

Covid-19 Impfdurchbruch

Kennzahlen basierend von Informationen des Robert-Koch-Institut.

H.-Dirk Schmitt*

4. Februar 2022

Inhaltsverzeichnis

1	Impfqualität und Kennzahlen	4
1.1	Impfquote und Schutzwirkung	5
1.1.1	Begriffsunterschied Schutzwirkung und Impfeffektivität	6
1.2	Bewertung der Unterschiede zwischen den Altersgruppen	7
1.3	schwere Erkrankung und Tod	7
1.4	Verhältnis symptomatische zu asymptomatischen Infektionen	9
1.5	Asymptomatische Infektionen und Übertragungsschutz	9
1.6	Inzidenzfaktor	10
1.7	Inzidenz der Geimpften	12
1.7.1	Inzidenz nach Impfstatus bei Senioren – Beispiel 41–44 Meldewoche	14
1.8	Alterung der Schutzwirkung	15
1.9	Zeitreihe der RKI-Daten	17
1.9.1	Impfdurchbrüche	17
1.9.2	Impfquoten	17
2	Impfung und Schutzmaßnahmen	21
2.1	Ziele der Schutzmaßnahmen	22
2.2	Rechenmodelle	22
2.2.1	2G-Regel	24
2.2.2	3G-Regel	25
2.2.3	Vergleich 2G und 3G	26
2.2.4	Doppel-G – Getestet und Geimpft	27

*dirk@computer42.org

3	Unterschätzung Impfquote / COVIMO	28
3.1	Auswirkung auf errechnete Schutzwirkung	29
4	Lizenz	30
	Index	31

Zusammenfassung

Kennzahlen zu Covid-19 Impfdurchbruch seit 12.08.2021 vom **Robert Koch Institut**. Diese werden hier erweitert und leichter interpretierbar dargestellt. Zudem wird ein Bezug zu Schutzmaßnahmen wie *2G-Regeln* und *3G-Regel* gezogen.



Info

Nachdem 2022 neben der 2. Impfung nun die 3. (und bald 4. Impfung) relevant ist für die Beurteilung der Lage geht dies über die hiesige Darstellung.

Zudem werden aufbereitete Daten aus dem RKI Wochenbericht verwendet, Die „Aufbereitung“ ist jedoch nicht stabil. Daher ist der Vergleich in einer Zeitreihe nur noch begrenzt zielführend.

Aus diesem Grund ist das Projekt derzeit „eingefroren“ und wird nicht mehr wöchentlich aktualisiert.

Hinweis

Die Covid-19 Impfung verspricht, wie die Grippeimpfung, keinen 100 % Erfolg. Dennoch ist nachgewiesen das:

- Wahrscheinlichkeit einer Covid-19 Infektion deutlich abgesenkt ist.
- Das Risiko einer schweren Erkrankung abgesenkt ist.

Die Pandemie wird – wie jede Pandemie – auslaufen, wenn genügend Menschen regional/global immunisiert sind. Dies kann beschleunigt werden durch eine hohe Impfquote.

Der alternative Weg die Infektionen einfach durchlaufen zu lassen bedeutet eine hohe Zahl von erkrankten bzw. verstorbenen Mitmenschen. Dies sollte vermieden werden.

Lasst euch Impfen!

1 Impfqualität und Kennzahlen

In den [wöchentlichen COVID-19-Lageberichten](#) des Robert Koch Institut (RKI) wird ein *Impfdurchbruch* wie folgt definiert.

Definition 1.1 – Symptomatisch

Ein wahrscheinlicher Impfdurchbruch ist definiert als SARS-CoV-2-Infektion (mit klinischer Symptomatik), die bei einer vollständig geimpften Person mittels PCR oder Erregerisolierung diagnostiziert wurde. Ein vollständiger Impfschutz wird angenommen, wenn nach einer abgeschlossenen Impfserie (2 Dosen Moderna-, BioNTech- oder AstraZeneca-Vakzine bzw. 1 Dosis Janssen-Vakzine) mindestens zwei Wochen vergangen sind.

Seit dem 12.8.2021 gibt das RKI für symptomatische Impfdurchbrüche im Verhältnis zu symptomatischen Covid-19 Infektionen an.

Dies umfasst nur die symptomatischen Infektionen. Hinzu kommen noch Infektionen die nicht symptomatisch, d.h. ohne Ausbildung von Symptomen wie Schnupfen, ... sind.

Liegt eine asymptomatische Infektion vor ist dies:

- Gut für die infizierter Person, da diese keine schwere Erkrankung durchleidet.¹
- Schlecht für die Kontakte der infizierten Person, da ohne Erkennung der Infektion keine Warnung erfolgen kann. Dies gilt insbesondere für asymptomatische Impfdurchbrüche, da hier aufgrund der 2G bzw. 3G Regelungen kein anlassloser Test auf eine Covid-19 Infektion durchgeführt wird.

Die Impfquoten und Fallzahlen an symptomatischen Covid-19 Erkrankungen in den Meldewochen 51–2 je Altersgruppe sind wiedergegeben in der nachfolgenden Tabelle. Diese Daten sind dem [Wochenbericht](#) des Robert-Koch-Institut vom 20.01.2022 entnommen.

Tabelle 1: Symptomatischen Covid-19 Erkrankungen der Personen ab 60 Jahren in Meldewochen 51–2.

Kennzahl	Symbol	12–17 Jahre	18–59 Jahre	≥60 Jahre	≥ 12 Jahre
Fallzahl symptomatisch ³	$F_g + F_u$	23627	152044	21042	1967
Fallzahl symptomatisch Geimpft ⁴	F_g	7582	89906	10995	1084
Fallzahl symptomatisch Ungeimpft	F_u	16045	62138	10047	882
Impfdurchbruch Anteil ⁵	$\frac{F_g}{F_g + F_u}$	0.321	0.591	0.523	

¹Jedoch ist auch bei asymptomatischen Infektionsverlauf die Ausbildung von [Long Covid](#) nicht ausgeschlossen.

1.1 Impfquote und Schutzwirkung

Zusammen mit der Impfquote berechnet sich die *Schutzwirkung* und die Gegenwahrscheinlichkeit *Schutzlücke* wie folgt:

Wikipedia erklärt die **Impfstoffwirksamkeit** (*Schutzwirkung*) für ein Ereignis das Verhältnis von Inzidenzen getrennt nach Ungeimpften I_u und Geimpften I_g .

$$W := \frac{I_u - I_g}{I_u} = 1 - \frac{I_g}{I_u}$$

Dementsprechend für die *Schutzlücke*:

$$\omega = \frac{I_g}{I_u}$$

Die Inzidenz ist die Wahrscheinlichkeit das innerhalb des festgesetzten Zeitfensters (7 Tage oder wie hier 4 Wochen) eine Person ein „Schadensereignis“ (hier eine symptomatische Covid-19 Infektion) hat.

