

Welche Impfquote ist notwendig, um COVID-19 zu kontrollieren?

1. Zusammenfassung

Basierend auf Ergebnissen mathematischer Modellszenarien und Bevölkerungssurveys zur Impfakzeptanz wird die Frage adressiert, welche Impfquote in Deutschland notwendig und auch realistisch ist, um Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in den kommenden Monaten zu kontrollieren. In den Modellszenarien wird der Einfluss der Impfquote auf die COVID-19-Inzidenz und Intensivbettenbelegung bis Frühjahr 2022 simuliert und in Sensitivitätsanalysen der Einfluss verschiedener Faktoren auf den Effekt der Impfquoten geprüft. Diese Szenarien sind keine exakten Prognosen, sondern eine Abschätzung des Einflusses der Maßnahmen auf das Infektionsgeschehen. Die Ergebnisse zeigen, dass unter den getroffenen Annahmen, insb. einer zunehmenden Dominanz der Delta-Variante, die Impfkampagne mit hoher Intensität weitergeführt werden sollte, bis mindestens 85 % der 12–59-Jährigen bzw. 90 % der ≥ 60 -Jährigen vollständig gegen COVID-19 geimpft sind. Im Bevölkerungssurvey waren im Erhebungszeitraum (Mitte Mai/Anfang Juni 2021) bereits 84 % der ≥ 60 -Jährigen mit mindestens einer Impfstoffdosis geimpft, und es bestand eine Impfbereitschaft, die die im Modell identifizierten Zielimpfquoten erreichbar erscheinen lassen. Unter Annahme dieser Impfquoten und in Kombination mit Basishygienemaßnahmen und einer geringfügigen Reduktion des Kontaktverhaltens sollte es im Herbst/Winter nicht mehr zu einem starken Anstieg der COVID-19-bedingten Intensivbettenbelegung kommen. Aufgrund der sich schnell ausbreitenden Delta-Variante ist es jedoch entscheidend, dass (i) die noch ungeimpfte Bevölkerung motiviert wird, das Impfangebot noch im Sommer wahrzunehmen, um die notwendigen Impfquoten möglichst bald zu erreichen, (ii) ausreichend Kapazitäten zur Verabreichung der in Aussicht gestellten Impfstoffmengen bestehen und (iii) die Bevölkerung weiterhin die Basishygienemaßnahmen umsetzt.

2. Hintergrund

Die COVID-19-Pandemie stellt die Welt vor große medizinische, aber auch gesellschaftliche und wirtschaftliche Herausforderungen. Die langfristigen direkten und indirekten Folgen der Pandemie bzw. der notwendigen Kontrollmaßnahmen lassen sich derzeit noch nicht exakt definieren. Bislang wurden alleine in Deutschland mehr als 3,7 Millionen Severe Acute Respiratory Syndrome Corona Virus 2-(SARS-CoV-2-)Meldefälle und mehr als 90.000 COVID-19-bedingte Todesfälle registriert.¹

In nicht einmal 12 Monaten gelang es, gleich mehrere sichere und auch hochwirksame Impfstoffe zum Schutz vor COVID-19 zu entwickeln. Seit Ende 2020 bzw. Anfang 2021 stehen in Deutschland zwei mRNA-Impfstoffe (Comirnaty von BioNTech/Pfizer, Spikevax von Moderna) zur Verfügung, die in Zulassungsstudien nach zwei Impfstoffdosen eine Wirksamkeit von 95 % bzgl. Schutz vor symptomatischer SARS-CoV-2-Infektion aufwiesen.^{2,3} Die Effektivität der beiden später zugelassenen Vektor-basierten Impfstoffe (Vaxzevria von AstraZeneca, COVID-19 Vaccine Janssen von Janssen-Cilag International) betrug bzgl. Schutz vor COVID-19-Erkrankung nach zwei bzw. einer Impfstoffdosis etwa 70 %.^{4,5} Im Rahmen der breiten Anwendung konnte ein ähnlich guter Effekt (> 80 %) von Comirnaty und Vaxzevria in Bezug auf die Verhinderung hospitalisierungsbedürftiger COVID-19-Erkrankungen nach bereits einer Impfstoffdosis nachgewiesen werden.^{6,7} Hinsichtlich der bislang neu aufgetretenen besorgniserregenden Virusvarianten (inkl. der Delta-Variante) scheint der Schutz der Impfstoffe vor milder Erkrankung etwas reduziert zu sein, jedoch schützen zwei Dosen von sowohl Comirnaty als auch Vaxzevria weiterhin sehr gut vor schweren Krankheitsverläufen.^{8–10}

Initial war unklar, ob die verfügbaren COVID-19-Impfstoffe nur vor einer Erkrankung oder auch vor

asymptomatischen Infektionen bzw. Virusübertragungen schützen. Mittlerweile liegen mehr als 15 Studien vor, in denen nach vollständiger Impfserie die Effektivität der COVID-19-Impfung bzgl. Schutz vor jeglicher Infektion wie auch vor asymptomatischen Infektionen im Beobachtungszeitraum üblicherweise zwischen 80 und 90 % lag.¹¹ Bei Personen, die trotz Impfung PCR-positiv getestet wurden, konnte darüber hinaus eine signifikant geringere Viruslast und auch eine verkürzte Dauer der Virusausscheidung nachgewiesen werden.¹¹ Aus diesen Daten kann abgeleitet werden, dass die COVID-19-Impfung eine Virustransmission in erheblichem Maße reduziert und dass vollständig geimpfte Personen in Bezug auf die Epidemiologie der Erkrankung keine wesentliche Rolle mehr spielen. Die in der o. g. systematischen Übersichtsarbeit identifizierten Studien berücksichtigten jedoch vor allem die Alpha-Variante;¹¹ für die Delta-Variante stehen bislang nur eingeschränkt Daten zur Verfügung.

Mit vereinten Kräften der Impfzentren, Krankenhäuser, mobilen Teams, Arztpraxen und Betrieben waren zum 30. Juni 2021 in Deutschland bereits mehr als 73 Millionen COVID-19-Impfstoffdosen verabreicht und 54 % der gesamten Bevölkerung mit mindestens einer Impfstoffdosis geimpft.¹² Sowohl die Politik als auch die Bevölkerung stellen sich zunehmend die Frage, welche Impfquote erreicht sein muss, um COVID-19 zu kontrollieren und die Pandemie zu einem Ende zu bringen. In dem hier vorliegenden Bericht begründet das Robert Koch-Institut (RKI), warum es notwendig, aber auch als Ziel erreichbar ist, die Impfkampagne mit hoher Intensität weiterzuführen, bis **mindestens 85% der 12–59-Jährigen bzw. 90% der ≥ 60-Jährigen vollständig gegen COVID-19 geimpft** sind.

