

Pedro Ballesteros, Dagmar Hertle, Uwe Repschläger,
Claudia Schulte, Danny Wende 

Stand: 19. Januar 2021

Ein Modell zur Optimierung der Corona-Impfstrategie

Eine Analyse des bifg auf der Grundlage von Routinedaten
der BARMER



Abstract

Hintergrund

Mit der erfolgreichen Zulassung der ersten Corona-Impfstoffe besteht inzwischen eine wirksame Schutzmöglichkeit der Bevölkerung vor einer Corona-Infektion. Angesichts der begrenzten Produktionskapazitäten zur Herstellung des Impfstoffs steht in den ersten Monaten jedoch deutlich weniger Impfstoff zur Verfügung, als von der Bevölkerung nachgefragt wird. Somit ergibt sich das aus der mikroökonomischen Wohlfahrtstheorie bekannte, klassische Allokationsproblem: **„Wie kann das knappe Gut ‚Impfstoff‘ bestmöglich verteilt werden, um ein optimales Wohlfahrtsergebnis für die Gesellschaft zu erzielen?“** Anders formuliert geht es um die Frage: **„Wie kann der vorhandene Impfstoff zu Beginn so auf die Bevölkerung verteilt werden, dass der Nutzen für die Gesellschaft möglichst hoch ist?“** Der Nutzen für die Gesellschaft und jeden Einzelnen ergibt sich dabei insbesondere aus der Vermeidung der unmittelbaren negativen Folgen, die häufig

mit Corona-Infektionen verbunden sind – schweren Krankheitsverläufen mit der Folge von Krankenhausaufenthalten, Beatmungen und erhöhten Sterberaten. Diejenige Verteilung des knappen Gutes „Impfstoff“ auf die Bevölkerung wäre somit „optimal“, die am wahrscheinlichsten möglichst viele schwere Krankheitsverläufe vermeiden würde.

Angesichts der zwingend zu beantwortenden Frage, wer als Erstes ein Impfangebot bekommen soll, haben sich die Ständige Impfkommission (STIKO), der Ethikrat und die Leopoldina beraten. Gemeinsam haben sie ein Positionspapier mit ethischen Grundsätzen für eine Impfempfehlung festgelegt (Ständige Impfkommission, Deutscher Ethikrat, Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, 9. November 2020).

Auf der Grundlage dieser Empfehlung hat die Bundesregierung in ihrer Coronavirus-Impfverordnung (ImpfVO) eine Impfreihenfolge für die gesamte Bevölkerung festgelegt (Bundesministerium für Gesundheit, 14. Dezember 2020), indem sie **vier Gruppen mit absteigen-**



der **Priorität** definiert hat. Da diese festgelegten Gruppen sehr groß sind, erfordert die komplette Impfung aller Impfwilligen einer Gruppe jeweils mehrere Monate. Daher **ist eine weitere Priorisierung innerhalb der Gruppen und ggf. gruppenübergreifend notwendig**, um Personen, die besonders vulnerabel sind, ein möglichst frühzeitiges Impfangebot machen zu können.

Um eine weitere Priorisierung vornehmen zu können, sind Informationen über den Gesundheitszustand (Vorerkrankungen) der Bevölkerung auf individueller Ebene erforderlich. **Eine solche Verfeinerung der Impfstrategie wäre somit grundsätzlich durch die Verwendung von Krankenkassendaten möglich.**

Das BARMER Institut für Gesundheitssystemforschung (bifg) hat auf Basis der Daten der BARMER ein Modell (COVID-19-Modell) entwickelt, das geeignet ist, die mit der ImpfVO festgelegte Impfstrategie der Bundesregierung so zu ergänzen, dass die Verteilung des Impfstoffs weiter optimiert wird.

Methodik

Auf Basis der Klassifikation des Morbi-RSA wurde für mehr als zehn Prozent der Bevölkerung Deutschlands der Zusammenhang zwischen relevanten Vorerkrankungen und den Outcomes „Hospitalisierung“, „Beat-

mung“ und „Tod“ (jeweils nach laborbestätigter COVID-19-Infektion) untersucht. Hierzu wurde in einem mehrstufigen Verfahren die Morbi-RSA-Systematik auf die Erkrankungen eingeschränkt, für die sich ein Zusammenhang mit schweren COVID-19-Verläufen ermitteln ließ. Datengrundlage für die Entwicklung des COVID-19-Modells waren anonymisierte Daten der Jahre 2019 und 2020 von ca. neun Millionen Versicherten der BARMER.

Ergebnisse

Das auf der Grundlage des Morbi-RSA entwickelte COVID-19-Modell kann die bisherige Impfpriorisierung sinnvoll ergänzen und optimieren. Die individualisierte Berücksichtigung kumulativer Risiken ermöglicht ein frühzeitigeres Impfangebot an besonders vulnerable Menschen innerhalb der bisherigen (sehr großen) Gruppen und auch gruppenübergreifend.

Eine entsprechende Optimierung der Impfstrategie auf Basis der Ergebnisse dieser Analyse kann **bei einer identischen Anzahl von Impfungen zu einer erheblichen Reduktion von Hospitalisierungs-, Beatmungs- und Todesfällen führen**. Der gewählte Ansatz könnte und sollte durch andere Kassen und damit an noch größeren Datenmengen überprüft werden.

Fazit

- Das auf der Grundlage des Morbi-RSA entwickelte Modell kann die bisherige Impfpriorisierung sinnvoll ergänzen und optimieren.
- Die individualisierte Berücksichtigung kumulativer Risiken ermöglicht ein frühzeitigeres Impfangebot an besonders vulnerable Menschen innerhalb der bisherigen (sehr großen) Gruppen und auch gruppenübergreifend.
- Damit können Todesfälle und Hospitalisierungen verringert werden.
- Dabei ist dieselbe prospektive Todesfallreduktion mit deutlich weniger Impfdosen erreichbar.
- Der gewählte Ansatz könnte und sollte durch andere Kassen und damit an noch größeren Datenmengen überprüft werden.
- Mit dem gewählten Ansatz ließe sich ein präzisiertes bevölkerungsweites Vorgehen bei der Impfung umsetzen, z. B. durch ein gezieltes Einladungssystem.

Einleitung

Mit der Coronavirus-Impfverordnung hat die Bundesregierung die Impfreihenfolge der gesamten Bevölkerung festgelegt (Bundesministerium für Gesundheit, 14. Dezember 2020), indem sie vier Gruppen mit ab-

steigender Priorität definiert hat. Sie stützt sich dabei auf die STIKO-Empfehlung zur COVID-19-Impfung vom 14. Januar 2021 (Vygen-Bonnet et al., 14. Januar 2021 [online vorab]), übernimmt aber nicht die dort vorgeschlagene Einteilung in sechs Gruppen, sondern nimmt eine Einteilung in vier Gruppen vor.

Tabelle 1: Gegenüberstellung Priorisierung STIKO-Empfehlung vs. ImpfVO

	Anzahl Personen in Mio.	Prioritätsgruppe lt. STIKO-Empfehlung	Prioritätsgruppe lt. ImpfVO
Personen ab 80 Jahren	5,4	1	1
Pflegeheimbewohner	1,0	1	1
medizinisches Personal mit besonders hohem Expositionsrisiko (z. B. Notaufnahmen)	1,0	1	1
medizinisches Personal mit engem Kontakt zu vulnerablen Gruppen (z. B. Onkologie)	?	1	1
Pflegepersonal ambulant und stationär	1,2	1	1
andere Tätige in Seniorenheimen	?	1	1
Personen von 75 bis 79 Jahren	4,1	2	2
medizinisches Personal mit hohem Expositionsrisiko	1,0	2	2
Personen mit Demenz oder geistiger Behinderung in Institutionen	1,6	2	2
Personal in diesen Institutionen	?	2	2
Personen mit Down-Syndrom	0,05	2	2
Personen von 70 bis 74 Jahren	3,6	3	2
Personen nach Organtransplantation	?	3	2
Personen mit anderen Vorerkrankungen mit hohem Risiko	?	3	3
Bewohner von Gemeinschaftsunterkünften	0,5	3	2
enge Kontaktpersonen von Schwangeren	0,76	3	2
enge Kontaktpersonen von Pflegebedürftigen	?	3	2
medizinisches Personal mit moderatem Expositionsrisiko	0,8	3	3
Teilbereiche des ÖGD	0,02	3	2
Personen von 65 bis 69 Jahren	4,8	4	3
Personen mit Vorerkrankungen mit moderat erhöhtem Risiko	?	4	3
medizinisches Personal mit niedrigem Expositionsrisiko	0,3	4	3
Lehrer, Erzieher	1,4	4	3