Normalerweise geben wir Wahrscheinlichkeiten als Prozentzahlen an. Wenn dies Wahrscheinlichkeit kleiner ist benutzen wir auch andere Skalierungen wie je 100.000 – also die Prozentzahl mit 1000 multipliziert.

Was ist diese Wahrscheinlichkeit – nichts anderes als die aufgetretenen Schadensereignisse geteilt durch die Personen in der beobachteten Gruppe.

Kennen wir eine Fallzahl für alle Einwohner in Deutschland, so ergibt diese Zahl geteilt durch die Bevölkerung die gesuchte Wahrscheinlichkeit, also

$$\text{Inzidenz} = \frac{\text{Anzahl Schadensereignisse in Zeitraum}}{\text{Kollektivgröße}}$$

Sei P die Größe des betrachteten Kollektivs (z.B. alle Senioren in Deutschland ab 60 Jahren). Die Impfquote V gibt uns nun den jeweilig geimpften bzw. ungeimpften Teil des Kollektivs an.

Damit gilt:

- $I_g = \frac{F_g}{V \cdot P}$
- $I_u = \frac{F_u}{(1-V) \cdot P}$

²Die Anzahl der symptomatischen Covid-19 Infektionen unterhalb von 12 Jahren ist nicht im wöchentlichen COVID-19 Lagebericht des Robert-Koch-Institut benannt.

³Diese Kennzahl ist aus dem wöchentlichen COVID-19 Lagebericht des Robert-Koch-Institut übernommen.

⁴Diese Kennzahl ist aus dem wöchentlichen COVID-19 Lagebericht des Robert-Koch-Institut übernommen.

⁵Diese Zahl wird vom Robert-Koch-Institut im wöchentlichen COVID-19 Lagebericht ausgewiesen. Daher habe wir sie hier auch aufgenommen, auch wenn wir diese Kennzahl in diesem Artikel nicht verwenden.

Wenn Sie nun dies in obige Gleichung für ω einsetzen, sehen sie wahrscheinlich direkt das sich P aus dem Bruch heraus kürzt.

Dementsprechend können wir rechnen:

$$\omega = \frac{F_g}{F_u} \cdot \frac{1 - V}{V}$$



Info

Hier sehen sie eine Schwäche der Darstellung im RKI Wochenbericht. Der Bruch $\frac{F_g}{F_u}$ ist inhaltlich äquivalent („entspricht“) dem dort dargestellten Bruch $\frac{F_g}{F_g + F_u}$ der dort als „Anteil wahrscheinliche Impfdurchbrüche unter symptomatischen COVID-19-Fällen“ bezeichnet wird. In obiger Tabelle haben wir diese Zahl in der Zeile „Impfdurchbruch Anteil“ ebenfalls angegeben, da er ein der öffentlichen Darstellung des öfteren – zumeist fehlinterpretiert – referenziert wird.

Die fehlgeleitete Interpretation ist oft: „Die Impfung nützt nichts“. In diesem Wert geht jedoch noch nicht die Impfquote ein. Hier werden also 2 Kollektive in Bezug gesetzt, die bei fortgeschrittener Impfkampagne stark von einander abweichen. Diese Fehlinterpretation ist so, wie wenn ich einen „Espresso“ Kaffee mit einem „Americano“ vergleicht. Ähnlich viel Koffein, aber in unterschiedlicher Mengen von Wasser.

Tabelle 2: Impfquote und Schutzwirkung in Meldewochen 51–2.

Kennzahl	Symbol	12–17 Jahre	18–59 Jahre	≥60 Jahre
Impfquote in % ⁶	V	52.54	78.89	87.18
normierte Fallzahl Geimpft	$N_g := \frac{F_g}{V}$	14431	113964	12612
normierte Fallzahl Ungeimpft	$N_u := \frac{F_u}{1-V}$	33807	294353	78370
Schutzlücke (Infektion) in %	$\omega := \frac{N_g}{N_u}$	42.69	38.72	16.09
Schutzwirkung (Infektion) in %	$W := 1 - \omega$	57.31	61.28	83.91

1.1.1 Begriffsunterschied Schutzwirkung und Impfeffektivität

Nach dem schon zuvor zitierten Wikipedia-Artikel zur **Impfstoffwirksamkeit** (*Schutzwirkung*) wird der Begriff *Impfstoffeffektivität* für Studien verwendet die unter idealen Bedingungen die Wirksamkeit eines Impfstoffes untersuchen. Diese sind Teil des Zulassungsverfahrens eines Impfstoffes.

Der in diesen Studien unter idealen Bedingungen ermittelte Wert wird in der Regel besser sein, als die später real beobachtete Schutzwirkung. Sollte er kleiner sein, dann liegt eines folgender Probleme vor:

- Impfstoffeffektivität zu niedrig ermittelt aufgrund Fehlern in der Studie.

⁶Diese Kennzahl ist aus dem wöchentlichen COVID-19 Lagebericht des Robert-Koch-Institut übernommen.

- Impfstoffwirksamkeit zu hoch ermittelt aufgrund von Erfassungsfehlern bei Impfdurchbrüchen.

Mann kann vereinfacht sagen das die Impfstoffeffektivität die maximal zu erwartende Schutzwirkung angibt. Die real auftretende Schutzwirkung wird aufgrund von Alterung und in Studien nicht genauer berücksichtigten Gegebenheiten (spezielle Erkrankungen oder Kreuzreaktion zu Medikamenten, ...) immer geringer bleiben.

Den Unterschied beider Begriffe kann man auch von der Perspektive her kennzeichnen.

- Die Impfstoffeffektivität ist die *individuelle* Schutzwirkung im Beobachtungszeitraum der Studie gemittelt über alle Studienteilnehmern.
- Die Impfstoffwirksamkeit *kollektive* (aktuelle) Schutzwirkung beobachtet über alle Geimpften in der beobachteten Gruppe, die deutlichst größer ist als die relativ kleine Anzahl von Studienteilnehmern.

Vor Beginn der Impfung der Bevölkerung – Anfang 2021 – war eine Schutzwirkung noch nicht messbar. In den ersten Wochen nach Beginn der Impfkampagne ist das Ergebnis aufgrund der (noch) kleinen Zahlen zudem instabil. Vergleiche hierzu auch den Verlauf der Kurve der Schutzwirkung bei Jugendlichen im später folgenden [Abschnitt „Alterung der Schutzwirkung“](#).