3. Gemeinschaftsschutz und Zielimpfquote

Der Begriff **Gemeinschaftsschutz** (synonym: Herdenschutz oder Herdenimmunität) bezeichnet im herkömmlichen Sinne den indirekten Effekt einer Impfung, der auftritt, wenn ein gewisser Anteil der Bevölkerung geimpft ist und dadurch die Transmission des Erregers so reduziert wird, dass auch Ungeimpfte ein niedrigeres Risiko haben sich zu infi-

zieren.¹³ Dieses Phänomen kann beobachtet werden, wenn Impfstoffe nicht nur das Auftreten der vom Erreger verursachten Erkrankung verhindern, sondern auch die Infektion mit dem Erreger bzw. seine Übertragung. Der Gemeinschaftsschutz setzt jedoch nicht abrupt ab einem gewissen Schwellenwert ein, sondern steigt mit steigenden Impfquoten in der Intensität. Bei den COVID-19-Impfstoffen ist dieses Potenzial der Verhinderung von Infektionen – wie oben berichtet – in mehreren Studien nachgewiesen worden, und auch Beobachtungen auf Bevölkerungsebene bestätigen die Reduzierung der Transmission und damit das Zustandekommen eines Gemeinschaftsschutzes: In Israel konnte eine Reduzierung der SARS-CoV-2-Infektionen unter ungeimpften Kindern beobachtet werden, die sich mit jedem Anstieg der Impfquote um 20 % in der Erwachsenenbevölkerung verdoppelte.¹⁴

Oftmals wird der Begriff Gemeinschaftsschutz oder Herdenimmunität auch im Kontext eines **Schwellenwerts an Bevölkerungsimmunität** oder Impfquote gebraucht, ab dem die Transmission so reduziert wird, dass die effektive Reproduktionszahl < 1 und damit eine Erkrankung in der Bevölkerung eliminiert werden kann (z. B. die 95 % Impfquote für die Masernelimination), wobei in Bezug auf die Elimination eines Erregers noch weitere Voraussetzungen erfüllt sein müssen. Es ist jedoch zweifelhaft, ob eine solche Schwelle für COVID-19 realistisch ist. Das Konzept des Gemeinschaftsschutzes ist komplex, da nicht nur die Basisreproduktionsrate R_0 eine wichtige Rolle spielt, sondern auch die Wirksamkeit der Impfung, die Dauer des Impfschutzes sowie die Heterogenität der Kontakte in der Bevölkerung und die Heterogenität der Durchimpfung in der Bevölkerung.¹³ Bei einem hohen R_0 und einer nur moderaten oder abnehmenden Wirksamkeit der Impfung in Bezug auf eine Verhinderung der Erregertransmission könnte es daher selbst bei einer 100 %igen Impfquote nicht gelingen, den Erreger zu eliminieren.¹³ In Bezug auf COVID-19 ist aktuell noch unklar, wie lange die Immunität sowohl nach der Impfung als auch nach natürlicher Infektion anhält und ob bzw. wann Auffrischimpfungen notwendig sind. Ebenso ist unklar, ob weitere Virusvarianten mit höherem R_0 folgen, wie es jetzt bereits mit der Delta-Variante der Fall ist, oder Virusvarianten, gegen die die Impfung weniger gut wirkt, auf-

treten werden. Für eine Elimination wäre es darüber hinaus erforderlich, dass die Impfkativitäten auch global ein Erfolg sind, damit nicht kontinuierlich Virus importiert und sich je nach Impfquote erneut ausbreitet oder zu lokalen Ausbrüchen führt. Ebenso wäre die Entwicklung eines permanenten Tierreservoirs ein Hindernis für die Elimination.

Mit anderen Worten: Das Auftreten eines Gemeinschaftsschutzes ist bei COVID-19 realistisch und wurde bereits beobachtet. Je höher die Impfquote, desto ausgeprägter ist das Phänomen. Ob jedoch eine Schwelle realistisch ist, ab der SARS-CoV-2 eliminiert werden kann, ist zweifelhaft. Das Ziel, eine breite Grundimmunität in der Bevölkerung zu erreichen, durch die auf individueller Ebene das Auftreten schwerer Erkrankungsfälle deutlich reduziert und auf der Populationsebene die Viruszirkulation erheblich verringert wird, ist jedoch realistisch. Gleichwohl sind schwere Erkrankungsfälle und lokale Ausbruchsgeschehen auch dann weiter möglich. Aus Public-Health-Sicht ist das Erreichen eines Gemeinschaftsschutzes ein willkommener Effekt, da hierdurch in einem gewissen Maße indirekt auch Personen geschützt werden, die selbst nicht geimpft werden können. Andererseits würden in einer Bevölkerung, in der man nach Erreichen eines bestimmten Impfquoten-Wertes die Impfkativitäten reduziert, immer noch empfängliche Personen existieren. Daher sollte aus Public-Health-Sicht die Impfquote so hoch wie möglich sein, um ein Maximum an Erkrankungen zu verhindern, wohlwissend, dass sich in einer Bevölkerung niemals 100 % der Menschen impfen lassen. Aus programmatischer Sicht ist die Definition einer **Zielimpfquote** hilfreich, um die Beschaffung ausreichender Impfstoffmengen zu planen und auch Kommunikationskampagnen entsprechend darauf auszurichten.

4. Empfehlung der WHO zur Festlegung einer Zielimpfquote

Das Weltgesundheitsorganisation (WHO) Regionalbüro für Europa empfiehlt Mitgliedstaaten die Definition und Festsetzung einer Zielimpfquote zur besseren Planung und Entwicklung einer Nationalen Impfstrategie.¹⁵ Entsprechend den Ergebnissen einer mathematischen Modellierung, die zum damaligen Zeitpunkt an die epidemiologische Situation

mit Dominanz der Alpha-Variante angepasst wurde, kann bei einer COVID-19-Impfquote von 50 % (vollständige Impfung) eine substanzielle Anzahl von Infektionen, Hospitalisierungen und Todesfällen verhindert werden, mit der höchsten Anzahl an verhinderten Todesfällen unter den ≥ 60 -Jährigen und der höchsten Zahl an verhinderten Infektionen in jüngeren Altersgruppen. Durch die Steigerung der Impfquote von 50 % auf 80 % könnten nochmals zusätzlich 11 % der Todesfälle bis Ende 2022 verhindert werden. Das WHO Regionalbüro empfiehlt daher, dass Länder eine Impfquote von mindestens 80 % in der Erwachsenenbevölkerung so früh wie möglich erreichen sollten und dass dafür Evidenzbasierte zielgerichtete Strategien zur Steigerung der Impfakzeptanz und -inanspruchnahme implementiert werden sollten.¹⁵ Die o. g. Ergebnisse und die Höhe der Zielimpfquote können jedoch von Land zu Land variieren, z. B. aufgrund unterschiedlicher Bevölkerungsstrukturen. Ebenso ist eine Anpassung an neue, leichter übertragbare Virusvarianten sinnvoll.