	Anzahl Personen in Mio.	Prioritätsgruppe lt. STIKO-Empfehlung	Prioritätsgruppe lt. ImpfVO
Personen mit prekären Lebens- oder Arbeitsbedingungen (Inhaftierte, Saisonarbeiter)	0,4	4	3
Personen von 60 bis 64 Jahren	5,5	5	3
Schlüsselpersonal in Land und Bund	?	5	2/3
Beschäftigte im Einzelhandel	3,1	5	3
Berufe in der kritischen Infrastruktur	0,8	5	3
alle anderen	45,0	6	4
gesamt	83,1		

Quelle: STIKO, ImpfVO, eigene Darstellung

In Tabelle 1 sind die Personenkreise aufgeführt, die die STIKO in ihrer Empfehlung benennt. Für einen Teil der Personenkreise konnte die STIKO ermitteln, wie viele Personen sich in der Gruppe befinden, andere Gruppen weisen anstelle dieser Angabe lediglich ein Fragezeichen auf. Die hintere Spalte gibt an, welcher Prioritätsgruppe der Personenkreis in der ImpfVO zugeordnet wurde. Unabhängig davon, ob man die Gruppen der STIKO-Empfehlung oder der ImpfVO betrachtet, ist es

bisher nicht möglich, die Gesamtzahl an Personen in den jeweiligen Gruppen zu ermitteln. Dies gilt insbesondere deshalb, weil sich zwar zu den einzelnen Personengruppen Angaben finden, die Überschneidungen zwischen den Personenkreisen innerhalb einer Gruppe aber unbekannt sind. Beispielsweise werden sich in der Prioritätsgruppe 3 der ImpfVO Lehrer über 60 Jahre mit Vorerkrankungen finden, diese würden bei separater Betrachtung dreimal gezählt.

Tabelle 2: Relevante Vorerkrankungen der Prioritätsgruppe 3 (§ 4 ImpfVO)

Personen, bei denen ein erhöhtes Risiko für einen schweren oder tödlichen Krankheitsverlauf nach einer Infektion mit dem Coronavirus SARS-CoV-2 besteht
a) Personen mit Adipositas (Personen mit Body-Mass-Index über 30)
b) Personen mit chronischer Nierenerkrankung
c) Personen mit chronischer Lebererkrankung
d) Personen mit Immundefizienz oder HIV-Infektion
e) Personen mit Diabetes mellitus
f) Personen mit einer Herzinsuffizienz, Arrhythmie, einem Vorhofflimmern, einer koronaren Herzkrankheit oder arterieller Hypertension
g) Personen mit zerebrovaskulären Erkrankungen oder Apoplex
h) Personen mit Krebserkrankungen
i) Personen mit COPD oder Asthma bronchiale
j) Personen mit Autoimmunerkrankungen oder rheumatischen Erkrankungen

Neben einer Auswahl über das Alter bzw. den ausgeübten Beruf **werden auch Vorerkrankungen berücksichtigt, von denen bekannt ist, dass sie schwere Verläufe einer COVID-19-Erkrankung begünstigen.** In der Prioritätsgruppe 1 der ImpfvVO werden keine Personen auf der Basis von Vorerkrankungen aufgegriffen. Zur Prioritätsgruppe 2 zählen Personen mit Demenz, Down-Syndrom bzw. nach Organtransplantation. In der Prioritätsgruppe 3 werden die meisten Zuordnungen aufgrund von Vorerkrankungen vorgenommen.

Die Gruppe mit Priorität 3 lt. ImpfvVO umfasst über zehn Millionen Personen zwischen 60 und 69 Jahren, mindestens fünf Millionen Personen, die aufgrund ihres Berufs ausgewählt wurden, und zusätzlich alle Personen mit relevanten Vorerkrankungen (Tabelle 2). **Da die Vorerkrankungen sehr breit definiert sind, könnten weitere 10 bis 15 Millionen Personen hinzukommen, die unter mindestens einer der genannten Vorerkrankungen leiden.**

Die Impfung aller Impfwilligen der Gruppe 3 wird aufgrund ihrer Größe mehrere Monate in Anspruch nehmen, bei Knappheit der Impfkapazitäten verlängern sich die Zeiträume weiter. **Nach aktuellem Stand würde die Impfung innerhalb dieser Gruppe dabei zu einem quasi zufälligen Zeitpunkt erfolgen. Mit einer optimierten Impfstrategie lassen sich gegenüber dieser quasi zufälligen Verteilung relevante Verbesserungen erzielen. Mit identischen verfügbaren Ressourcen ließen sich so deutlich mehr Hospitalisierungen und Sterbefälle vermeiden und ließe sich mit den zur Verfügung stehenden Mitteln ein maximaler Nutzen erzielen.**

Die Empfehlung der STIKO

Die Empfehlung der STIKO basiert hinsichtlich der alters- und vorerkrankungsbasierten Elemente auf einer umfassenden Aufarbeitung systematischer Reviews in englischer oder deutscher Sprache, die ab dem 1. Januar 2020 publiziert wurden und in denen die Beziehung zwischen mindestens einer Vorerkrankung und einer symptomatischen SARS-CoV-2-Infektion bzw. einem schweren COVID-19-Erkrankungsverlauf (Hospitalisierung und Tod) untersucht wurde (Vygen-Bonnet et al., 14. Januar 2021 [online vorab]).

Mit dieser Vorgehensweise konnte die STIKO wesentliche Faktoren identifizieren, die ein vorrangiges Impfangebot begründen. Die STIKO weist jedoch selbst auch auf einige **Limitationen** ausdrücklich hin: „Limitationen dieser Analyse ergeben sich insbesondere aus den z. T. differierenden Definitionen der Vorerkrankungen in den Primärstudien, aber auch aus dem Fehlen von Angaben zum Krankheitsstadium bzw. zur Therapie. Hierdurch könnte es zu einer Unterschätzung der Effekte von akuten und/oder schweren Ausprägungsgraden von Vorerkrankungen gekommen sein. Interaktionen zwischen Alter und Vorerkrankungen wurden in den Studien nicht untersucht. **Es sind nicht alle relevanten Vorerkrankungen erfasst**, sondern nur die, die in den systematischen Reviews berichtet wurden. Seltene Vorerkrankungen können fehlen“ (Vygen-Bonnet et al., 14. Januar 2021 [online vorab]).

Insbesondere die fehlende Untersuchung von Interaktionen zwischen Alter und Vorerkrankungen stellt eine gravierende Einschränkung dar. Zwar ist das zunehmende Alter der unabhängige Faktor, der mit Abstand die höchste Risikoerhöhung mit sich bringt, ob aber beispielsweise jüngere Personen mit gravierenden Lungenerkrankungen ein deutlich höheres Sterberisiko als eine Gruppe relativ gesunder 75-Jähriger haben und daher höher priorisiert werden sollten, kann bisher nicht beantwortet werden. Wenn den verwendeten Untersuchungen zu entnehmen ist, dass Personen mehreren Risikogruppen gleichzeitig angehören, wurden sie von der STIKO der jeweils höchsten zugeordnet.