Daher wurde hier oft nicht unterschieden zwischen beiden Begriffen. Dies führte zu dem später entstandenen falschen Eindruck das die Impfstoffe schlechter seien als ursprünglich versprochen.

1.2 Bewertung der Unterschiede zwischen den Altersgruppen

Die Schutzwirkung ist nach obigen Zahlen bei jüngeren größer als bei älteren Personen. Dies kann 2 Gründe haben:

1. Die Antwort des Immunsystems sinkt mit steigendem Alter und daher lässt die Schutzwirkung nach.
2. Je größer der Abstand zur Zweitimpfung, desto schlechter ist die Schutzwirkung.

Die Zeitreihe der Anteile an Impfdurchbrüchen zeigt das auch der zeitliche Abstand zur Zweitimpfung eine Rolle spielt. Generell gilt das Jüngere im Durchschnitt später geimpft wurden als Ältere. Daher ist die Alterung der Schutzwirkung hier auch noch nicht in gleichem Maße fortgeschritten.

1.3 schwere Erkrankung und Tod

Hier gibt der [Wöchentlicher COVID-19-Lagebericht vom 11.11.2021](#) eine noch höhere Wirkung als die Schutzwirkung gegen Infektion an.

Geschätzte Impfeffektivität gegen weitere COVID-19-assoziierte Endpunkte für den Zeitraum der letzten vier Wochen (41.-44. Kalenderwoche):

- Schutz vor Hospitalisierung: ca. 88 % (Alter 18-59 J.) bzw. ca. 85 % (Alter ≥ 60 J.)
- Schutz vor Behandlung auf Intensivstation: ungefähr 93 % (Alter 18-59 J.) bzw. ungefähr 90 % (Alter ≥ 60 J.)
- Schutz vor Tod: ungefähr 92 % (Alter 18-59 J.) bzw. ungefähr 87 % (Alter ≥ 60 J.)

Dies bedeutet, dass Geimpfte nicht nur vor Infektion, sondern auch vor einem schweren Verlauf besser geschützt sind als Ungeimpfte.⁷



Vorsicht

Die Angaben zur *Schutzwirkung* vor den Ereignissen Hospitalisierung, Intensivstation, Tod berechnet sich analog zur zuvor erklärten Berechnung der Schutzwirkung vor Infektion.

Daher ist eine Multiplikation der Schutzwirkungen ein falscher Rechenweg.

Die systemische Begründung dahinter ist das die Impfung 2 Wirkungen entfaltet.

1. Bildung von **Antikörpern**, die eine Infektion verhindern. Dies entspricht im wesentlichen dem Wert den wir im *Übertragungsschutz* ermitteln.
2. **T-Zellen**, die helfen nach erfolgter Infektion helfen den Virus zu bekämpfen und tendenziell zu einem „leichteren Verlauf“ der Infektion führen.

Bei symptomatischen Infektionen werden immer beide Komponenten gemessen.

1. Der *Übertragungsschutz* ist der „primäre Schutz“, da ohne Infektion auch kein Krankheit vorliegen kann.
2. Ist die Infektion eingetreten, dann spielt eine wesentliche Rolle wie gut der Schutz durch T-Zellen funktioniert. Die Wahrscheinlichkeit eines schweren Verlaufs nimmt hier dann um einen linearen Faktor gegenüber nicht-immunisierten besser. Die *Schutzwirkung* gibt hier die kombinierte Wirkung an.

Der systemischen Wirkung nach sollten die Schutzwirkungen geordnet sein, also:

Übertragungsschutz \leq Schutzwirkung symptomatische Infektion \leq Schutzwirkung Hospitalisierung („schwerer Verlauf“) \leq Schutzwirkung Intensivstation \leq Schutzwirkung Tod

⁷Die beiden Schutzwirkungen „Infektion“ und „schwerer Verlauf“, sind nicht unabhängig. Sie dürfen daher nicht miteinander multipliziert werden.

Die Daten zu den Ereignissen Hospitalisierung, Intensivstation und Tod haben jedoch zeitlichen Meldeverzug und – gerade in Zeiten hohen Infektionsgeschehens – einen veränderten Prozess. Mit dem veränderten Prozess sind z.B. die geringere Aufnahme (gerade von Senioren) auf Intensivstation oder die kürzere Verweilzeit auf Intensivstation gemeint. Die aus der systemischen Wirkung zu erwartende Ordnung kann daher in den Messdaten sich nicht widerspiegeln, da die Veränderungen bei der Messung nicht in die „Rechnung“ eingehen.

1.4 Verhältnis symptomatische zu asymptomatischen Infektionen

Informationen zur Verteilung von symptomatischen und asymptomatischen Infektionen – nicht Impfdurchbrüchen – sind in der Studie [PLoS Medicine \(2020; DOI: 10.1371/journal.pmed.1003346\)](https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003346) angegeben.

- Ca. 20% der entdeckten Infektionen sind asymptomatisch. (95 % Konfidenzintervall: 17 %-25 %)
- Ca. 31% aller Infektionen sind asymptomatisch. (95 % Konfidenzintervall: 26 %-37 %)

Diese Zahlen haben 2 potentielle Probleme:

1. Zum Zeitpunkt der Datenerhebung war der „Wildtyp“, d.h noch keine „*Virus of Concern*“ bestimmend für das Infektionsgeschehen.
2. Zum Zeitpunkt der Datenerhebung standen Impfungen nicht zur Verfügung.

Es ist zu erwarten das der Anteil asymptomatischer Infektionen bei Geimpften höher liegt, da für schwere Erkrankungen auch eine höhere Schutzwirkung beobachtet wurde als für Infektionen. Siehe hierzu den [Abschnitt „schwere Erkrankung und Tod“](#).

Die Studie „Efficacy of the mRNA-1273 SARS-CoV-2 Vaccine at Completion of Blinded Phase“ im New England Journal of Medicine [[N Engl J Med 2021; 385:1774-1785 DOI: 10.1056/NEJMoa2113017](https://doi.org/10.1056/NEJMoa2113017)] gibt für den Impfstoff von Moderna (mRNA-1273), für die ersten 5 Monate, nach Erhalt der 2. Dosis, eine Schutzwirkung von 63 %⁸ vor asymptomatischer Infektion an.

Für asymptomatische Impfdurchbrüche darf angenommen werden, das die Wahrscheinlichkeit eines *Impfdurchbruch* für asymptomatische Impfdurchbrüche **mindestens** so hoch ist wie für symptomatische Impfdurchbrüche.