5. Mathematische Modellszenarien für Deutschland

Um die mögliche Entwicklung der Fallzahlen bzw. der 7-Tage-Inzidenz und der Personen in intensivmedizinischer Behandlung im kommenden Herbst für unterschiedliche Impfquoten abschätzen zu können, wurde ein erweitertes SEIR-Modell genutzt (Susceptible (*S*) \rightarrow Exposed (*E*) \rightarrow Infectious (*I*) \rightarrow Recovered (*R*)), um Szenarien unter Berücksichtigung verschiedener Impfquoten und Kontaktintensität zu erstellen. Die genauen Details des Modells wurden im April 2021 veröffentlicht.¹⁶ Es handelt sich um ein SEIR-Modell, dessen Modellbevölkerung in 16 Altersgruppen mit je drei Vorerkrankungsstatus (mit keinem, moderat oder stark erhöhtem Risiko für schwere COVID-19-Krankheitsverläufe) unterteilt ist. Dabei wird nach Meldetfällen und unerkannten bzw. nicht gemeldeten Infektionen (Untererfassung) unterschieden.

Im Modell werden die verfügbaren mRNA-Impfstoffe, wie auch getrennt die Vektor-basierten Impfstoffe des Herstellers AstraZeneca und der des Herstellers Janssen-Cilag International, berücksichtigt. Bis auf den Impfstoff von Janssen-Cilag Internatio-

nal wird bei allen Impfstoffen ein Zweidosen-Impfschema mit unterschiedlichen Wirksamkeiten der 1. und 2. Impfstoffdosis umgesetzt. Die Wirksamkeit setzt jeweils 14 Tage nach Erhalt einer Dosis ein. Kinder und Jugendliche zwischen 12 und 17 Jahren erhalten gemäß der aktuellen Zulassung nur mRNA-Impfstoffe des Herstellers BioNTech/Pfizer. Die Vektor-basierten Impfstoffe der Hersteller Janssen-Cilag International und AstraZeneca werden entsprechend der Empfehlung der Ständigen Impfkommission (STIKO) nur Personen ≥ 60 Jahre verabreicht. Die Aufhebung der von der STIKO entwickelten Impfpriorisierung nach der vierten Stufe wurde ebenfalls berücksichtigt.¹⁷ Die Liefermengen entsprechen den derzeitigen Prognosen des Bundesministeriums für Gesundheit. Dabei wird eine maximale Kapazität von 1,5 Mio. Impfstoffdosen im dritten und 1,1 Mio. Impfstoffdosen im vierten Quartal angenommen, die täglich über die aktuell etablierten Strukturen verimpft werden können.

Das Infektionsgeschehen hängt zum einen von der Anzahl der Kontakte und zum anderen von der Wahrscheinlichkeit der Übertragung je Kontakt ab. Hinsichtlich der Kontakte wird vor dem 15.03.21 aus der Modellkalibrierung (d. h. der Anpassung des Modells an die tatsächlichen Melde- und Todesfälle) von 3,9 Kontakten pro Person und Tag ausgegangen. Anschließend wird von einer zweistufigen Zunahme der Anzahl der Kontakte ab dem 15.03.21 um 1 Kontakt und ab dem 01.08.21 um weitere 6,5 Kontakte ausgegangen. Ab dem 01.08.21 werden im Modell also 11,4 Kontakte pro Person und Tag angenommen. 15,5 Kontakte pro Person und Tag entsprechen laut den Daten der POLYMOD-Studie einem prä-pandemischen Niveau.¹⁸ Da ein unkontrolliertes, exponentielles Wachstum der Infektionen ohne eine Gegenreaktion unrealistisch erscheint, wird im Modell davon ausgegangen, dass bei steigender 7-Tage-Inzidenz und Auslastung der Intensivstationen (ITS) Anfang Oktober eine 10 %ige Reduktion der Kontakte stattfindet. Zusätzlich wird angenommen, dass durch die zu erwartenden höheren ITS-Auslastungen bei dominanter Delta-Variante eine weitere 20 %ige Reduktion der Kontakte Anfang November stattfindet. Diese Verhaltensänderung kann durch Maßnahmen der Politik oder durch die Risikowahrnehmung der Bevölkerung und eine nachfolgende Verhaltensänderung begründet sein.

Die Wahrscheinlichkeit der Übertragung pro Kontakt wird beeinflusst von der aktuellen Virusvariante, der Saisonalität sowie individuellen Schutzmaßnahmen (z. B. Tragen von Mund-Nasen-Schutz). Virusvarianten werden im Modell durch eine Anhebung der Transmissionswahrscheinlichkeit je Kontakt von 35 % für die Alpha-Variante (B.1.1.7) im Vergleich zum initialen Wildtyp und 40 % für die Delta-Variante (B.1.617.2) im Vergleich zur Alpha-Variante abgebildet. Für die Delta-Variante wird angenommen, dass diese sich zwischen dem 15.06. und dem 30.09.21 in Deutschland ausbreitet und bis Ende September zur dominanten Variante mit einem Anteil von 100 % wird. Der Effekt der Saisonalität wird über einen Rückgang der Infektiosität um 42 % während der Sommermonate im Modell abgebildet.¹⁹ Der Effekt der Sommermonate wird im Herbst wieder zurückgenommen, sodass die Infektiosität wieder auf das Ausgangsniveau ansteigt.

Zur Abschätzung des Effekts unterschiedlicher Impfquoten wurde die Impfquote der 12–59-Jährigen variiert, von 65 % über 75 % und 85 % bis zu 95 %. Da bei den Personen im Alter ≥ 60 Jahre bereits jetzt eine Impfquote von 85 % erreicht wurde, ging diese mit 90 % konstant in die verschiedenen Szenarien des Modells ein. Im Rahmen von Sensitivitätsanalysen wurden die folgenden oben beschriebenen Modellparameter variiert:

- (i) keine Verhaltensänderung der Bevölkerung bei steigender ITS-Auslastung (Basisszenario: Verhaltensveränderung bei steigender ITS-Auslastung),
- (ii) Kontaktverhalten entsprechend prä-pandemischen Niveaus, d. h. Zunahme der Kontakte auf 15,5 Kontakte (Basisszenario: Kontaktzunahme auf 11,4 Kontakte), mit Anpassung des Verhaltens bei steigender ITS-Auslastung,
- (iii) Dominanz der Alpha-Variante (Basisszenario: Delta-Variante),
- (iv) eine erhöhte Impfbereitschaft von 95 % bei Personen ≥ 60 Jahren (Basisszenario: 90 %),
- (v) eine maximale Impfkapazität von 1,1 Mio. Impfungen pro Tag im 3. Quartal 2021 (Basisszenario: 1,5 Mio. Impfstoffdosen pro Tag).

Die Szenarien sind nicht als exakte Prognosen zu verstehen, sondern als Abschätzung, wie groß der

Einfluss der untersuchten Maßnahmen auf das Infektionsgeschehen sein könnte.

