Die vorgestellte Methodik kann jedoch flexibel bei anderen Fallstudien angewendet werden. Insbesondere ist in der Realität auch ein Wert kleiner als $\kappa=0,1$ denkbar bei substantiellem Social Distancing. Bei wöchentlich 50 Neuinfektionen auf 100.000 Einwohner, dem Wert der sogenannten Obergrenze für besondere Maßnahmen in Deutschland, und $\beta=1$, ergäbe sich nur ca. ein Viertel dieses Wertes. Größere Werte von κ könnten hingegen Regionen auf der Welt erfassen, in denen die Pandemie nur wenig abgebremst wird.

- **Overlap**

Dieser Parameter beschreibt den Anteil der COVID-19-Todesfälle, die bereits in der regulären Todesfallzahl enthalten sind. Die Größe (1-Overlap) erfasst somit den Grad der Übersterblichkeit, der im Zuge der Epidemie verursacht wird. Liegt z. B. ein 100%iger Overlap vor, so ist die Gesamtzahl der Todesfälle durch COVID-19 nicht erhöht – Übersterblichkeit liegt nicht vor. Ist der Overlap 0 %, dann sind alle COVID-19-Todesfälle zusätzlich zu zählen. Entsprechend beschreibt ein x%iger Overlap eine Situation, in der x % der COVID-19-Todesfälle bereits in den regulären Todesfällen enthalten sind.

Abbildung 2: Zusätzliche Sterbefälle durch COVID-19 in der Gesamtbevölkerung für drei Szenarioparameter κ sowie aufgeschlüsselt nach Altersgruppen für den Szenarioparameter $\kappa=0,5$

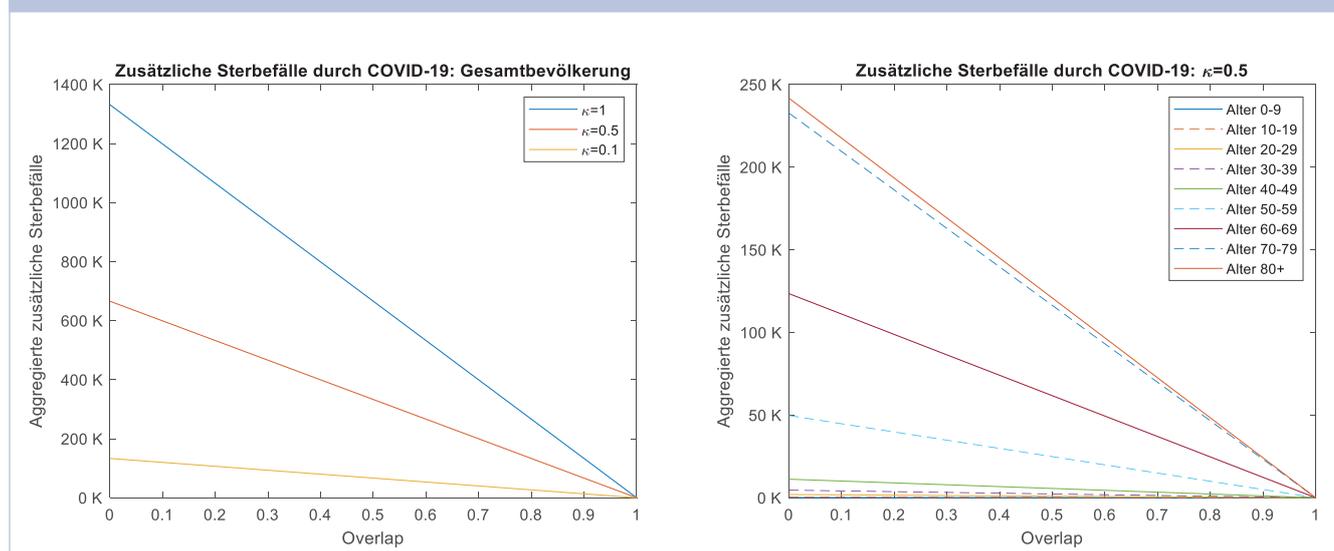
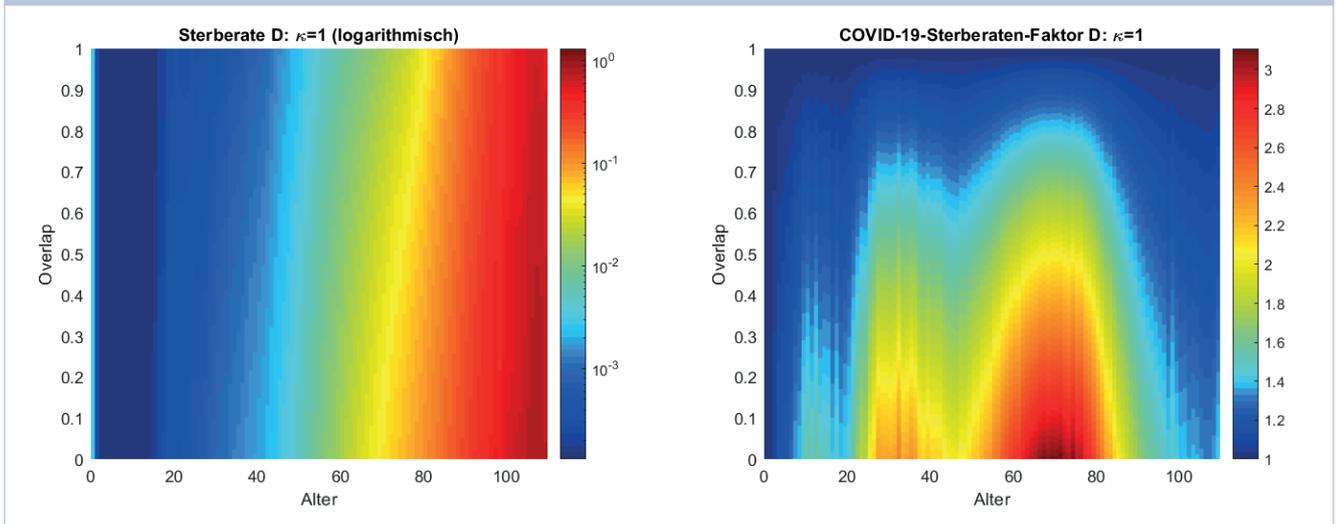