Limitiert sieht sich die STIKO also bei der Vergleichbarkeit der Krankheitsdefinition und bei der Unmöglichkeit, Risikozuordnungen kumulativ zu berücksichtigen. **Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, diese Limitationen zu überwinden und damit die Impfreihefolge weiter zu optimieren.**

Impfstrategie und Morbi-RSA

Die Abgrenzung und Identifikation von Vorerkrankungen, welche in einen COVID-19-Bezug gesetzt werden können, setzt eine Arbeitsdefinition von Vorerkrankungen voraus. Im Rahmen der ärztlichen Behandlung wird eine Erkrankung eines Patienten durch eine Diagnose nach ICD-10 GM kodiert, es gibt ca. 18.000 unter-

schiedliche Diagnosen. Eine durch die ImpfVO vorgegebene Zuordnung der ICD-Diagnosen zu den Krankheitsbildern, die in Tabelle 2 aufgeführt sind, existiert nicht.

Ein vergleichbares Problem stellte sich auch im Kontext des morbiditätsorientierten Risikostrukturausgleichs (Morbi-RSA). Der Morbi-RSA baut auf der jeweils gültigen Version des ICD-10 GM auf und klassifiziert alle nach dem jeweiligen Meldeverfahren gültigen Diagnosen in hierarchisierte Krankheitsgruppen. Somit bildet es das im ICD verschlüsselte Krankheitsspektrum vollständig ab. Dank seiner hierarchischen Struktur auf der Individualalebene wird die doppelte Erfassung von Morbiditäten gleicher Ätiologie, aber unterschiedlichen Schweregrads vermieden. **Die aktuelle Klassifikation des Morbi-RSA empfiehlt sich daher zum Aufgriff von COVID-19 erschwerenden Vorerkrankungen in Deutschland. Ziel ist aber in diesem Fall nicht die Prognose der Kosten, sondern eine Prognose der Hospitalisierungs-, Beatmungs- bzw. Versterbewahrscheinlichkeit auf Basis der bekannten Vorerkrankungen.**

Die Klassifikation des Morbi-RSA ordnet jeden Versicherten genau einer von 40 Alters- und Geschlechtsgruppen zu und parallel dazu beliebig vielen von knapp 500 definierten „Krankheiten“. Bestimmt man die Erkrankungs Wahrscheinlichkeit für COVID-19 anhand des Morbi-RSA, wird gerade auch die Interaktion zwischen Alter und Vorerkrankungen auf der Ebene des einzelnen Versicherten berücksichtigt. Bei einer Impfpriorisierung nach den so prognostizierten Risiken handelt es sich um einen Individualansatz. Im Gegensatz zu dem Zellenansatz der STIKO erhält jeder Einwohner im COVID-19-Modell sein Impfangebot aufgrund seines individuellen Risikos. **Es erscheint daher sinnvoll zu überprüfen, ob durch Anwendung des Morbi-RSA- Instrumentariums die Priorisierung der STIKO zielgenauer gestaltet werden kann.**

Das vorgeschlagene Modell bezieht sich in seiner grafisch dargestellten und hinsichtlich seiner Ergebnisse diskutierten Ausprägung nur auf Menschen bis zu einem Alter von 79 Jahren, die nicht stationär gepflegt werden, also auf die Stufen ab Prioritätsgruppe 2 der ImpfVO. Die Impfungen der Prioritätsgruppe 1 sind im vollen Gang. Erkenntnisse aus dem vorliegend entwi-

ckelten Modell wären ohnehin nicht nutzbar. Auswertungen des Vollmodells zeigen darüber hinaus, dass die Priorisierung der Gruppe 1 das geringste Optimierungspotenzial aufweist.

Methodik

Das COVID-19-Modell

Im Klassifikationsmodell des Morbi-RSA (Ausgangsmodell) werden 31 Hierarchien mit 495 Morbiditätsgruppen sowie 40 Alters- und Geschlechtsgruppen unterschieden. Viele der Morbiditäten stehen nicht im Verdacht, eine COVID-19-Infektion zu erschweren.

Das Ziel dieser Untersuchung ist es, auf der Grundlage der Morbi-RSA-Krankheitsgruppierung **eine Klassifikation für COVID-19 erschwerende Vorerkrankungen zu bilden**. Um dies zu ermöglichen, werden primäre Outcomes definiert, welche den Empfehlungen der Impfkommision entsprechend Krankheitseskalationen und damit Belastungen des Gesundheitssystems darstellen und somit vermieden werden sollen. Folgende Outcomes werden unterschieden:

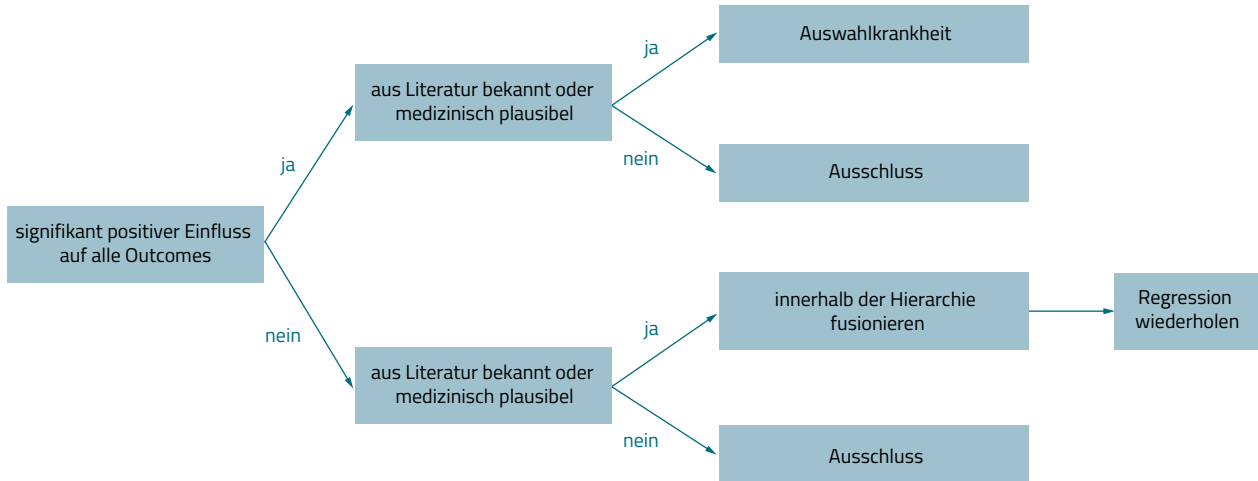
- Hospitalisierung mit einer laborbestätigten COVID-19-Infektion (ICD: U07.1)
- Beatmung nach laborbestätigter COVID-19-Infektion
- Tod im Zusammenhang mit einer Hospitalisierung mit laborbestätigter COVID-19-Infektion

Die Auswahl der COVID-19 erschwerenden Vorerkrankungen erfolgte anhand eines Regressionsmodells und der medizinischen Bewertung der Ergebnisse. Hierfür wurden alle Versicherten der Krankenkasse BARMER nach dem Klassifikationsmodell des Morbi-RSA gruppiert, sodass eine eins/null-kodierte Ausprägungsmatrix über alle 535 Gruppen entstand. Über die Ausprägungsmatrix wurden logistische Regressionen auf den Outcomes durchgeführt. Vorerkrankungen, deren Regressionskoeffizienten keinen signifikant erschwerenden Krankheitsverlauf anzeigen, wurden aussortiert. Hierbei wurde die zeitliche Abfolge mit Infektion, Hospitalisierung, Beatmung und Tod als wesentliche COVID-19-bedingte Krankheitsgeschichte angesehen.

Gleichwohl können keine Kausalaussagen getätigt werden, sodass für die Identifikation der relevanten

Vorerkrankungen zusätzlich aktuelle Literatur und die medizinische Plausibilität herangezogen wurden.