Im Basisszenario (Kontaktzunahme auf 11,4 Kontakte, Dominanz der Delta-Variante, 90 % Impfquote bei den ≥ 60 -Jährigen, Verhaltensänderung bei steigender ITS-Auslastung, Impfkapazität von 1,5 Mio. Dosen pro Tag) ist mit einer Impfquote von 65 % bei den 12–59-Jährigen noch mit einem sehr starken Anstieg der 7-Tage-Inzidenz von bis zu 400 Fällen pro 100.000 Einwohner und einer ITS-Auslastung von ca. 6.000 Betten zu rechnen (s. [Abb. 1](#) und [Abb. 2](#)).

Bereits ab einer Impfquote von 75 % zeigt das Modell jedoch deutlich niedrigere 7-Tage-Inzidenzen von unter 150 Fällen pro 100.000 und eine ITS-Auslastung von ca. 2.000 Betten. Sowohl bei einer 85 % als auch 95 %igen Impfquote der 12–59-Jährigen steigt die 7-Tage-Inzidenz nicht mehr über 100 bzw. 50 Fälle pro 100.000 und die ITS-Auslastung über-

schreitet nicht mehr die Marke von 1.000 ITS-Betten. Der zusätzliche Effekt der Steigerung der Impfquote von 85 % auf 95 % ist nicht so stark ausgeprägt wie bei einer Steigerung von 65 % auf 75 % oder 75 % auf 85 %. Bei einer steigenden Impfquote unter den 12–59-Jährigen ist der Haupteffekt sowohl in Bezug auf die Reduzierung der Meldetfälle als auch ITS-Belegung direkt in dieser Altersgruppe zu sehen. Bei einer Impfquote von 85 % machen die 18–59-Jährigen und Kinder < 12 Jahre den Großteil der Meldetfälle aus (s. [Abb. 1](#)), während bei der ITS-Belegung die 18–59-Jährigen und auch die ≥ 60 -Jährigen dominieren (s. [Abb. 2](#)).

In den Sensitivitätsanalysen (s. [Abb. 3](#)) zeigt sich, dass der Einfluss der Impfquote stark von den Rahmenbedingungen verschiedener Faktoren abhängt. Hierzu zählen der Grad der Rückkehr zum präpandemischen Kontaktverhalten, die Reaktion der Bevölkerung auf steigende Infektionszahlen bzw. einer steigenden ITS-Belegung, die zirkulierende

7-Tage-Inzidenz (Fälle je 100.000)

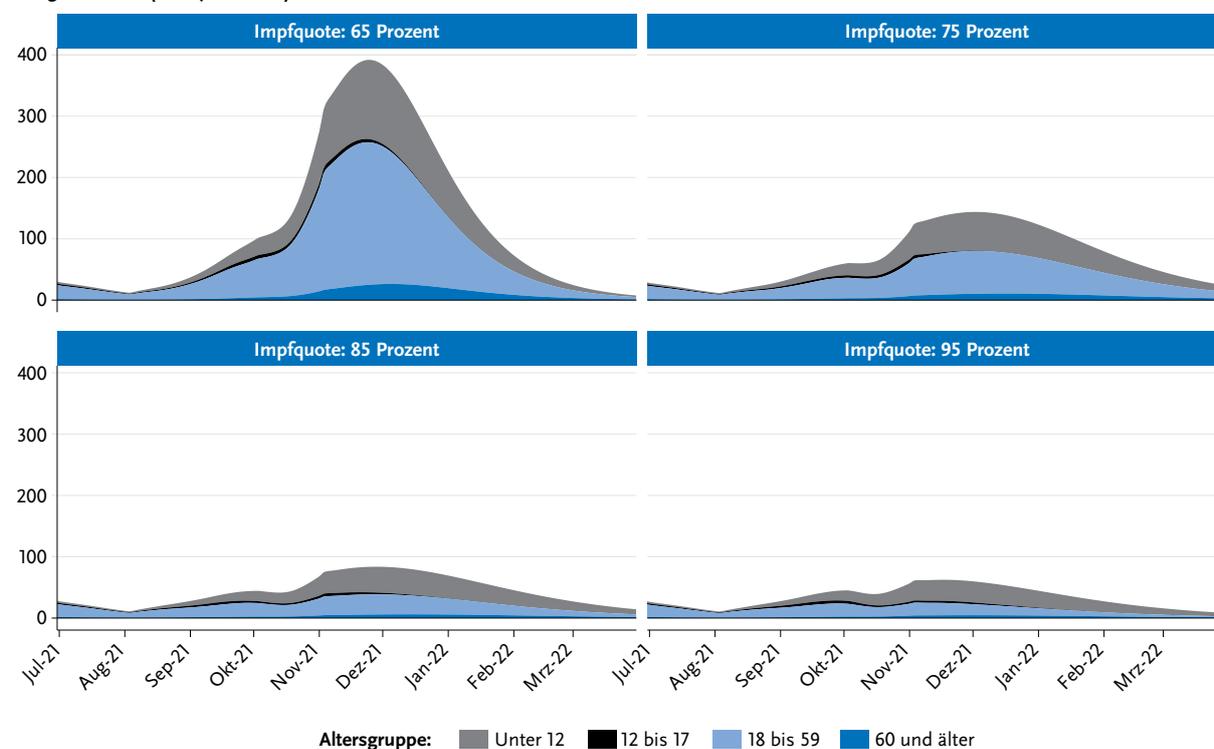


Abb. 1 | Schätzung der COVID-19-Inzidenz über die Zeit (Juli 2021 bis April 2022) und nach Altersgruppen, in Abhängigkeit der erreichten Impfquote bei 12–59-Jährigen (siehe Angabe im blauen Balken), bei 11,4 Kontakten pro Person/Tag und dominanter Delta-Variante