1.5 Asymptomatische Infektionen und Übertragungsschutz

Neben der *Schutzwirkung* die wir zuvor im Zusammenhang mit Tod, Intensivbehandlung, Hospitalisierung oder symptomatische Infektion hatten gibt es noch den nicht synonymen Begriff *Übertragungsschutz*.

⁸95 % Konfidenzintervall: 56,6 %-68,5 %

Übertragungsschutz bezeichnet allgemein Maßnahmen die Infektionen verhindern können. Dies sind auch so simple Maßnahmen wie Schutzmasken.

Im Kontext von Impfung bedeutet Übertragungsschutz die Schutzwirkung vor allen Infektionen – egal ob asymptomatisch oder symptomatisch. Anders ausgedrückt bedeutet hier *Übertragungsschutz* die Wahrscheinlichkeit nicht zu einem *Überträger* zu werden.

Bei der Bestimmung ergibt sich das Problem, das die asymptomatischen Infektionen schwer zu messen sind. Dies beruht darauf das bei fehlenden Symptomen ein äußerer Anlass wie Testpflicht (aufgrund Zugangsregeln) oder Status als Kontaktperson zu einem Test führt, der die Infektion aufdeckt. Eine Berechnung ist daher nur bei statistischen Zufalltests in der Bevölkerung möglich.

Im Vereinigten Königreich (England), werden solche Tests⁹ durchgeführt. Der direkte Vergleich dieser Fallzahlen mit den Fallzahlen aus der „Verdachts-Testung“ ist wegen dem Zeitversatz und anderer Einflüsse schwierig.

Die Daten des Britischen „[Office for National Statistic](#)“ führen jedoch zur Vermutung, das im Herbst 2021 der Anteil asymptomatischer Infektionen höher ist als in obiger Studie [PLoS Medicine \(2020; DOI: 10.1371/journal.pmed.1003346\)](#) aus 2020.

Die vermutete Verschiebung des Anteils asymptomatischer Infektionen kann beruhen auf:

- Impfung
- Mutation
- anderen Einflüssen

Eine Bewertung kann daher hier nicht erfolgen.

Der Abschätzung des vorherigen [Abschnittes](#) „[Verhältnis symptomatische zu asymptomatischen Infektionen](#)“ ist in diesem Kontext jedoch erneut zu betonen: Der *Übertragungsschutz* ist **geringer** als die *Schutzwirkung* vor einem symptomatischen *Impfdurchbruch*.

1.6 Inzidenzfaktor

Betrachten wir nun die Inzidenz „aller“ **symptomatischen** Infektionen, also:

$$I_a := \frac{F_g + F_u}{P}$$

Aufgeteilt nach Impfstatus haben wir die symptomatischen Inzidenzen:

- $I_g := \frac{F_g}{V \cdot P} \iff F_g = I_g \cdot V \cdot P$
- $I_u := \frac{F_u}{(1-V) \cdot P} \iff F_u = I_u \cdot (1 - V) \cdot P$

⁹Siehe zur Problematik solcher Tests, die im Vereinigten Königreich durchgeführt werden, diesen [Artikel](#).

Also:

$$I_a = \frac{(I_g \cdot V \cdot P) + (I_u \cdot (1 - V) \cdot P)}{P} = I_g \cdot V + I_u \cdot (1 - V)$$

Wie zuvor bei der Berechnung von ω kürzt sich die Kollektivgröße aus der Rechnung heraus.

Diese Beziehung können wir nun nach den einzelnen Inzidenzen auflösen:

1. Inzidenz Geimpfter:

$$I_a = I_g \cdot V + I_u \cdot (1 - V) \iff \frac{I_a}{I_g} = V + \frac{I_u}{I_g} \cdot (1 - V) = V + \frac{1 - V}{\omega} =: \frac{1}{i_g}$$

Wir bezeichnen nun dieses Verhältnis als Inzidenz-Faktor-Geimpft und benutzen als Bezeichnung i_g .

Anders herum aufgelöst ist dieser:

$$i_g = \frac{1}{V + \frac{1 - V}{\omega}}$$

2. Inzidenz Ungeimpfter:

$$I_a = I_g \cdot V + I_u \cdot (1 - V) \iff \frac{I_a}{I_u} = \frac{I_g}{I_u} \cdot V + (1 - V) = \omega \cdot V + (1 - V) =: \frac{1}{i_u}$$

Wir bezeichnen nun dieses Verhältnis als Inzidenz-Faktor-Ungeimpft und benutzen als Bezeichnung i_u .

Anders herum aufgelöst ist dieser:

$$i_u = \frac{1}{\omega \cdot V + (1 - V)}$$

Mit diesen beiden Faktoren, abgeleitet aus der *Impfquote* und der *Schutzwirkung* (bzw. *Schutzlücke*), können wir nun die Inzidenzen nach getrennt nach Schutzwirkung zurückrechnen mittels: $I_g = i_g \cdot I_a$ und $I_u = i_u \cdot I_a$

Tabelle 3: Inzidenzfaktoren zur Umrechnung der (symptomatischen) Inzidenz nach Schutzwirkung und Impfquote

Gruppe	W	V	i_g	i_u	$\frac{I_u}{I_g}$
Jugend	0.573	0.525	0.611	1.431	2.34
18-59	0.613	0.789	0.750	1.936	2.58
Senioren	0.839	0.872	0.599	3.725	6.22

Das Verhältnis der Inzidenzfaktoren entspricht dem Verhältnis wieviele ungeimpfte symptomatische Infektionen auftreten im Vergleich zu einem Geimpften symptomatisch infizierten.

Quintessenz

Der Inzidenz-Faktor-Geimpft zeigt, dass solange hohe Inzidenzen sind es auch immer eine Epidemie der Geimpften bleibt.

Die politischen Formulierungen „Pandemie der Ungeimpften“ hat daher kein Fundament und kann höchstens den erhöhten Leidensdruck der ungeimpften Bevölkerung versuchen zu verbildlichen.

Wenn diese Formulierung jedoch genutzt wird eine falsche Sicherheit für Geimpfte zu versprechen der Hinweis, dass bei Impfquote 100% der Inzidenz-Faktor-Geimpft 1 ist. Die Übertragung findet dann zu 100% bei Geimpften statt – ist aber um die *Schutzwirkung* gebremst. Die derzeitige Schutzwirkung lässt erwarten das spätestens dann das exponentielle Wachstum der Infizierten durchbrochen ist.

1.7 Inzidenz der Geimpften

Wie können wir die Inzidenz von Geimpften und Ungeimpften bestimmen. Im besten Fall wird diese von Gesundheitsämtern bzw. den Landesbehörden veröffentlicht.