Abbildung 3:
Sterberaten unter COVID-19 sowie der COVID-19-Faktor der Sterberaten für den Szenarioparameter $\kappa = 1$



2.3. Methodik

Für die drei Szenarien $\kappa=1$, $\kappa=0,5$ und $\kappa=0,1$ wird die hypothetische Gesamtzahl von Sterbefällen innerhalb eines Jahres als Funktion von Alter und Overlap-Parameter berechnet. Aus der Gesamtzahl der Sterbefälle und der Populationsgröße für jede Altersgruppe ergeben sich adjustierte Sterberaten. Der COVID-19-Faktor der Sterberaten ist definiert als Quotient zwischen der Sterberate in der Pandemie und der regulären Sterberate. Schließlich werden die resultierenden Periodenlebenserwartungen mithilfe des Algorithmus zur Berechnung von

Periodensterbetafeln des Statistischen Bundesamts ([3], Abschnitt 1.1) ermittelt.

3. Ergebnisse

3.1. Zusätzliche Sterbefälle

Abbildung 2 zeigt die Übersterblichkeit im Kontext der Epidemie für alle Szenarien sowie für $\kappa=0,5$ aufgeschlüsselt nach Altersgruppen. Für $\kappa=1$ und geringen Overlap würde die Zahl zusätzlicher Sterbefälle im Fallbeispiel Deutschland die Milliongrenze übersteigen. Für $\kappa=0,5$ und Overlap $\frac{3}{4}$ ist die Übersterblichkeit größer als 100.000 Personen; bei