Personen in intensivmedizinischer Behandlung

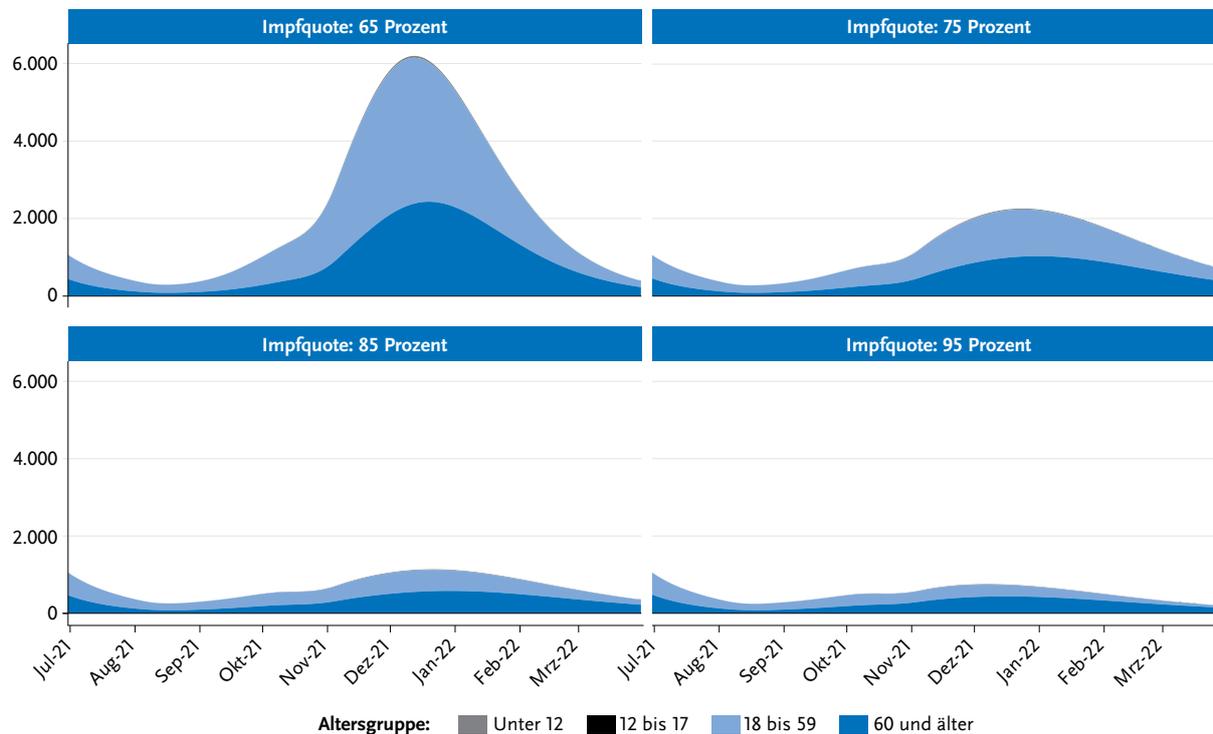


Abb. 2 | Schätzung der COVID-19-bedingten Intensivbetten-Belegung über die Zeit (Juli 2021 bis April 2022) und nach Altersgruppen, in Abhängigkeit der erreichten Impfquote bei 12–59-Jährigen (siehe Angabe im blauen Balken), bei 11,4 Kontakten pro Person/Tag und Delta-Variante

Virusvariante, die Impfquote der Altersgruppe ab 60 Jahren sowie der maximalen Kapazität der Impfstellen. Dabei zeigen sich in den Szenarien mit Alpha-Variante und einer Impfquote von 95 % bei den Personen ab 60 Jahren in der Tendenz niedrigere ITS-Auslastungen als im Basisszenario. Höhere ITS-Auslastungen sind zu erwarten, wenn keine Verhaltensänderung der Bevölkerung bei steigenden ITS-Auslastungen eintritt oder generell die Rückkehr zum prä-pandemischen Kontaktverhalten stärker ausfällt. Bei einer reduzierten Impfkapazität ist zu beobachten, dass im Vergleich zum Basis-szenario die Höhe der Impfquote deutlich an Einfluss verliert. Dies ist durch das in Bezug auf die Verhinderung einer 4. Welle erst spätem Erreichen der hohen Impfquoten zu erklären, d. h. Personen können durch einen Impfrückstau erst im Spätherbst und Winter während und nicht vor der 4. Welle geimpft werden.

In fast allen Szenarien gibt es nur geringe sichtbare Unterschiede in Bezug auf das Erreichen einer 85 %

oder 95 %igen Impfquote. Vor allem in einem Szenario ohne Veränderung des Kontaktverhaltens trotz steigender ITS-Auslastung ist ein merklicher Zusatznutzen einer Impfquote von 95 % im Vergleich zu 85 % zu verzeichnen. In diesem Szenario ist auch die höchste prognostizierte Zahl an Personen auf ITS (ca. 12.500) zu finden, was ungefähr dem 2,5-fachen des bisherigen Maximums entspräche. Es erscheint jedoch unwahrscheinlich, dass bei einem starkem Anstieg der Infektionszahlen und steigender ITS-Auslastung das Infektionsgeschehen ungebremst durch weitere Maßnahmen weiterläuft. Eine Steigerung der Impfquote unter den ≥ 60 -Jährigen (von 90 auf 95 %) resultiert nur in einem relevanten Unterschied bei der ITS-Belegung, wenn die Impfquote bei den 12–59-Jährigen bei 65 % oder niedriger liegt.

6. Impfkzeptanz

Im vom Bundesministerium für Gesundheit geförderten Projekt „COVIMO“ (COVID-19 Impfquoten-

Personen in intensivmedizinischer Behandlung

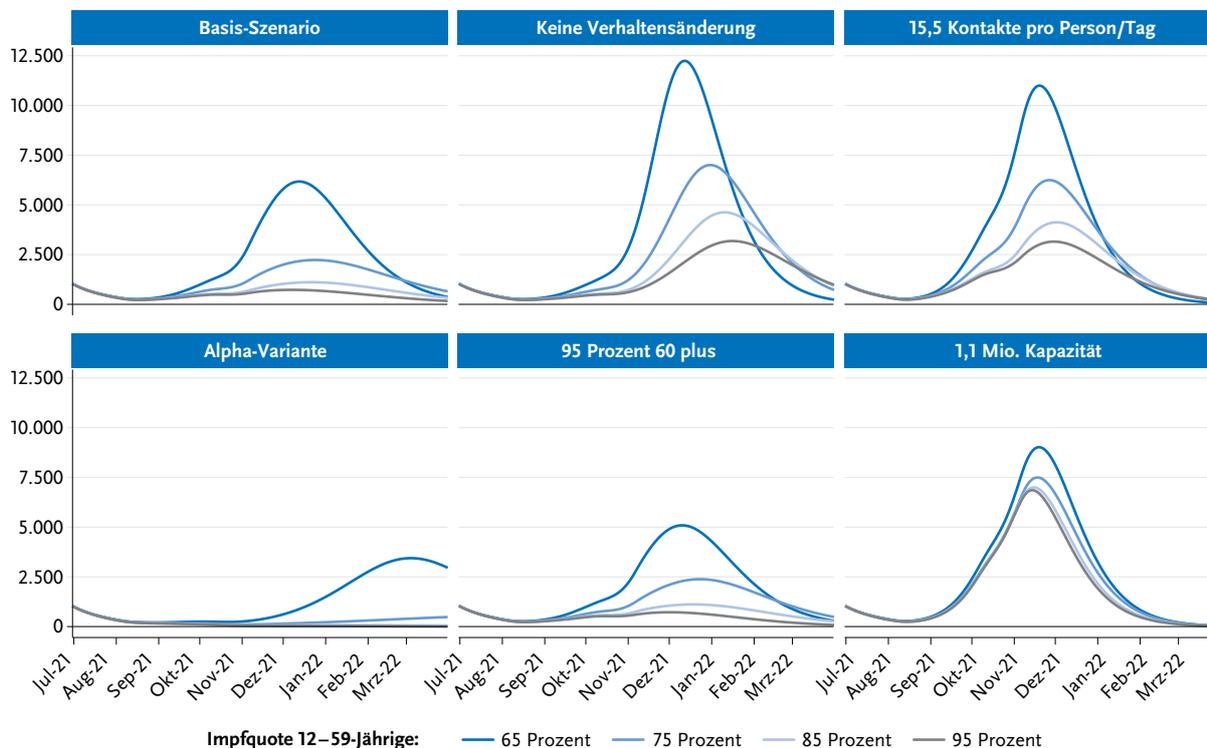


Abb. 3 | Sensitivitätsanalysen zur Abschätzung des Einflusses verschiedener Annahmen* auf die Zielimpfquote.