Im anderen Fall können wir versuchen diese Daten aus der allgemeinen Inzidenz und der Schutzwirkung der Impfung abzuschätzen. Für symptomatische Infektionen haben wir aus dem RKI Wochenbericht Fallzahlen berichtet über einen Zeitraum der letzten 4 Wochen. Diese waren mit F_g und F_u bezeichnet. Die vom Impfstatus unabhängige Summe bezeichnen wir im folgenden mit F_a .

Bezeichne A_a die Fallzahl von asymptomatischen Infektionen unabhängig vom Impfstatus im gleichen Zeitraum der letzten 4 Wochen. Analog nutzen wir die Bezeichnungen A_g und A_u für die asymptomatischen Fallzahlen bei Geimpften und Ungeimpften.

Wir müssen beachten dass diese, nach Normierung auf Gruppengröße, einer 4-Wochen Inzidenz entspricht. In Deutschland verknüpfen wir meist unbewusst den Zeitraum 7 Tage. Generell sollten wir bei Inzidenzwerten auch immer auf den Zeitraum achten. In einigen Staaten – wie auch die EU¹⁰ – wird mit der Inzidenz ein Zeitraum von 14 Tagen beschrieben. Diese zählen in einem doppelt so langen Zeitraum. Der Wert sollte damit dann etwa doppelt so hoch sein wie unser 7-Tages Wert.

Sei nun J_a, J_g, J_u die **Inzidenz** ohne Unterscheidung ob Symptome ausgebildet werden oder nicht im gleichen 4-Wochen Zeitraum. J_a ist bekannt aus den täglich publizierten Inzidenzwerten.

Wenn wir zum Beispiel die 7-Tages Inzidenzen vom 7., 14., 21. und 28. eines Monats. Dann sind in diesen Werten die Fallzahlen vom 1.–28. enthalten, also von einem Zeitraum von 4 Wochen. Die Fallzahlen eines Tages sind durch den

¹⁰Siehe EU Daten zu Covid-19 unter <https://www.ecdc.europa.eu/>.

Abstand der Inzidenzwerte von jeweils einer Woche immer genau einmal gezählt worden. Die Summe dieser 4 Inzidenzwerte entspricht damit dem Wert J_a .¹¹

Sei P die „Populationsgröße“, dann gilt:

$$J_a = \frac{A_a + F_a}{P} = \frac{A_g + F_g}{V \cdot P} + \frac{A_u + F_u}{(1 - V) \cdot P} = \frac{1}{P} \cdot \frac{A_g + F_g}{V} + \frac{A_u + F_u}{1 - V}$$

Problem ist das wir 1 Gleichung mit 2 Unbekannten haben. Dennoch wollen wir hier ein Gefühl über die Infektionshäufigkeit geben. Daher schätzen wir die asymptomatischen Infektionen bei Geimpften die durch einen Test erkannt wurden. Hinzu kommt noch die Dunkelziffer an nicht erkannten Infektionen. Aber diese Zahl ist ja auch nicht in J_a enthalten.

$$A_g = t \cdot s \cdot \frac{A_u}{1 - V} \cdot V$$

Sprachlich übersetzt bedeutet dies:

Testregime Die Wahrscheinlichkeit sich zum Testen (ohne vorhandene Symptomatik) beträgt bei Geimpften den Faktor t gegenüber Ungeimpften. Man kann aus der gesellschaftlichen Realität annehmen das gilt $0 \leq t \leq 1$.

Übertragungsschutz Die Eintrittswahrscheinlichkeit einer asymptomatischen Infektion ist um den Faktor s reduziert. Wir können hoffen das $s > 0$ auch bei einer länger zurückliegenden Impfung gilt. Wir wissen aus [Abschnitt „Asymptomatische Infektionen und Übertragungsschutz“](#) das $s \leq \omega$ gilt.

Die einzelnen Werte t und s kennen wir nicht. Daher versuchen wir ihr Produkt c zu schätzen. Wir formulieren also die Gleichung.

$$A_g = c \cdot \frac{A_u}{1 - V} \cdot V$$

Für $c = 0$ erhalten wir die untere Grenze der Inzidenz der Geimpften und die obere Grenze der Inzidenz der Ungeimpften. Wenn man von einem Übertragungsschutz von 50% ausgeht und wäre bei gleichem Testregime der Wert $c = 0,5$. Daher gehe ich davon aus das gilt $c \in [0,05, 0,5]$ gilt.¹²

Nun nutzen wir noch die Gleichung $A_a = A_g + A_u$ um die Variablen in vorheriger Gleichung zu reduzieren.

$$A_g = c \cdot \frac{A_a - A_g}{1 - V} \cdot V = c \cdot \frac{V}{1 - V} (A_a - A_g) \iff (1 + c \cdot \frac{V}{1 - V}) \cdot A_g = c \cdot \frac{V}{1 - V} \cdot A_a$$

Um es etwas handlicher zu haben setzen wir: $v_c := c \cdot \frac{V}{1 - V}$

Dann können wir notieren:

$$A_g = \frac{v_c}{1 + v_c} A_a$$

¹¹Bitte beachten sie das je länger die Zeitperiode, um so träger werden die Veränderungen. So kann es gut sein das eine 2-Wochen oder 4-Wochen Inzidenz noch ansteigend ist, wo die 7-Tage Inzidenz schon wieder sinkend ist. Andersrum unterschätzt die 4-Wochen Inzidenz das Infektionsgeschehen in einer Phase des Anstiegs.

¹²Dies ist eine persönliche Abschätzung. Diese ist nicht durch andere Quellen gestützt.

1.7.1 Inzidenz nach Impfstatus bei Senioren – Beispiel 41–44 Meldewoche

Die Altersgruppenabgrenzung ohne Extrapolation ist für Senioren auf Basis der Daten in **RKI nach Alter und Meldewoche** möglich. Aus den dort angegebenen Fallzahlen und Inzidenz der 44 Meldewoche ergibt sich zurückgerechnet eine zugrunde gelegte Zahl von 24089339 Senioren. Für den Zeitraum der Meldewochen 41–44 wurden folgende Daten erfasst.