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Auswahl relevanter Vorerkrankungen



Quelle: eigene Darstellung

Folgender Entscheidungsprozess wurde für jede Vorerkrankung bzw. Morbiditätsgruppe etabliert:

- Wenn eine Vorerkrankung ein signifikant höheres Risiko in Bezug auf oben genannte Outcomes ausweist, wird die Vorerkrankung in das Set der Auswahlerkrankungen überführt.
- Gibt es jedoch kein klinisches Studienergebnis, das diesen Befund stützt, so wird die Vorerkrankung auf medizinische Plausibilität überprüft. Als plausibel gilt ein Effekt, wenn artverwandte Erkrankungen einen klinisch belegten Einfluss aufweisen oder wenn die bekannten Folgen einer Vorerkrankung einen Zusammenhang zu Schäden an Herz, Leber, Niere, Lunge oder einen Einfluss auf das Immunsystem nahelegen.
- Wenn in den Daten kein signifikant schlechterer Krankheitsverlauf detektiert wurde, die Literatur oder die medizinische Einschätzung diesen aber nahelegt, wird die Erkrankung innerhalb ihrer Hierarchie mit angrenzenden Erkrankungen fusioniert, um höhere Fallzahlen zu erreichen.
- Wenn kein signifikant schlechterer Krankheitsverlauf detektiert wurde und weder die Literatur diesen beschreibt noch die medizinische Einschätzung diesen plausibel erscheinen lässt, wurde die entsprechende Vorerkrankung ausgeschlossen.

Der gesamte Entscheidungsprozess wird iterativ wiederholt, bis alle Vorerkrankungen eindeutig als Auswahlkrankheit oder Ausschlusskrankheit identifiziert werden.

Regressionsmodell und Impfpriorisierung

Für die weitere Darstellung werden die Zuordnung einer Person $i \in \{1, \dots, N\}$ in das finale COVID-19-Klassifikationsmodell durch den Vektor $x_i' = (x_{ij})_i$, die Beobachtung des $k \in \{1, 2, 3\}$ Outcomes mit y_{ik} und die Stellung der Person innerhalb der Impfreiheitsfolge $r_{ik} \in \{1, \dots, N\}$ definiert. Die Abbildung $\text{rang}: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{N}$, $z \mapsto r$ ordnet einem Vektor z eine Reihenfolge r von der größten zur kleinsten numerischen Ausprägung zu.

Die Festlegung der Impfreiheitsfolge erfolgt über einen Individualansatz. Hierbei erhält jede Person einen Rang entsprechend ihrem individuellen Risiko, $P[y_{ik} = 1] = P[y_{ik} = 1 \mid X = x_i']$:

$$r_{ik} = \text{rang}(P[y_{ik} = 1]) \quad \text{mit} \quad P[y_{ik} = 1] = \frac{\exp(x_i' \beta_k)}{1 + \exp(x_i' \beta_k)}$$

Das individuelle Risiko sei durch ein logistisches Regressionsmodell bestimmt, welches ebenfalls für die Modellausgestaltung genutzt wird. Der unbekannte und zu schätzende Vektor der Regressionskoeffizienten ist $\beta_k = (\beta_{1,k}, \dots, \beta_{j,k})'$. Die Annahme des Modells ist

die Existenz eines unabhängigen und identisch Gumbel-verteilten Fehlerterms je Outcome (Cameron & Trivedi 2008, S. 465).

Eine Impfreihefolge hat eine umso höhere Qualität, je besser es ihr gelingt, frühzeitig möglichst vielen, besonders vulnerablen Personen ein Impfangebot zu machen. Um diese Qualität zu bestimmen, wird ein Gedankenexperiment zugrunde gelegt. Es sei angenommen, dass bereits zu Beginn der COVID-19-Pandemie ein Impfstoff zur Verfügung gestanden hätte und mit der Impfung entsprechend der Impfreihefolge begonnen wurde. Hierbei soll die Impffrequenz f_i , gleich eine Million vollständige Impfserien pro Woche betragen. Das Gütekriterium der Impfreihefolge ist in dieser Situation die Wartezeit des i -ten Patienten (Person mit $y_{ik} = 1$, z.B. Hospitalisierung oder Tod) auf die Impfung. Für den Modellvergleich wird die mittlere Wartezeit bestimmt, \overline{Time}_k . Es gilt:

$$Time_{ik} = \frac{r_{ik}}{f_i} \quad \text{und} \quad \overline{Time}_k = \frac{1}{N} \sum_i Time_{ik}.$$

Als weitere Kriterien werden das Bestimmtheitsmaß nach Nagelkerke (1991) und die Fläche unter der ROC-Kurve (AUROC) betrachtet. Da es das primäre Ziel einer jeden Impfstrategie ist, Patienten vor einer Infektion und Krankheitseskalation zu impfen, wird ebenfalls

überprüft, wie gut die Modelle neue Fälle vorhersagen und priorisieren können. Hierfür werden die benannten Gütekriterien in einer zehnfachen Kreuzvalidierung bestimmt. Die Kreuzvalidierung erfolgt, indem die Beobachtungen in zehn Teile zufällig aufgeteilt werden. Auf jeweils neun Teilen wird das Modell gelernt, während die Gütekriterien auf dem zehnten Teil bestimmt werden. Der Mittelwert eines Gütekriteriums über alle so erfolgten Kombinationen wird im Folgenden als Out-of-sample (Oos) angegeben.

Datengrundlagen

Die Analyse zur Impfpriorisierung erfolgte auf Beobachtungen von rund neun Millionen Versicherten der BARMER. Der Schwerpunkt lag auf stationären Fällen zwischen dem 1. Januar 2020 und dem 30. November 2020 mit einer klinisch-epidemiologisch bestätigten COVID-19-Infektion (U07.1). Zur Gruppierung herangezogen wurden die Daten des Jahres 2019. Ein Modell, in dessen Gruppierungsdaten ggf. schon Sachverhalte einfließen, welche von der COVID-19-Erkrankung erst bewirkt wurden, würde verzerrte Ergebnisse bewirken. Tabelle 3 zeigt wesentliche Kennzahlen der Stichprobe.

Tabelle 3: Kennzahlen der Stichprobe

Kennzahl	Grunddaten	davon stationär mit COVID-19	davon beatmet	davon verstorben
Personen	9.154.806	13.464	1.539	2.753
durchschnittliches Alter	48,19	70,42	71,23	81,67
Anteil Männer	43,31%	43,73%	60,03%	48,18%
Ø Anzahl Vorerkrankungen*	4,08	8,70	9,55	10,66
Ø Belegungstage	1,56	20,86	41,53	25,63
Ø Beatmungsstunden	0,59	34,32	300,25	80,48

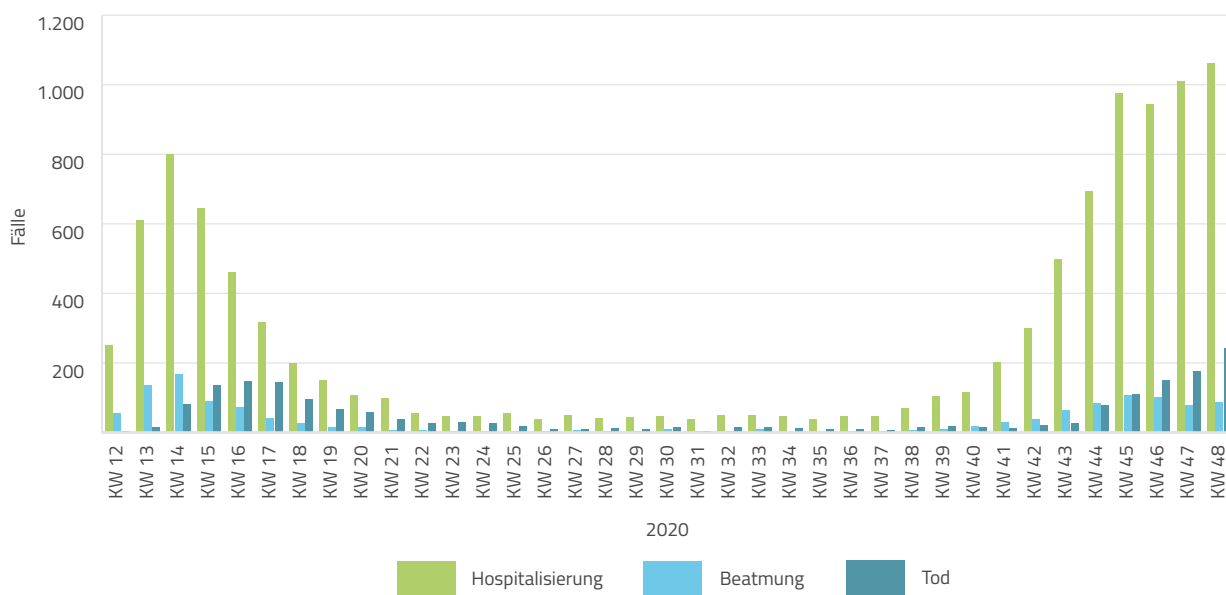
* Vorerkrankungen gemäß Morbi-RSA-Klassifikation Modell 2021 mit Morbidität 2019.