Im Basisszenario werden 11,4 Kontakte pro Person/Tag, die Dominanz der Delta-Variante und eine Impfquote von 90 % bei den ≥ 60 -Jährigen angenommen

* Die Annahmen betreffen: „Keine Verhaltensänderung“ der Menschen bei erneut ansteigenden Inzidenzen, eine Rückkehr zu einem prä-pandemischen Kontaktverhalten (15,5 Kontakte pro Person/Tag) unter Berücksichtigung einer Verhaltensänderung, die Dominanz der Alpha-Variante, eine Impfquote von 95% unter Menschen im Alter ≥ 60 Jahre (anstatt ≥ 90 %) sowie eine limitierte Kapazität im System zur Verimpfung einer maximalen Anzahl an Impfstoffdosen.

Monitoring in Deutschland) führt das RKI seit Beginn der Impfkampagne alle vier Wochen Telefonsurveys zur COVID-19-Impfinanspruchnahme, Impftention und Impfazeptanz durch. Befragt werden Personen ab 18 Jahren mit deutschen Sprachkenntnissen, die Ergebnisse der Surveys sind für diese Bevölkerungsgruppe repräsentativ. Details zur Erhebungsmethodik und einzelne Ergebnisberichte sind auf den Internetseiten des RKI zu

finden.²⁰ Die aktuellste Erhebung wurde vom 17.05.2021–09.06.2021 mit einem Fokus auf das Impfverhalten durchgeführt und schloss 3.004 Erwachsene ein.

Tabelle 1 zeigt den Anteil der Befragten, die zum Zeitpunkt der Befragung bereits geimpft waren (mindestens einmal sowie vollständig) und gibt zusätzlich an, wie groß der Anteil der ungeimpften Be-

Altersgruppe	Impfquote [%]		Impftention der noch Ungeimpften*	Gesamt Impfazeptanz**
	Mindestens 1 Dosis	Vollständig geimpft		
18–59 Jahre (n = 1.958)	51,1%	19,3%	66,9%	83,9%
≥ 60 Jahre (n = 1.043)	84,3%	42,5%	66,9%	94,8%

Tab. 1 | Impfquote und Impftention unter Survey-Teilnehmerinnen und Teilnehmern im Zeitraum 17.05.–09.06.2021

* Anteil der Befragten, die angaben, sich „auf jeden Fall impfen“ bzw. „eher impfen“ lassen zu wollen

** Kombination aus bereits mindestens einmal Geimpften und Impftention der noch Ungeimpften

fragten ist, der sich auf jeden Fall oder eher gegen COVID-19 impfen lassen würde (erfasst auf einer fünfstufigen Likert-Skala von „auf keinen Fall impfen“ (1) bis „auf jeden Fall impfen“ (5)). Die letzte Spalte zeigt die zu erwartende gesamte Impfbereitschaft, die sich aus dem Anteil bereits mindestens einmal Geimpfter sowie der (eher) impfbereiten Befragten zusammensetzt.

In dieser Darstellung unberücksichtigt bleiben jene Befragten, die sich in ihrer Entscheidung noch unsicher sind. Diese Gruppe ist mit 17,1% in der Altersgruppe der unter 60-Jährigen vertreten und damit bedeutend größer als in der Altersgruppe der ≥ 60 -Jährigen (11,7%). Von denjenigen, die bereits einmal ($n = 1.881$) gegen COVID-19 geimpft sind, gaben 98,3% an, sich auf jeden Fall die 2. Impfstoffdosis verabreichen lassen zu wollen. Die Daten lassen also nicht erkennen, dass das empfohlene Impfschema nicht vervollständigt wird.

Vergleicht man die aktuellsten Daten aus COVIMO mit den Daten der ersten Erhebung (Zeitraum der Erhebung: 18.01.–13.02.2021, $n = 1.006$), zeigt sich eine gute Übereinstimmung der damaligen Impfbereitschaft mit den jetzigen Impfquoten in der Altersgruppe ≥ 60 Jahre. Bis Mitte Februar 2021 waren 4,5% der Befragten ab 60 Jahre bereits mindestens einmal geimpft, weitere 87,3% der ungeimpften Befragten gaben an, sich auf jeden Fall oder eher impfen lassen zu wollen. Diese Werte legten eine zu erwartende gesamte Impfbereitschaft von etwa 88% nahe, die jetzt sowohl als Impfquote im Survey (84,3%, s. Tab. 1) als auch im digitalen Impfquoten-Monitoring (DIM) beobachtet werden konnte (80% mit Stand 14.06.2021).¹⁷

Es gilt dennoch zu berücksichtigen, dass eine hohe Impfbereitschaft nicht zwangsläufig in Impfverhalten resultiert. Für Impfverhalten spielen verschiedene Determinanten eine Rolle, von denen einige mit Hilfe des 5C-Modells in der Erhebungswelle vom 21.04.–07.05.21 erhoben wurden.²¹ Hierfür wurde eine logistische Regression durchgeführt, um die Effekte des 5C-Modells sowie der Kontrollvariablen Alter, Geschlecht, Bildung, Region, Zugehörigkeit zur Berufsgruppe des medizinischen Personals, Vorliegen einer/mehrerer Risikofaktoren und der Indikation Kontaktperson auf die Wahrscheinlich-

keit, bereits mindestens einmal geimpft zu sein, zu überprüfen.