Tabelle 4: Daten aus Meldewochen 41–44

Kriterium	Fallzahl	Fallzahl normiert nach Im
symptomatisch Geimpft	22973	
symptomatisch Ungeimpft	14762	
ohne Angaben zu Impfstatus und Symptomatik	74580	
„gemessene“ asymptotische Infektionen ohne Impfstatus ¹³	36845	
4-Wochen Inzidenz Senioren / 100.000	310	
gemittelte Wochen Inzidenz Senioren / 100.000	77.5	

Benutzen wir nun die Formeln zur Abschätzung

- $v_c := c \cdot \frac{V}{1-V}$
- $A_g = \frac{v_c}{1+v_c} A_a$

Tabelle 5: Geschätzte Inzidenz für Senioren in Meldewochen 41–44

Schätzfaktor c	v_c	A_g	A_u	$F_g + A_g$	$\frac{J_g}{4}$	$F_u + A_u$	$\frac{J_u}{4}$
0.05	0.34	9349	27496	32322	38	42258	342
0.1	0.68	14913	21932	37886	45	36694	297
0.5	3.40	28471	8374	51444	61	23136	187

Beobachtungen:

- Wir haben hier einen Zeitraum betrachtet in der die allgemeine Inzidenz im Mittel für Senioren bei 77,5 gelegen hat.
- Die Inzidenz der geimpften Senioren dürfte im Bereich 38-61 gelegen haben.
- Für die ungeimpften Senioren dürfte in dieser Zeit die Inzidenz im Bereich 169-302 gelegen haben.

Diese Beobachtungen übersetzt für eine allgemeine Inzidenz von 100 bedeutet:

- Inzidenz geimpfter Senioren: 49–88
- Inzidenz ungeimpfter Senioren: 218–390

¹³Bitte beachten das wegen dem unterschiedlichen Testregime hier kein Rückschluss auf die wirkliche Fallzahl möglich ist.

Etwas salopper formuliert:

- Als Geimpfter bewerten sie lieber die Gefahrenlage anhand ihrer Erfahrungen vor der Impfung auf Basis von **mindestens der halben** allgemeinen Inzidenz.
- Als Ungeimpfter bewerten sie lieber die Gefahrenlage anhand ihrer Erfahrungen von 2020/21 auf Basis der **doppelten** bis **vierfachen** Inzidenz.

1.8 Alterung der Schutzwirkung

Die Wirkung der Covid-19 Impfung lässt im Laufe der Zeit nach. Dieses spiegelt sich auch in den Fallzahlen der Impfdurchbrüche (laut Robert-Koch-Institut) wieder. Die folgende Grafik zeigt die daraus resultierende Minderung der *Schutzwirkung*.

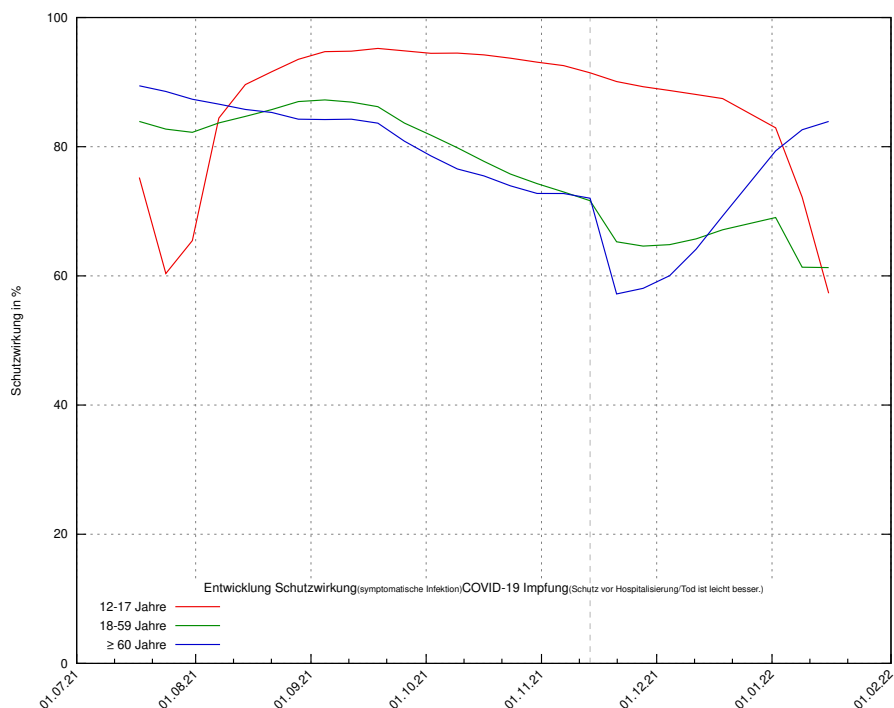


Abbildung 1: Entwicklung Schutzwirkung vor symptomatischer Infektion anhand Impfdurchbrüche laut RKI

Die grau gestrichelte senkrechte Linie gibt die geänderte [Datenbasis zu Impfquoten](#) an.

Bei der zeitlichen Entwicklung sind folgende Phasen zu beobachten.

1. Anfangs (hier insbesondere bei Altersgruppen 12–17) ist die Datenlage gering und die daraus errechnete Schutzwirkung ist stark volatil und neigt zur Unterschätzung.

2. Mit besserer Datenlage (Altergruppe 12–17, 18–59) stabilisiert sich die errechnete Schutzwirkung und erreicht ein erstes Maximum.
3. Nachfolgend altert die Wirkung der Impfung und entsprechend lässt die Schutzwirkung nach. **Dies ist bei allen Altersgruppen die aktuelle Entwicklung.** Hierbei wird dieser Effekt zuerst noch gedämpft durch neue Impfungen.
4. Mit stärkerem Anteil an *Auffrischungsimpfungen* steigt die Schutzwirkung wieder an. (*Derzeit noch nicht ablesbar.*)

Daneben haben selbstverständlich auch Änderungen in der Datenerfassung einen Einfluss.

„Da für einen Teil der COVID-19-Fälle die Angaben zum Impfstatus unvollständig sind, ist von einer Untererfassung der geimpften COVID-Fälle auszugehen. In Folge dessen kann in den bisherigen Berechnungen die Impfeffektivität in einigen Fällen überschätzt worden sein. Ab dem 30.09.2021 werden daher für die Berechnung der Impfeffektivität nur noch jene COVID-19-Fälle berücksichtigt, für die eine Angabe zum Impfstatus vorliegt. Diese methodische Anpassung hat zu einer Aktualisierung der in Tabelle 4 berichteten Daten und in einigen Fällen zu niedrigeren Schätzern der Impfeffektivität im Vergleich mit früheren hier berichteten Berechnungen geführt.“¹⁴

Für den *Übertragungsschutz*, d.h. die Schutzwirkung vor jedweder – auch asymptomatischer – Infektion, ist ein annähernd paralleler Verlauf der Alterung zu erwarten. Der Übertragungsschutz ist wie in [[#Uebertragungsschutz][Abschnitt „Asymptomatische Infektionen und Übertragungsschutz“] erklärt jedoch immer geringer als die Schutzwirkung vor symptomatischer Infektion.