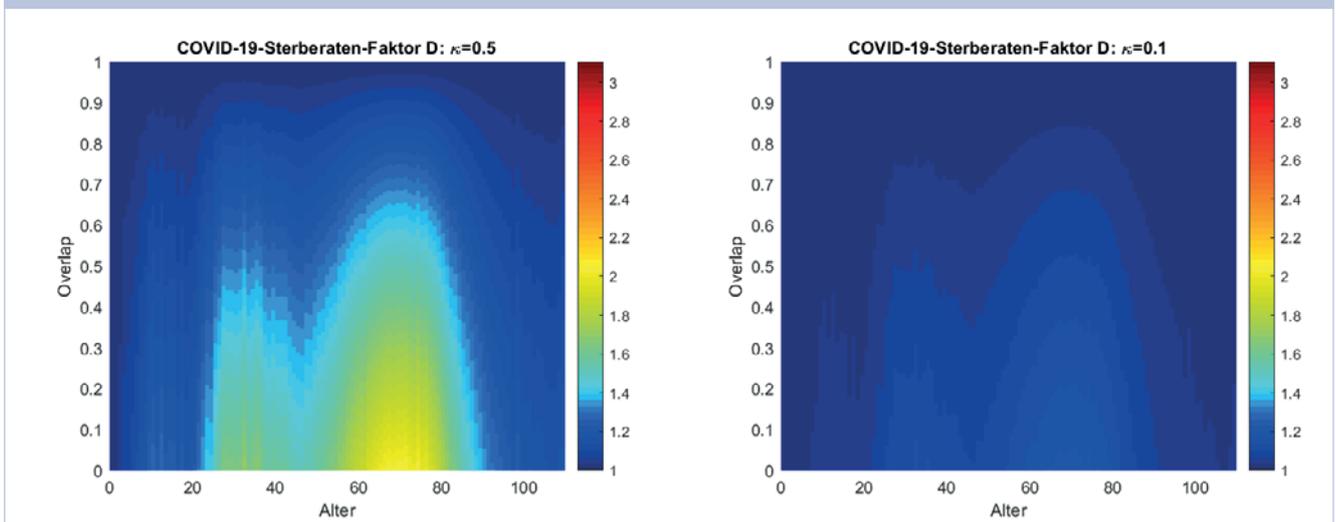
$\kappa=0,1$ ergibt sich noch ein Fünftel dieses Werts. Wie exemplarisch in Abbildung 2 für $\kappa=0,5$ illustriert, steigt für alle Szenario- und Overlap-Parameterwerte die Zahl der Sterbefälle mit zunehmendem Alter sehr deutlich an.

3.2. Sterberaten

3.2.1. COVID-19-Faktor

Abbildung 3 zeigt die aufgrund der Pandemie adjustierten Sterberaten sowie den COVID-19-Faktor, definiert als Quotient aus erhöhter und regulärer Sterberate, im Worst-Case-Szenario $\kappa=1$.

Abbildung 4:
COVID-19-Faktor der Sterberaten für Szenarioparameter $\kappa = 0,5$ und $\kappa = 0,1$