Die Ergebnisse der Regression zeigen, dass das Vertrauen in die Sicherheit der Impfung, das Vertrauen in deren Effektivität (*Confidence*) sowie die Wahrnehmung struktureller Barrieren (*Constraints*) zur Vorhersage des Impfverhaltens beitragen. Das Alter, die Zugehörigkeit zum medizinischen Personal und die Indikation als Kontaktperson (z. B. einer schwangeren oder pflegebedürftigen Person) sagen das Impfverhalten ebenfalls statistisch relevant vorher, wohingegen der Schulabschluss der Befragten nicht zur Vorhersage des Impfverhaltens beiträgt. **Mit zunehmendem Vertrauen in die Impfung und geringeren strukturellen Barrieren steigt also die Wahrscheinlichkeit, bereits mindestens eine Impfung erhalten zu haben.**

7. Limitationen und Fazit

In das Modell fließen verschiedene Parameter und auch Annahmen ein, die gewissen Unsicherheiten und Dynamiken unterliegen. Daher eignen sich Szenarien auf Grundlage derartiger Modelle zwar gut zum Vergleich verschiedener Interventionen bzw. Impfstrategien (in diesem Fall Effekte unterschiedlicher Impfquoten im Vergleich), die konkrete Höhe der Inzidenzen oder ITS-Belegungen ist jedoch mit Vorsicht zu interpretieren.

Es ist nicht sicher vorhersehbar, ab wann die Delta-Variante in Deutschland den Anteil der zirkulierenden SARS-CoV-2-Viren vollständig dominieren wird und ob weitere Virusvarianten (gegen die die Impfstoffe ggf. auch weniger gut wirken) zum Tragen kommen. Unklar ist darüber hinaus aktuell auch, welche Schutzdauer die verfügbaren Impfstoffe haben und ob ggf. bereits zum Ende des Jahres die Immunität bei einem Teil der Bevölkerung nachlässt und eine Auffrischimpfung notwendig machen wird.

Derzeit ist ein COVID-19-Impfstoff für die Impfung von 12–17-jährigen Kindern bzw. Jugendlichen zugelassen. Die STIKO empfiehlt die Impfung in dieser Altersgruppe aktuell nur bei Vorliegen von Vorerkrankungen oder wenn sich im Umfeld der Kinder und Jugendlichen Angehörige oder andere

Kontaktpersonen mit hoher Gefährdung für einen schweren COVID-19-Verlauf befinden.²² Der Einsatz des Impfstoffs bei Kindern und Jugendlichen im Alter von 12–17 Jahren ohne Vorerkrankungen ist aber nach ärztlicher Aufklärung und bei individuellem Wunsch und Risikoakzeptanz möglich. Bei zunehmender Impfstoffverfügbarkeit, mehr Daten und Erfahrungen zur Jugendlichen-Impfung insb. aus den USA und anderen Ländern mit allgemeiner Jugendlichen-Impfempfehlung sowie bei Zunahme der Infektionszahlen unter Kindern aufgrund einer erhöhten Übertragbarkeit der Delta-Variante wird die STIKO das Thema der Jugendlichen-Impfung voraussichtlich nochmals beraten bzw. wird die Impfung auch ohne explizite STIKO-Empfehlung in dieser Altersgruppe vermutlich mehr zur Anwendung kommen. Daher wurden in der hier vorliegenden Modellierung Impfungen in allen Altersgruppen, für die gegenwärtig ein Impfstoff zugelassen ist, angenommen. Alternativ müsste die Impfquote bei den 18–59-Jährigen weiter gesteigert werden, wobei sich niedrige Impfquoten unter Kindern und Jugendlichen aufgrund der üblicherweise milden Krankheitsverläufe in dieser Altersgruppe insbesondere auf die Meldeinzidenz und weniger auf die ITS-Belegung auswirken. Entsprechende Szenarien lagen – basierend auf Berechnungen mit dem hier vorgestellten mathematischen Modell der STIKO zur Entscheidung vor und wurden auch in der wissenschaftlichen Begründung zur Empfehlung der COVID-19-Impfung für Kinder und Jugendliche von 12–17 Jahre publiziert.²²

8. Fazit

Auf Basis der hier präsentierten mathematischen Modellierungen und der Resultate aus den Surveys zur Impfsakzeptanz halten wir **eine Zielimpfquote (Impfschutz durch vollständige Impfung) von 85 % für die 12–59-Jährigen sowie von 90 % für Personen ab dem Alter von 60 Jahren** für notwendig und auch erreichbar. Bei rechtzeitigem Erreichen dieser Impfquote scheint eine ausgeprägte 4. Welle im kommenden Herbst/Winter unwahrscheinlich, sofern sich die Bevölkerung zusätzlich zur Impfung weiter an die Basishygienemaßnahmen hält und bei möglicherweise wieder ansteigenden Infektionszahlen Kontakte zu einem gewissen Grad reduziert. Darüber hinaus sollte sichergestellt werden, dass

die Kapazität zur Verimpfung der verfügbaren Impfstoffdosen ausreichend hoch ist und es (z. B. aufgrund der Sommerferien) nicht zu einer Verzögerung beim Erreichen dieser Zielimpfquote kommt.

Mit Stand Mitte Juni 2021 haben sich in Deutschland bereits ca. 85 % der ≥ 60 -Jährigen mindestens einmal gegen COVID-19 impfen lassen. Mit einer zunehmenden Dominanz der Delta-Variante ist in den kommenden Wochen zu rechnen. Diese wird sich auf die ITS-Belegung vor allem dann auswirken, wenn die Impfquoten bei den 12–59-Jährigen bei 75 % oder gar 65 % stagnieren und gleichzeitig eine komplette Öffnung stattfindet. Je niedriger im Herbst die erreichten Impfquoten sind, desto weniger sind bei Dominanz der Delta-Variante die Basishygienemaßnahmen ausreichend und weitere kontaktreduzierende Maßnahmen wären notwendig. Der Sommer sollte daher dringend genutzt werden, um eine Impfquote von 85 % (vollständige Impfung) bei den 12–59-Jährigen und 90 % bei den ≥ 60 -Jährigen möglichst schnell zu erreichen.

Um die Zielimpfquote zu erreichen, muss insbesondere unter den jungen Erwachsenen weiter über die Impfung aufgeklärt werden. Gerade in dieser Altersgruppe befindet sich noch ein größerer Anteil (17,1 %), der aktuell unentschlossen ist hinsichtlich der Impfung. Information und Aufklärung zur Sicherheit und Wirksamkeit der Impfung sind weiterhin relevant. Um die Bereitschaft für eine Impfung zu erhöhen, sollte auch die Adressierung der *Collective Responsibility* als Kommunikationsstrategie berücksichtigt werden. Darüber hinaus sollten strukturelle Barrieren lokal aufgedeckt und behoben werden (z. B. durch aufsuchendes Impfen oder niederschwellige Impfangebote am Arbeitsplatz).