Quelle: BARMER-Daten, eigene Berechnung, ohne Einschränkung auf Prioritätsgruppen 2 bis 4 ImpfvO

Die beobachteten Fälle werden unterschieden in Fälle, in deren Zusammenhang eine künstliche Beatmung erfolgte, und Fälle, bei denen der Patient während oder bis zu 30 Tage nach dem Krankenhausaufenthalt verstorben ist. Der Tod war mit 20,5% der hospitalisierten Fälle häufiger zu beobachten als die künstliche Beatmung (11,4%). Eine Studie mit Daten der Ortskrankenkassen für die erste Welle 2020 ergab eine Sterberate von 22% und eine Beatmungsrate von 16% (Karagiannidis et al., 2020). Der Unterschied ist über eine verringerte Sterblichkeit im Sommer, ein höheres

Durchschnittsalter und einen höheren Männeranteil der AOK-Versicherten zu erklären. Das Alter der Personen in der vorliegenden Stichprobe beträgt durchschnittlich 48 Jahre, 70 Jahre bei einem stationären Aufenthalt und 82 Jahre beim Versterben. Das RKI meldet ein durchschnittliches Sterbealter von 81 Jahren. Männer sind unter den schweren COVID-19-Verläufen überrepräsentiert, vor allem bei Beatmungsfällen. Der zeitliche Verlauf der stationären COVID-19-Fälle und des Versterbens entspricht der bekannten Entwicklung innerhalb der gesamten Bevölkerung (vgl. Abbildung 2).

Abbildung 2: COVID-19-Fälle im Zeitverlauf



Quelle: BARMER-Daten, eigene Berechnung

Ergebnisse

Anpassungsgüte des COVID-19-Modells

Das Ausgangsmodell (Morbi-RSA) umfasst 535 Zellen (davon 40 Alters- und Geschlechtsgruppen). Aufgrund der Einschränkung auf die Prioritätsgruppen 2 bis 4 entfallen allerdings acht Altersgruppen, die ein Alter von mehr als 80 Jahren markieren, sowie die Morbiditätsgruppe „Fortgeschrittene chronische Niereninsuffizienz (Alter > 79 Jahre)“. Das auf die COVID-19-Erkrankung angepasste Modell für die Prioritätsstufen der ImpfVO ab Stufe 2 besitzt 98 Zellen mit 32 Altersgruppen.

Werden die Outcomes über eines der beiden Modelle erklärt, ergeben sich die in Tabelle 4 dargestellten Gütekriterien. Die Bestimmtheitsmaße der Regressionen liegen zwischen 7% und 21%. Unter Berücksichtigung des extremen Charakters der Ereignisse sind die Werte als moderat bis gut zu interpretieren. Mit schwerwiegenderen Outcomes steigt das Bestimmtheitsmaß. Das Ausgangsmodell zeigt eine leicht bessere Anpassung als das COVID-19-Modell.

Die Fläche unter der ROC-Kurve (AUROC) umfasst zwischen 76% und 94%, d.h., es gelingt den Modellen in bis zu 94% der Fälle, einen zufälligen Patienten mit Ereignis über einen zufälligen Patienten ohne Ereignis

zu priorisieren. Derartige Klassifikationsraten werden in der Literatur als gut bis sehr gut interpretiert. Die gleiche Aussage liefert der neu eingeführte Indikator \overline{Time}_k . Bei einer Impfpriorisierung nach dem Ausgangsmodell (COVID-19-Modell) müsste ein durchschnittli-

cher Patient mit einem Krankenhausfall 136 (142) Tage, mit Beatmung 68 (76) Tage bzw. mit Versterben 37 (43) Tage auf die Impfung warten. Bei einer zufälligen Impfreihenfolge beträgt dieser Wert 291 Tage.¹

Tabelle 4: Gütekriterien der Klassifikationsmodelle

	Hospitalisierung		Beatmung		Versterben	
	Ausgangsmodell	COVID-19-Modell	Ausgangsmodell	COVID-19-Modell	Ausgangsmodell	COVID-19-Modell
R ²	6,90%	6,60%	13,40%	11,30%	21,20%	18,30%
AUROC	76,90%	75,80%	88,60%	87,20%	93,90%	92,90%
\overline{Time}_k	136,0	141,9	68,1	75,7	37,2	42,8
Oos-R ²	5,50%	6,00%	1,80%	9,20%	7,60%	17,00%
Oos-AUROC	75,60%	75,60%	81,70%	86,00%	87,7%	92,4%
Oos- \overline{Time}_k	143,4	143,2	107,1	82,4	72,5	45,4

R²: Nagelkerkes Bestimmtheitsmaß, AUROC: area under the receiver operating characteristic; \overline{Time}_k : mittlere Zeit bis zur Impfung der Zielgruppe; Oos-: Out-of-sample-Schätzer über zehnfache Kreuzvalidierung

Quelle: BARMER-Daten, eigene Berechnung

Die Out-of-sample Kriterien-Beziffern die Gütekriterien bei einer zehnfachen Kreuzvalidierung. Während das Ausgangsmodell, ausgenommen bei der Hospitalisierung, deutlich schlechtere Out-of-sample-Performance zeigt, bleibt das COVID-19-Modell stabil. Am deutlichsten wird der Unterschied im Kriterium Oos- \overline{Time}_k : Während beispielsweise die Wartezeit für beatmete Patienten beim Ausgangsmodell um 39 Tage steigt, steigt die Zeit beim COVID-19-Modell nur um sieben Tage und ist damit im Durchschnitt 25 Tage schneller. Es lässt sich schlussfolgern, dass das Ausgangsmodell an Überanpassung leidet und die Optimierung des Modells hinsichtlich der COVID-19-Vorerkrankung zielführend ist.

Schätzergebnisse

Tabelle 5 zeigt die Schätzergebnisse für die Risikoverhältnisse der zehn wichtigsten einzelnen Erkrankun-

gen in Bezug auf das Versterben mit COVID-19. Es kann festgestellt werden, dass es sich hierbei weitestgehend um literaturbekannte Erkrankungen handelt, die auch von der STIKO aufgegriffen wurden.

Alle Erkrankungen entsprechen gemeinsam 38,4% der erklärten Variation im Hospitalisierungsrisiko, 51,5% im Beatmungsrisiko und 51,4% im Sterberisiko. Einzelne Erkrankungen erklären hierbei weniger Risiko als das Alter der Patienten. Im Durchschnitt entspricht der Erklärungsgehalt einer einzelnen Erkrankung dem Erklärungsgehalt von drei Altersjahren in Bezug auf Hospitalisierung, zwei Altersjahren in Bezug auf Beatmung und einem halben Altersjahr in Bezug auf das Versterben. Der hohe gemeinsame Erklärungsgehalt der Erkrankungen ergibt sich aus der starken Multimorbidität der Patienten (vgl. Tabelle 5) und der multiplikativen Wirkung von Risikoverhältnissen in einem logistischen Regressionsmodell.

¹ $\frac{\sum_{j=1}^T j}{T}$ mit $T = \frac{83.100.000}{(1.000.000/7)} = 582$ Impftag des letzten Einwohners.