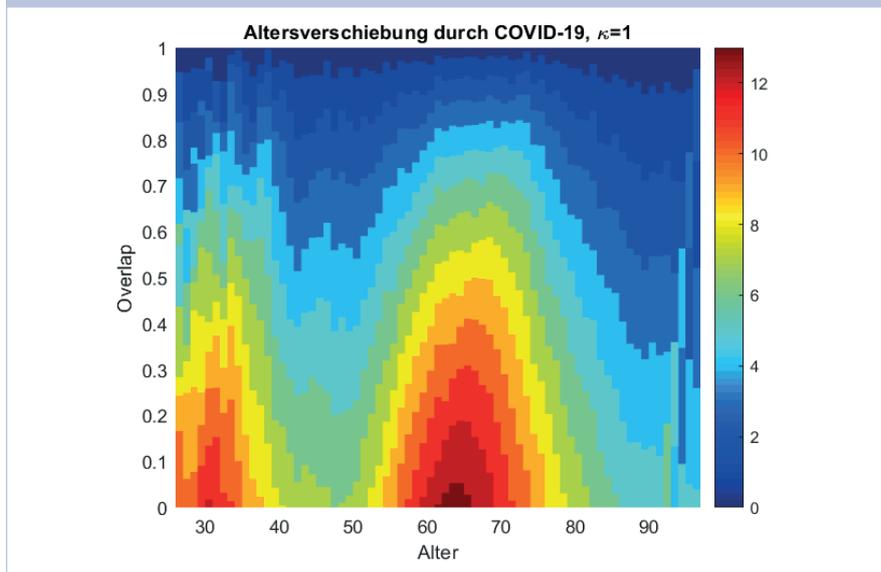
Auffällig ist ein besonders erhöhter COVID-19-Faktor für die Altersgruppen 25–40 und 60–80; in diesen Altersgruppen ist der Effekt der Epidemie im Vergleich zur normalen Sterblichkeit am deutlichsten. Trotzdem sind die absoluten Sterberaten für jüngere Menschen in der Fallstudie auch während der Pandemie weiterhin gering. Im Worst-Case-Szenario $\kappa=1$ und beim ungünstigsten Overlap 0 bleibt der COVID-19-Faktor für alle Altersgruppe durch eine Zahl leicht oberhalb von 3 beschränkt.

Abbildung 4 zeigt den COVID-19-Faktor für $\kappa=0,5$ und für $\kappa=0,1$. Die Erhöhung der Sterberaten durch COVID-19 ist in diesen Fällen geringer ausgeprägt. Für $\kappa=0,1$ etwa liegt der COVID-19-Faktor – selbst bei ungünstigem geringen Overlap – für alle Altersgruppen stets deutlich unter 1,5.

3.2.2. Hypothetische Altersverschiebung

Da reguläre Sterberaten (ungefähr ab dem Alter 25, jenseits des Unfallbuckels) monoton wachsen, lässt sich der Effekt der Pandemie auch als hypothetischer Alterungsprozess interpretieren. Abbildung 5 zeigt im Worst-Case-Szenario $\kappa=1$ den hypothetischen Lebensalterszuwachs für Individuen in

Abbildung 5: Hypothetische Alterung für Szenarioparameter $\kappa=1$



der Population, der für den Zeithorizont von einem Jahr bei Verwendung der regulären Sterblichkeit auf die Sterblichkeit in der Pandemie führen würde. Im Worst-Case-Szenario $\kappa=1$ und bei Overlap 0 hätte die Pandemie z. B. für eine 60-jährige Person in Bezug auf ihre Mortalität innerhalb des aktuellen Jahres denselben Effekt wie eine temporäre hypothetische Alterung von 12 Jahren; im Folgejahr wäre – gemäß den Annahmen unserer Fallstudien – die Sterberate wieder regulär.