Literatur

- 1 Robert Koch-Institut. Täglicher Lagebericht des RKI zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19). 01.07.2021 – AKTUALISIERTER STAND FÜR DEUTSCHLAND. Online verfügbar unter: www.rki.de/covid-19-situationsbericht
- 2 Polack FP, Thomas SJ, Kitchin N, Absalon J, Gurtman A, Lockhart S, et al. Safety and Efficacy of the BNT162b2 mRNA COVID-19 Vaccine. *N Engl J Med.* 2020.
- 3 Baden LR, El Sahly HM, Essink B, Kotloff K, Frey S, Novak R, et al. Efficacy and Safety of the mRNA-1273 SARS-CoV-2 Vaccine. *N Engl J Med.* 2020
- 4 Voysey M, Clemens SAC, Madhi SA, Weckx LY, Folegatti PM, Aley PK, et al. Single dose administration, and the influence of the timing of the booster dose on immunogenicity and efficacy of ChAdOx1 nCoV-19 (AZD1222) vaccine. *Lancet* 2021 Jan 9;397(10269):99-111.
- 5 European Medicines Agency. Assessment report – COVID-19 Vaccine Janssen. Online verfügbar unter: <https://www.ema.europa.eu/en/medicines/human/EPAR/covid-19-vaccine-janssen>
- 6 Lopez Bernal J, Andrews N, Gower C et al. Effectiveness of the Pfizer-BioNTech and Oxford-AstraZeneca vaccines on covid-19 related symptoms, hospital admissions, and mortality in older adults in England: test negative case-control study. *BMJ* 2021 May 13;373:n1088. doi: 10.1136/bmj.n1088.
- 7 Vasileiou E, Simpson CR, Shi T et al. Interim findings from first-dose mass COVID-19 vaccination roll-out and COVID-19 hospital admissions in Scotland: a national prospective cohort study. *Lancet.* 2021 May 1;397(10285):1646-1657
- 8 Abu-Raddad LJ, Chemaitelly H, Butt AA, National Study Group for COVID-19 Vaccination. Effectiveness of the BNT162b2 Covid-19 Vaccine against the B.1.1.7 and B.1.351 Variants. *N Engl J Med* 2021 May 5; *NEJMc2104974*.doi: 10.1056/NEJMc2104974. Online ahead of print.
- 9 Stowe J, Andrews N, Gower C. Effectiveness of COVID-19 vaccines against hospital admission with the Delta (B.1.617.2) variant. Preprint. Online verfügbar unter: <https://khub.net/documents/135939561/479607266/Effectiveness+of+COVID-19+vaccines+against+hospital+admission+with+the+Delta+%28B.1.617.2%29+variant.pdf/1c213463-3997-ed16-2a6f-14e5deb0b997?t=1623689315431>
- 10 Jamie Lopez Bernal, Nick Andrews, Charlotte Gower, et al. Effectiveness of COVID-19 vaccines against the B.1.617.2 variant. PrePrint. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1101/2021.05.22.21257658>
- 11 Harder T, Koch J, Vygen-Bonnet S, Scholz S, Pilic A, Reda S, Wichmann O: Wie gut schützt die COVID-19-Impfung vor SARS-CoV-2-Infektionen und SARS-CoV-2-Transmission? – Systematischer Review und Evidenzsynthese *Epid Bull* 2021;19:13-23. DOI 10.25646/844
- 12 Bundesministerium für Gesundheit. Impfdashboard. Online verfügbar unter: <https://impfdashboard.de/> [Zugriff am 29.06.2021]
- 13 Fine P, Eames K, Heymann DL. „Herd Immunity“: A Rough Guide. *Clinical Infectious Diseases* 2011;52(7):911–916.
- 14 Milman O, Yelin I, Aharoni N, et al. Community-level evidence for SARS-CoV-2 vaccine protection of unvaccinated individuals. *Nat Med.* 2021 Jun 10. doi: 10.1038/s41591-021-01407-5. Online ahead of print.
- 15 Ad-hoc meeting of the European Technical Advisory Group of Experts on Immunization (ETAGE): virtual meeting, hosted in Copenhagen, Denmark, 28 April 2021. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- 16 Scholz S, Waize M, Weidemann F, Treskova-Schwarzbach M, Haas L, Harder T, Karch A, Lange B, Kuhlmann A, Jäger V, Wichmann O: Einfluss von Impfungen und Kontaktreduktionen auf die dritte Welle der SARS-CoV-2-Pandemie und perspektivische Rückkehr zu prä-pandemischem Kontaktverhalten. *Epid Bull* 2021;13:3-22
- 17 Vygen-Bonnet S, Koch J, Bogdan C, et al.: Beschluss der STIKO zur 7. Aktualisierung der COVID-19-Impfempfehlung und die dazugehörige wissenschaftliche Begründung. *Epid Bull* 2021;25:3-13
- 18 Mossong J, Hens N, Jit M, Beutels P, Auranen K, Mikolajczyk R, et al.: Social Contacts and Mixing Patterns Relevant to the Spread of Infectious Diseases. *PLOS Medicine.* 2008;5(3):e74
- 19 Tomáš Gavenčiak, Joshua Teperowski Monrad, Gavin Leech, Mrinank Sharma, Sören Mindermann, Jan Marcus Brauner, Samir Bhatt, Jan Kulveit: Seasonal variation in SARS-CoV-2 transmission in temperate climates *medRxiv* 2021.06.10.21258647; doi: <https://doi.org/10.1101/2021.06.10.21258647>

- 20 Robert Koch-Institut. COVIMO – COVID-19 Impfquoten-Monitoring in Deutschland. Online verfügbar unter: https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Projekte_RKI/covi-mo_studie_Ergebnisse.html
- 21 Betsch C, Schmid P, Korn L, Steinmeyer L, Heine-meier D, Eitze S, Küpke NK, Böhm R. Impfverhalten psychologisch erklären, messen und verändern. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz 2019; 62(4): 400-409.
- 22 Vygen-Bonnet S, Koch J, Berner R, et al. Beschluss der STIKO zur 6. Aktualisierung der COVID-19-Impfempfehlung und die dazugehörige wissenschaftliche Begründung. *Epid Bull* 2021;23:3-32.

Autorinnen und Autoren

- ^{a)} PD Dr. Ole Wichmann | ^{a)} Stefan Scholz |
^{a)} Maria Waize | ^{a)} Nora Schmid-Küpke |
^{b)} Dr. Osamah Hamouda | ^{c)} Prof. Dr. Lothar H. Wieler |
^{d)} Prof. Dr. Lars Schaade
- ^{a)} RKI, FG 33 Impfprävention
^{b)} RKI, Abt. 3 Infektionsepidemiologie
^{c)} RKI, MF Methodenentwicklung und Forschungsinfrastruktur
^{d)} RKI, ZBS Zentrum für Biologische Gefahren und Spezielle Pathogene

Korrespondenz: WichmannO@rki.de

Vorgeschlagene Zitierweise

Wichmann O, Scholz S, Waize M, Schmid-Küpke N, Hamouda O, Wieler LH, Schaade L: Welche Impfquote ist notwendig, um COVID-19 zu kontrollieren?

Epid Bull 2021;27:3-13 | DOI 10.25646/8742

(Dieser Artikel ist online vorab am 5. Juli 2021 erschienen.)

Interessenkonflikt

Alle Autorinnen und Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.