Eine Studie aus Schweden (Nordström/Ballin – University of Umea – Preprint, d.h. Review noch nicht erfolgt) ¹⁵ sagt das nach 211 Tagen keine Schutzwirkung mehr statistisch nachweisbar ist. 211 Tage entsprechen ~7 Monaten. Für Impfungen mit AstraZeneca (AZD1222) verkürzt sich dies auf ~4 Monate (121 Tage).

Unter diesem Blickwinkel sollte vorstehende Grafik interpretiert werden, da hier die Schutzwirkung im Kollektiv angegeben ist. Dieses beinhaltet „frische“ Impfungen und „alte“ Impfungen, die schon mehr als 6 Monate zurückliegen.

¹⁴Siehe *Wöchentlicher COVID-19-Lagebericht vom 07.10.2021*, Seite 19.

¹⁵Nordström, Peter and Ballin, Marcel and Nordström, Anna, Effectiveness of Covid-19 Vaccination Against Risk of Symptomatic Infection, Hospitalization, and Death Up to 9 Months: A Swedish Total-Population Cohort Study. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3949410> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3949410>



Info

Der RKI Wochenbericht weiß auch Daten zur Schutzwirkung der Booster-Impfung auf. Dies ist sinnvoll zur Bewertung der verbesserten Schutzwirkung gerade in vulnerablen Alter. Zudem wird das „Altern“ der Schutzwirkung bei Auffrischungsimpfung besser messbar.

Für den „Herdenschutz“ und die Belastung des Gesundheitssystems abzuschätzen sind diese Daten jedoch nicht hilfreich. Hier reicht die Trennung in die Populationen Geimpft und Ungeimpft, also die „allgemeine Alterung“.

1.9 Zeitreihe der RKI-Daten

Die folgenden Fallzahlen wurden aus den Wochenberichten des Robert-Koch-Institut extrahiert. Sie beziehen sich jeweils auf einem rollierenden Zeitraum der jeweils letzten 4 Kalenderwochen.

Um eine Fehleinordnung dieser Daten zu vermeiden ist die errechnete *Schutzwirkung* hinzugefügt. Siehe hierzu auch den [Abschnitt „Alterung der Schutzwirkung“](#).

1.9.1 Impfdurchbrüche



Info

Der Wochenbericht vom Silvester 2021 war ein „Kurzbericht“ und publizierte keine Daten zum Impfdurchbrüchen. Der Zeitraum der Meldewochen 48–51 2021 fehlt damit in der Übersicht.

[Download der obigen Daten.](#)

1.9.2 Impfquoten

Für die Berechnungen sind bei älteren Berichten die Daten Impfquoten aus den Wochenberichten entnommen. Für neuere Berichte – seit dem Wochenbericht vom 18.11.2021 (Meldewochen 42–45) – sind diese Daten nicht mehr im Zusammenhang mit den Impfdurchbrüchen notiert.

Seit dem stammen die verwendeten Impfquoten aus den vom RKI unter https://github.com/robert-koch-institut/COVID-19-Impfungen_in_Deutschland publizierten (täglichen) Impfquoten.

In obigen Daten fehlen Feiertage und Samstage. Daher sind für die nachfolgende Berechnung die fehlenden Daten durch die Werte des Vortages ergänzt.

Wir definieren die extrapolierte Impfquote für den Zeitraum von 4 Wochen (28 Tage) wie folgt.

Tabelle 6: Zeitreihe Impfdurchbruch und Impfquote laut RKI Wochenbericht – Altersgruppe 12–17 Jahre

Bericht Datum	von	bis	symptomatisch	Impfdurchbruch	Impfquote	Schutzwirkung
22.07.2021	2021-25	2021-28	3000	9	1,20 %	75,23
29.07.2021	2021-26	2021-29	3167	19	1,50 %	60,37
05.08.2021	2021-27	2021-30	4714	33	2,00 %	65,46
12.08.2021	2021-28	2021-31	3692	48	7,80 %	84,43
19.08.2021	2021-29	2021-32	5053	57	9,90 %	89,62
26.08.2021	2021-30	2021-33	7609	86	12,00 %	91,62
02.09.2021	2021-31	2021-34	11071	125	15,00 %	93,53
09.09.2021	2021-32	2021-35	14575	166	17,90 %	94,72
16.09.2021	2021-33	2021-36	17331	227	20,30 %	94,79
23.09.2021	2021-34	2021-37	18702	265	23,10 %	95,22
30.09.2021	2021-35	2021-38	16764	297	25,90 %	94,84
07.10.2021	2021-36	2021-39	15901	357	29,30 %	94,46
14.10.2021	2021-37	2021-40	15362	404	32,90 %	94,49
21.10.2021	2021-38	2021-41	15495	474	35,30 %	94,22
28.10.2021	2021-39	2021-42	17342	621	37,10 %	93,70
04.11.2021	2021-40	2021-43	20282	848	38,70 %	93,09
11.11.2021	2021-41	2021-44	23119	1102	40,20 %	92,55
18.11.2021	2021-42	2021-45	28361	1579	40,78 %	91,44
25.11.2021	2021-43	2021-46	31265	2103	42,11 %	90,09
02.12.2021	2021-44	2021-47	34293	2593	43,30 %	89,29
09.12.2021	2021-45	2021-48	37193	3078	44,40 %	88,70
16.12.2021	2021-46	2021-49	36876	3336	45,49 %	88,08
23.12.2021	2021-47	2021-50	35174	3481	46,67 %	87,45
06.01.2022	2021-49	2021-52	24528	3517	49,50 %	82,92
13.01.2022	2021-50	2022-01	23009	5167	51,01 %	72,19
20.01.2022	2021-51	2022-02	23627	7582	52,54 %	57,31

Tabelle 7: Zeitreihe Impfdurchbruch und Impfquote laut RKI Wochenbericht – Altersgruppe 18–59 Jahre