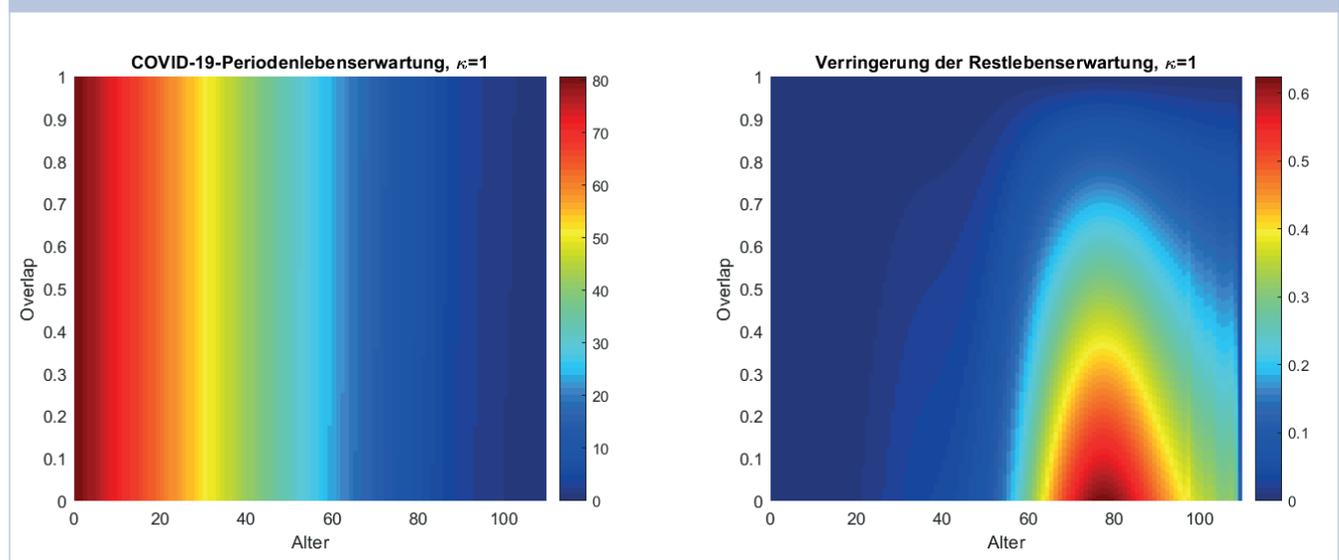
3.3. Erwartete Restlebensdauer

3.3.1. Verringerung der Periodenlebenserwartung

Was impliziert eine Erhöhung der Sterberaten im Jahr der Pandemie für die verbleibende Lebenserwartung für verschiedene Altersgruppen?

Abbildung 6 zeigt die adjustierte Periodenlebenserwartung und die Reduktion der Periodenlebenserwartung durch die Pandemie im Worst-Case-Szenario $\kappa=1$. Selbst in

Abbildung 6: COVID-19-Periodenlebenserwartung sowie deren Verringerung im Vergleich zur regulären Periodenlebenserwartung für Szenarioparameter $\kappa=1$



diesem Extremfall beträgt die Verringerung für alle Altersgruppen bei beliebigem Overlap weniger als ein Jahr. Für Personen, die im Jahr der Pandemie jünger als 50 Jahre alt sind, bleibt die Periodenlebenswertung fast unverändert. Im Kollektiv ist der Einfluss der Epidemie auf die Lebenserwartung beschränkt.

3.3.2. Historischer Vergleich

Eine Verringerung der Lebenserwartung kann als Zeitreise in die Vergangenheit interpretiert werden, da Sterblichkeiten in den letzten Jahren einen negativen Trend aufgewiesen haben. Historische Daten für Deutschland werden vom Statistischen Bundesamt [4] zur Verfügung gestellt.

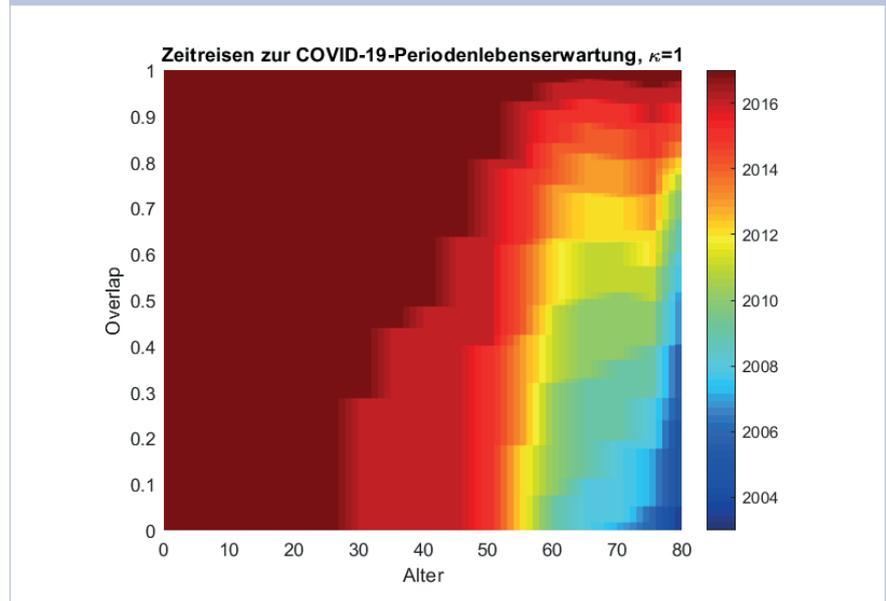
Abbildung 7 gibt im Worst-Case-Szenario $\kappa=1$ für jede Altersgruppe und jeden beliebigen Overlap-Parameter das eindeutige historische Kalenderjahr an, in dem die reguläre geglättete Periodenlebenserwartung der aufgrund der Pandemie in den Fallstudien adjustierten aktuellen Periodenlebenserwartung entsprochen hat.