Tabelle 5: Top-10-Erkrankungen mit Risikoverhältnis in Bezug auf COVID-19-Sterblichkeit

Erkrankungen	GKV-Versicherte	Hospitalisierung	Beatmung	Versterben
Trisomien	439.231	2,09	2,18	5,73
degenerative Hirnerkrankungen	362.189	2,23	2,11	5,54
Lungenmetastasen	211.613	1,99	1,60	3,85
hämatologische Neubildungen	243.932	1,68	2,40	2,95
psychische Erkrankungen	1.576.220	1,70	2,02	2,86
Nierenversagen	335.354	2,15	2,37	2,83
AIDS	67.885	1,47	3,35	2,62
Leberversagen	184.728	1,23	1,36	2,32
Infektionen mit multiresistenten Keimen / opp. Erregern	439.231	1,51	1,79	2,26
schwere neurologische Erkrankungen	362.189	1,72	1,45	2,16

Anmerkung: Zur hier verwendeten Krankheitsdefinition wird auf die ebenfalls veröffentlichte Zuordnungstabelle verwiesen. Die vollständige Liste der Erkrankungen findet sich in der ebenfalls veröffentlichten Ergebnistabelle.
 Quelle: bigf, eigene Berechnung

Aus Tabelle 5 ist ersichtlich, dass sich das Risiko, mit einer der zehn Erkrankungen einen schweren COVID-19-Verlauf zu erfahren, um das 1,2 bis 5,7-fache gegenüber einem gesunden Patienten gleichen Alters erhöht. So hat ein Trisomie-Patient ein um 2,1-fach erhöhtes Risiko für eine Hospitalisierung, ein um 2,2-fach erhöhtes Risiko einer anschließenden Beatmung und ein 5,7-faches Risiko zu versterben. Leidet der Patient zusätzlich an einer Psychose, multipliziert sich das Risiko für eine Hospitalisierung auf das 3,6-fache, für Beatmung auf das 4,4-fache und für Versterben auf das 16,4-fache gegenüber einem gesunden Patienten gleichen Alters.

Impf Reihenfolge

Wäre die Impfung bereits zu Beginn der Pandemie verfügbar gewesen und die ImpfVO bzw. der Individualansatz im Einsatz, dann zeigt Abbildung 3, wie viele Tage bis zu einem Impfangebot an diejenigen Menschen vergangen wären, die tatsächlich mit COVID-19 hospitalisiert wurden (ab Prioritätsgruppe 2). Diese Aussage lässt sich auf die Reduktion des Hospitalisierungsrisikos ab Beginn der Impfungen der Stufe 2 in 2021 übertragen. Die Priorisierung erfolgte dabei nach Alter, Geschlecht und Vorerkrankungen aus dem Jahr 2019.

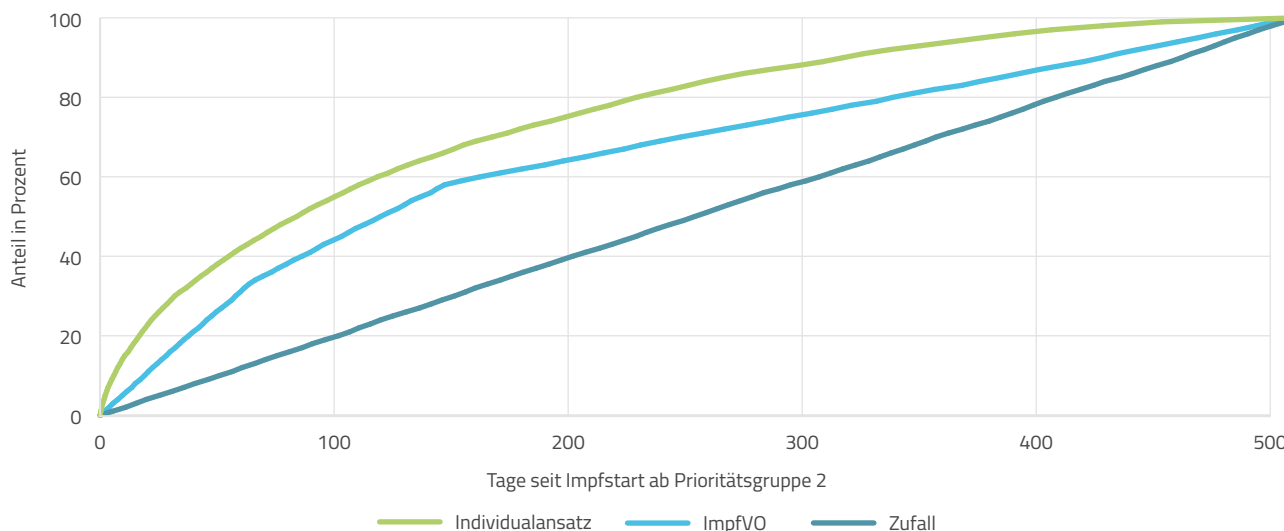
Hierbei sind die drei Szenarien – eine völlig zufällige Reihenfolge, die Impfung gemäß ImpfVO mit zufälliger Reihenfolge innerhalb der Gruppe und der hier entwickelte Individualansatz – abgebildet. Es ist ersichtlich, dass das COVID-19-Modell mit Individualansatz zu jeder Zeit die schnellsten Impferfolge hinsichtlich der Vermeidung von Hospitalisierung verspricht. In den Prioritätsgruppen 2 und 3 ist die Priorisierung nach ImpfVO 26 bis 37 Tage langsamer als der Individualansatz. Die Reihenfolge der ImpfVO hat hierbei eine 60,3%ige Übereinstimmung mit dem Individualansatz.

Für die Berechnung wurde eine Million wöchentliche Impfungen (zwei Millionen Impfvorgänge) unterstellt. In der ersten Woche könnte mittels Individualansatz 12% der hospitalisierten Personen ein Impfangebot unterbreitet werden. Bei einer Priorisierung nach ImpfVO würde man hingegen für die gleiche Anzahl an Patienten drei Wochen bzw. drei Millionen Impfungen benötigen. In diesem Sinne ist der Individualansatz dreimal schneller als die ImpfVO. Die Hälfte aller potenziell hospitalisierten Personen könnte somit nach ca. 84 Tagen und mit einem Einsatz von zwölf Millionen Impfungen geimpft sein. Befolgt man die ImpfVO, wären hierfür hingegen fast 120 Tage und 17 Millionen Impfungen erforderlich. Bei einer zufälligen Auswahl wären es so-

gar 254 Tage mit 36 Millionen Impfungen. Eine Erhöhung der Impfmenge pro Woche reduziert die angege-

benen Wartezeiten entsprechend, die Verhältnisse bleiben aber gleich.

Abbildung 3: Zeit bis zur Impfung für hospitalisierte Patienten bei unterschiedlichen Impfpriorisierungen