Zeitreisen von mehr als 20 Jahren sind auch im Worst-Case-Szenario $\kappa=1$ nicht erforderlich. Personen, die jünger als 30 Jahre sind, müssen keine längeren Reisen in die Vergangenheit unternehmen: Zum Referenzjahr 2017, aus dem die regulären Mortalitätsdaten stammen, ergibt sich nur eine sehr geringe Adjustierung.

4. Zusammenfassung

Die SARS-CoV-2-Pandemie ist mit Übersterblichkeit verknüpft, die sich in den Zahlen der Todesfälle, Sterberaten und Lebenserwartungen der verschiedenen Altersgruppen ausdrückt. Präzise Vorhersagen sind derzeit nicht möglich, weil die Auswirkungen von politischen Maßnahmen, dem Verhalten der Bevölkerung und medizinischen Innovationen abhängen, die unsicher sind. In komparativen Fallstudien, die als Eingangsparameter den betroffenen Anteil der Bevölkerung, die Überschätzung der Letalität zu Beginn der Pandemie und Overlap verwenden, können mögliche Auswirkungen auf die Mor-

Abbildung 7:
Zur COVID-19-Periodenlebenserwartung korrespondierendes Kalenderjahr für Szenarioparameter $\kappa = 1$



talität quantitativ illustriert werden. Ergänzende Fallstudien, Zahlen sowie der MATLAB-Code, der den Be-

rechnungen zugrunde liegt, sind elektronisch in Awiszus & Weber [5] erhältlich.



Kerstin Awiszus, M. Sc., ist wissenschaftliche Mitarbeiterin im Fachbereich Versicherungs- und Finanzmathematik des House of Insurance an der

Leibniz Universität Hannover. Ihr aktueller Forschungsschwerpunkt ist das Risikomanagement in Netzwerkmodellen.



Prof. Dr. Stefan Weber ist Direktor des interdisziplinären House of Insurance und Professor für Versicherungs- und Finanzmathematik an der

Leibniz Universität Hannover. Zudem engagiert er sich als Vorstandsmitglied in der DGVM und ist Vertrauensdozent der DAV.

Literaturverzeichnis

- [1] Human Mortality Database. University of California, Berkeley (USA) und Max Planck Institute for Demographic Research (GER). <https://www.mortality.org> (zuletzt besucht am 17. März 2020).
- [2] Ferguson, N. M. et al. on behalf of the Imperial College London COVID-19 Response Team: Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID-19 mortality and healthcare demand, 16. März 2020, <https://doi.org/10.25561/77482> (zuletzt besucht am 8. Mai 2020).
- [3] Statistisches Bundesamt (Destatis): Methoden- und Ergebnisbericht zur laufenden Berechnung von Perioden-

sterbetafeln für Deutschland und die Bundesländer, 5. November 2019.

- [4] Statistisches Bundesamt (Destatis) – Statistische Bibliothek: Sterbetafeln, siehe z. B. https://www.destatis.de/GPStatistik/receive/DESerie_serie_00003028 (zuletzt besucht am 8. Mai 2020).
- [5] Awiszus, K. und Weber, S.: COVID-19 Mortality, 2. April 2020, https://www.insurance.uni-hannover.de/fileadmin/house-of-insurance/Publications/2020/COVID/COVID-19_Mortality_Studies.pdf & <https://www.insurance.uni-hannover.de/fileadmin/house-of-insurance/Publications/2020/COVID/MortalityCalculationCOVID19.m> (zuletzt besucht am 13. Mai 2020).