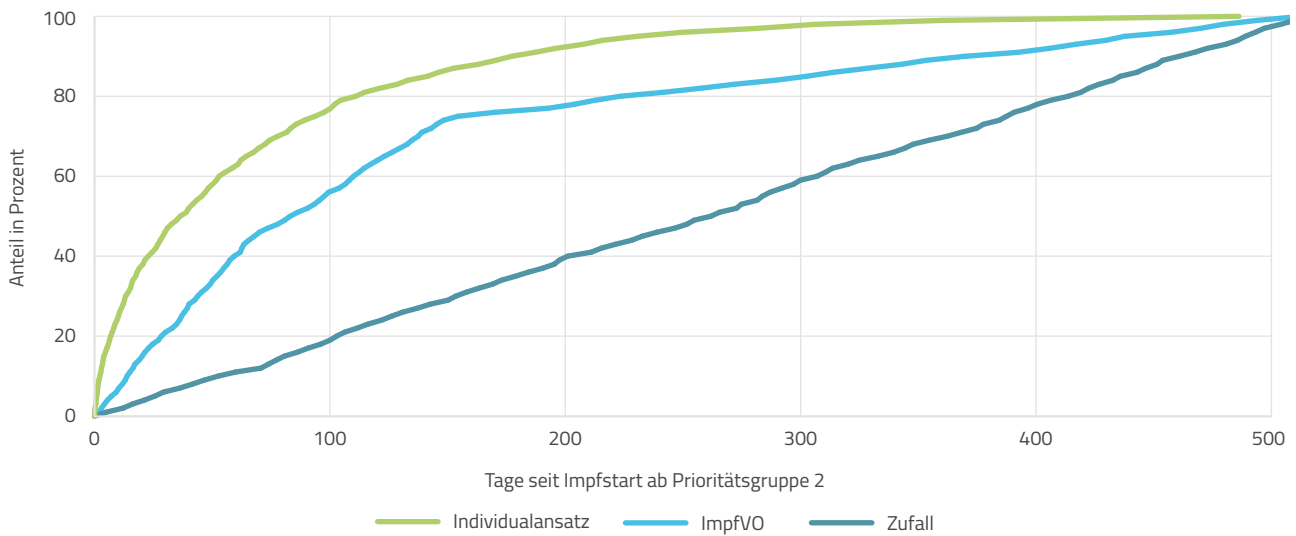


Quelle: BARMER-Daten, bifg, eigene Berechnung

Bei den Fällen mit Beatmung zeigt sich eine deutlich frühere Impfung über den Individualansatz gegenüber dem Zellenansatz der ImpfVO (Abbildung 4). Während über den Individualansatz bereits in der ersten Woche 20% der beatmeten Patienten ein Impfangebot erhalten hätten, verzögert sich die Impfung über den Zellenansatz auf fast einen Monat (28 Tage) für den gleichen Anteil an beatmeten Patienten. Bezogen auf zweimal geimpfte Personen bedeutet dies einen Unterschied von 0,5 Millionen zu 2,8 Millionen zwischen dem Individualansatz und der ImpfVO. Über einen längeren Zeitraum verringert sich der Abstand zwischen den Ansätzen, da durch den Individualansatz bereits die Patienten mit höchstem Risiko geimpft wurden und eben diese Patienten über den Ansatz nach ImpfVO quasi zufällig nachfolgen. Dennoch benötigt man über den Individualansatz nur knapp über einen Monat (36 Tage), um der Hälfte aller beatmeten Patienten ein Impfangebot zu machen, während man über den Ansatz nach ImpfVO hierfür annähernd ein Vierteljahr (83 Tage) benötigt. Dieser zeitliche Unterschied entspricht auch der Differenz von fünf Millionen vollständig geimpfter Personen nach dem Individualansatz zu zwölf Millionen Impfungen nach der ImpfVO.

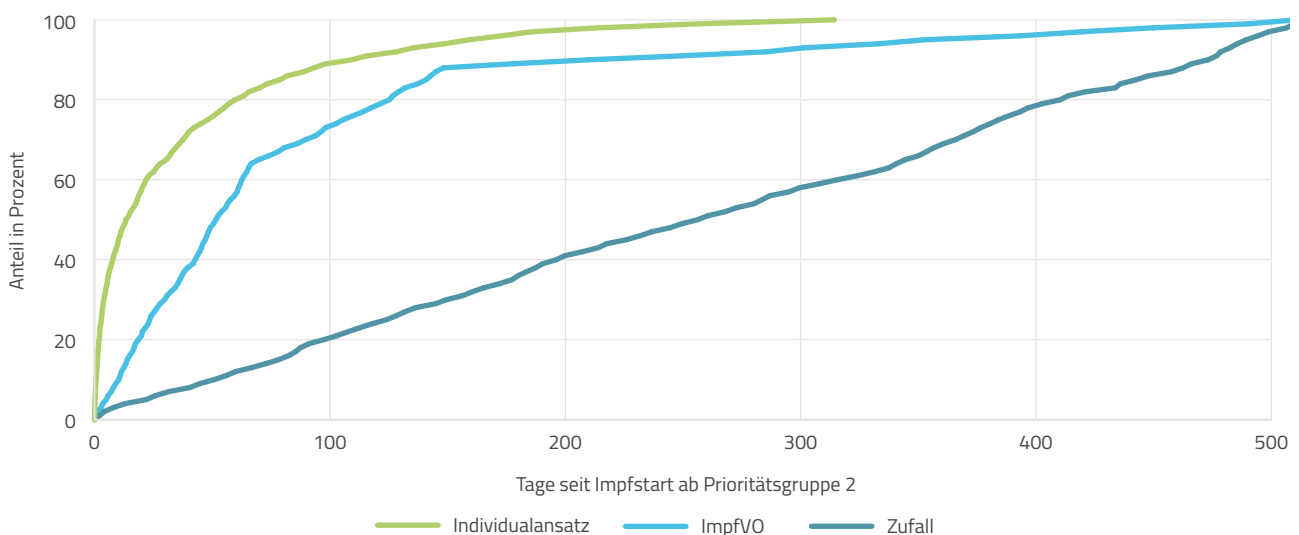
Betrachtet man anstelle der Hospitalisierung das Outcome-Versterben, zeigt sich die stärkste Verbesserung einer Impfpriorisierung gegenüber dem Zufall. Auch hier ist das Vorgehen nach ImpfVO erneut schneller als der Zufall, aber langsamer als der Individualansatz. Über den Individualansatz gelingt es in den ersten Wochen schnell, den Hochrisikopatienten ein Impfangebot zu machen. Nach drei Tagen und rechnerischen ca. 0,5 Millionen Impfserien hätten nach dem Individualansatz bereits 26% der Verstorbenen eine Impfmöglichkeit erhalten, während der Ansatz der ImpfVO für die gleiche Anzahl an Verstorbenen 24 Tage und 3,4 Millionen Impfserien benötigt hätte. Der Individualansatz ist demnach in der ersten Woche sechsmal schneller in Bezug auf die Vermeidung von Todesfällen als die ImpfVO. Ab der zweiten Woche verringert sich der Geschwindigkeitsunterschied auf das Vierfache zugunsten des Individualansatzes. Hierbei könnten bereits 50% der Verstorbenen ein Impfangebot erhalten haben. Bis zum Ende der Impfung der Prioritätsgruppe 2 wird auf diese Art ein Rückstand der ImpfVO von ca. 40 Tagen erzeugt. Erst anschließend und nach ca. 70 Tagen erreicht auch die ImpfVO die Geschwindigkeit des Individualansatzes, bei dessen Anwendung bereits 65% der Verstorbenen ein Impfangebot erhalten hätten.

Abbildung 4: Zeit bis zur Impfung für beatmete Patienten bei unterschiedlichen Impfpriorisierungen



Quelle: BARMER-Daten, bifg, eigene Berechnung

Abbildung 5: Zeit bis zur Impfung für verstorbene Patienten bei unterschiedlichen Impfpriorisierungen



Quelle: BARMER-Daten, bifg, eigene Berechnung

Diskussion

Vergleich COVID-19-Modell und STIKO

Wenn man die Aussagen des COVID-19-Modells und die von der STIKO gesetzten Priorisierungen vergleicht, **so zeigt sich, dass die STIKO fast alle in Tabelle 5 aufgeführten Erkrankungen bzw. Schweregrade in ihrer Empfehlung bereits aufgegriffen hat.** Ebenfalls die innere Priorisierung der Empfehlung, welche auch in §§ 3, 4 ImpfVO Niederschlag gefunden hat, wird durch die BARMER-Daten mit einer Ausnahme bestätigt. Die Stärke des COVID-19-Modells zeigt sich jedoch deut-

lich in der exakteren Spezifizierung der Erkrankungen und in der Berücksichtigung multipler Risiken. Die dadurch ermöglichte zielgenauere Impfreiherfolge kann gerade zu Beginn COVID-19-bedingte Todesfälle vermeiden (Abbildung 5) und darüber hinaus mittelfristig die Kliniken von COVID-19-bedingten Neueinweisungen entlasten (Abbildung 3). **In Impfdosen ausgedrückt erreicht man, wenn die Priorisierung anhand des COVID-19-Modells erfolgt, zu Beginn der Impfung der zweiten Prioritätsgruppe lt. ImpfVO mit ca. 500.000 verimpften Dosen dieselbe prospektive Todesfallreduktion wie bei der aktuell vorgesehenen Priorisierung mit drei Millionen Impfdosen.** In Abhängigkeit

des zum jeweiligen Zeitpunkt zur Verfügung stehenden Impfstoffs erscheint dies sehr relevant.

Limitation des COVID-19-Modells

Das COVID-19-Modell kann nur Morbiditätskriterien berücksichtigen. Die Auswirkungen auf die Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit unseres Gemeinwesens und des Gesundheitswesens könnten nur indirekt abgeleitet werden.

Das Kriterium „Behandlung auf der Intensivstation eines Krankenhauses“ lässt sich mit den Abrechnungsdaten einer Krankenkasse nicht abbilden, da diese Information nicht Teil der Datenmeldung ist.

Obwohl in Deutschland bisher keiner der Impfstoffe für Kinder unter 18 zugelassen wurde, wurden Minderjährige in den Auswertungen berücksichtigt, da unbekannt ist, wann eine derartige Zulassung erfolgen wird. Auf das Modell selbst hätte eine Herausnahme der Kinder aufgrund der geringeren Anzahl schwerer Verläufe und relevanter Vorerkrankungen bei Kindern nur geringe Effekte.

Ähnlich wie in der STIKO-Empfehlung können für sehr seltene Erkrankungen oder, wenn zufällig kaum BARMER-Versicherte betroffen waren, aufgrund der kleinen Fallzahlen keine validen Aussagen getroffen werden. Anpassungen und Erweiterungen dieses Modells sind insbesondere bei Berücksichtigung von Daten weiterer Kassen möglich.

Für dieses erste Modell kann eine Weiterentwicklung mit Hilfe weiterer Parameter, wie z.B. Arzneimitteldaten, zeitliche Distanz zu einer Chemotherapie oder eine Weiterentwicklung der Krankheitsgruppierungen, diskutiert und erprobt werden.

COVID-19-Modell und Impfmanagement

In den Abbildungen 3 bis 5 wurde unterstellt, dass sich alle Menschen innerhalb einer Prioritätsstufe der ImpfVO unabhängig von ihrem individuellen Risiko gleichmäßig an der Impfung beteiligen, so als würden sie

Impftermine innerhalb ihrer Stufe zufällig erhalten. Daher ist auch der Impferfolg der drei Stufen linear. Tatsächlich sieht die ImpfVO unter Berücksichtigung der bisherigen Aktivitäten der Länder in Stufe 1 einen hohen Grad von Selbstaktivierung vor. Bereits in Stufe 1 muss die Impfanmeldung in der Regel aktiv über Hotlines oder Internet erfolgen, deren Erreichbarkeit nicht beliebig skalierbar ist. In den späteren Stufen kommt für Menschen mit Vorerkrankungen die Notwendigkeit der aktiven Beschaffung eines ärztlichen Zeugnisses hinzu. Wird unterstellt, dass Menschen ihr eigenes Risiko hinsichtlich schwerer COVID-19-Verläufe kennen, könnte hieraus gefolgert werden, dass sich Menschen mit höherem Risiko / mit multiplen Risiken intensiver um eine Impfung bemühen und diese früher erhalten. Der Vorteil des COVID-19-Modells würde deutlich geringer, würde aufgrund des Verzichts auf Stufen allerdings erhalten bleiben.

Die COVID-19-Impfung ist eine nicht zielgruppenspezifische präventive Leistung. Die Neigung, präventive Leistungen aktiv in Anspruch zu nehmen, sinkt mit dem Einkommen und dem Bildungsgrad. Erst recht gilt dies beim Hinzutreten von Sprachschwierigkeiten. Dies verstärkt sich, je vielstufiger und potenziell frustrierender der Weg zum Erreichen der Leistung ist. Gleichzeitig ergeben Analysen schwerer COVID-19-Verläufe nach Einkommen und Bildungsgrad der Betroffenen ein signifikant höheres Risiko, je niedriger der soziale Status ist. Bei einem hohen Grad notwendiger Selbstaktivierung erscheint eine zielgerichtete Selbstselektion hier noch einmal schwieriger.

Unabhängig vom gewählten Priorisierungsmodell wäre daher sinnvoll, die Anmeldung zur Impfung zumindest ab der Prioritätsstufe 2 der ImpfVO möglichst niedrigschwellig zu gestalten, wie es auch die Patientenbeauftragte der Bundesregierung bereits gefordert hat (Patientenbeauftragte der Bundesregierung, 8. Januar 2021). Ein Weg hierzu ist die aktive Anbahnung von Impfangeboten gegenüber priorisierten Gruppen. Das COVID-19-Modell setzt eine Information von zentraler Stelle und eine aktive Ansprache der Impflinge voraus. Hierin läge für ansonsten schwerer erreichbare Bevölkerungsgruppen sogar ein zusätzlicher Vorteil.

Fazit

- Das auf der Grundlage des Morbi-RSA entwickelte Modell kann die bisherige Impfpriorisierung sinnvoll ergänzen und optimieren.
- Die individualisierte Berücksichtigung kumulativer Risiken ermöglicht ein frühzeitigeres Impfangebot besonders vulnerabler Menschen innerhalb der bisherigen (sehr großen) Gruppen und auch gruppenübergreifend.
- Damit können Todesfälle und Hospitalisierungen verringert werden.
- Dabei ist dieselbe prospektive Todesfallreduktion mit deutlich weniger Impfdosen erreichbar.
- Der gewählte Ansatz könnte und sollte durch andere Kassen und damit an noch größeren Datenmengen überprüft werden.
- Mit dem gewählten Ansatz ließe sich ein präzisiertes bevölkerungsweites Vorgehen bei der Impfung umsetzen, z. B. durch ein gezieltes Einladungssystem.

Literaturverzeichnis

Bundesministerium für Gesundheit (14. Dezember 2020). Verordnung zum Anspruch auf Schutzimpfung gegen das Coronavirus SARS-CoV-2 (Coronavirus-Impfverordnung). ImpfVO.

Cameron, A. C. & Trivedi, P. K. (2008). Microeconometrics. Methods and applications. 7. Aufl. Cambridge.

Karagiannidis, C., Mostert, C., Hentschker, C., Voshaar, T., Malzahn, J., Schillinger, G., Klauber, J., Janssens, U., Marx, G., Weber-Carstens, S., Kluge, S., Pfeifer, M., Grabenhenrich, L., Welte, T. & Busse, R. (2020). Case characteristics, resource use, and outcomes of 10 021 patients with COVID-19 admitted to 920 German hospitals: an observational study; in: The Lancet Respiratory Medicine, 8 (9), 853–862

Nagelkerke, N. J. D. (1991). A note on a general definition of the coefficient of determination; in: Biometrika, 78 (3), 691–692

Patientenbeauftragte der Bundesregierung (8. Januar 2021). Vergabe der Impftermine muss optimiert werden.

Ständige Impfkommission, Deutscher Ethikrat, Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina (9. November 2020). Wie soll der Zugang zu einem COVID-19-Impfstoff geregelt werden? Berlin. Verfügbar unter: <https://www.ethikrat.org/fileadmin/Publikationen/Ad-hoc-Empfehlungen/deutsch/gemeinsames-positions-papier-stiko-der-leopoldina-impfstoffpriorisierung.pdf> [12.01.2021]

Vygen-Bonnet, S., Bogdan, C., Heining, U., Littmann, M., Meyer, H., Schmid-Küpke, N., Terhardt, M., Überla, K., van der Sande, M./Wichmann, O., Wicker, S., Wiedermann, U., Wild, V. & von Kries, R. (14. Januar 2021 [online vorab]). Beschluss der STIKO für die Empfehlung der COVID-19-Impfung und die dazugehörige wissenschaftliche Begründung. STIKO-Empfehlung zur COVID-19-Impfung.

Herausgeber

BARMER Institut für
Gesundheitssystemforschung (bifg)
10837 Berlin

Autoren

Pedro Ballesteros, Dagmar Hertle, Uwe
Repschläger, Claudia Schulte, Danny Wende

Ansprechpartnerin zum Papier

Claudia Schulte
info@bifg.de

Design und Realisation

zweiband.media GmbH, Berlin

Veröffentlichungstermin

19.01.2021

DOI:

10.30433/ePGSF.2021.001

Copyright



Lizenziert unter CC BY-ND 4.0