Bericht Datum	von	bis	symptomatisch	Impfdurchbruch	Impfquote	Schutzwirkung
22.07.2021	2021-25	2021-28	11390	934	35,70 %	83,91 %
29.07.2021	2021-26	2021-29	16358	1734	40,70 %	82,72 %
05.08.2021	2021-27	2021-30	45223	5742	45,00 %	82,22 %
12.08.2021	2021-28	2021-31	30184	4105	49,10 %	83,68 %
19.08.2021	2021-29	2021-32	38829	5736	53,10 %	84,69 %
26.08.2021	2021-30	2021-33	52352	8317	57,00 %	85,75 %
02.09.2021	2021-31	2021-34	69452	11746	61,00 %	86,99 %
09.09.2021	2021-32	2021-35	85750	15410	63,20 %	87,24 %
16.09.2021	2021-33	2021-36	98223	19145	64,90 %	86,91 %
23.09.2021	2021-34	2021-37	102490	21813	66,20 %	86,20 %
30.09.2021	2021-35	2021-38	91608	23056	67,30 %	83,66 %
07.10.2021	2021-36	2021-39	87348	24780	68,50 %	81,79 %
14.10.2021	2021-37	2021-40	85408	26979	69,60 %	79,83 %
21.10.2021	2021-38	2021-41	90371	31386	70,50 %	77,73 %
28.10.2021	2021-39	2021-42	108011	40467	71,20 %	75,77 %
04.11.2021	2021-40	2021-43	132583	52617	71,90 %	74,28 %
11.11.2021	2021-41	2021-44	159647	66396	72,50 %	72,99 %
18.11.2021	2021-42	2021-45	196421	84523	72,70 %	71,64 %
25.11.2021	2021-43	2021-46	207476	101201	73,28 %	65,28 %
02.12.2021	2021-44	2021-47	229768	114849	73,85 %	64,61 %
09.12.2021	2021-45	2021-48	243648	123240	74,43 %	64,84 %
16.12.2021	2021-46	2021-49	245177	124483	75,06 %	65,73 %
23.12.2021	2021-47	2021-50	232734	117859	75,74 %	67,14 %
06.01.2022	2021-49	2021-52	162761	83654	77,35 %	69,03 %
13.01.2022	2021-50	2022-01	156638	86554	76,16 %	61,34 %
20.01.2022	2021-51	2022-02	152044	89906	78,89 %	61,28 %

Tabelle 8: Zeitreihe Impfdurchbruch und Impfquote laut RKI Wochenbericht –
 Altersgruppe ≥ 60 Jahre

Bericht Datum	von	bis	symptomatisch	Impfdurchbruch	Impfquote	Schutzwirkung
22.07.2021	2021-25	2021-28	1065	180	35,70 %	89,43
29.07.2021	2021-26	2021-29	1285	275	40,70 %	88,55
05.08.2021	2021-27	2021-30	1792	493	45,00 %	87,35
12.08.2021	2021-28	2021-31	2383	753	49,10 %	86,59
19.08.2021	2021-29	2021-32	3176	1134	53,10 %	85,77
26.08.2021	2021-30	2021-33	4342	1673	57,00 %	85,30
02.09.2021	2021-31	2021-34	5934	2383	61,00 %	84,26
09.09.2021	2021-32	2021-35	7941	3323	63,20 %	84,20
16.09.2021	2021-33	2021-36	10195	4360	64,90 %	84,26
23.09.2021	2021-34	2021-37	12137	5410	66,20 %	83,64
30.09.2021	2021-35	2021-38	12410	6084	67,30 %	80,86
07.10.2021	2021-36	2021-39	13345	7015	68,50 %	78,58
14.10.2021	2021-37	2021-40	14631	8100	69,60 %	76,55
21.10.2021	2021-38	2021-41	16699	9522	70,50 %	75,48
28.10.2021	2021-39	2021-42	21928	12910	71,20 %	73,94
04.11.2021	2021-40	2021-43	29316	17735	71,90 %	72,76
11.11.2021	2021-41	2021-44	37735	22973	72,50 %	72,75
18.11.2021	2021-42	2021-45	49280	30348	72,70 %	72,02
25.11.2021	2021-43	2021-46	51212	36552	73,28 %	57,20
02.12.2021	2021-44	2021-47	57233	40788	73,85 %	58,07
09.12.2021	2021-45	2021-48	59596	42085	74,43 %	60,03
16.12.2021	2021-46	2021-49	58702	40313	75,06 %	64,13
23.12.2021	2021-47	2021-50	54019	35494	75,74 %	69,27
06.01.2022	2021-49	2021-52	32915	18907	77,35 %	79,35
13.01.2022	2021-50	2022-01	26262	14108	76,16 %	82,62
20.01.2022	2021-51	2022-02	21042	10995	78,89 %	83,91

Definition 1.2 – Extrapolation Impfquote auf Meldezeitraum

Seien V_0, \dots, V_{27} die täglichen Impfquoten.

Als die Impfquote des 28-Tages Zeitraum setzen wir:

$$V^* := \frac{\sum_{i \in \{0, \dots, 27\}} V_i * (28 - i)}{\sum_{i \in \{0, \dots, 27\}} (28 - i)} = \frac{\sum_{i \in \{0, \dots, 27\}} V_i * (28 - i)}{406}$$

Die „älteren“ Impfquoten werden dadurch etwas bevorzugt, was der Annahme entspricht das die Infektion mit höherer Wahrscheinlichkeit vor oder früh im betrachteten Meldezeitraum geschah.

Es gilt somit $V_1 \leq V^* \leq \frac{V_1 + V_{28}}{2}$ da die Impfquoten monoton steigend sind.

Tabelle 9: Durchschnittliche Impfquoten im Berichtszeitraum

von Meldewoche	bis Meldewoche	Alle	12–17	18–59	≥ 60
2021-38	2021-41	64,28 %	33,53 %	69,91 %	84,25 %
2021-39	2021-42	64,94 %	35,93 %	70,75 %	84,50 %
2021-40	2021-43	65,47 %	37,72 %	71,45 %	84,72 %
2021-41	2021-44	65,98 %	39,32 %	72,10 %	84,94 %
2021-42	2021-45	66,45 %	40,78 %	72,70 %	85,14 %
2021-43	2021-46	66,90 %	42,11 %	73,28 %	85,35 %
2021-44	2021-47	67,32 %	43,30 %	73,85 %	85,54 %
2021-45	2021-48	67,76 %	44,40 %	74,43 %	85,74 %
2021-46	2021-49	68,22 %	45,49 %	75,06 %	85,94 %
2021-47	2021-50	68,72 %	46,67 %	75,74 %	86,18 %
2021-48	2021-51	69,30 %	48,02 %	76,51 %	86,44 %
2021-49	2021-52	69,92 %	49,50 %	77,35 %	86,73 %
2021-50	2022-01	70,53 %	51,01 %	78,16 %	86,98 %
2021-51	2022-02	71,09 %	52,44 %	78,89 %	87,18 %

2 Impfung und Schutzmaßnahmen

Das gesellschaftliche Risiko ist die Ausbreitung der Infektionen. Hierbei gibt es 3 Eskalationstufen: Deutschland hat bisher die Pandemie in der 1. Eskalationstufe bewältigt. Andere Länder hatten nicht soviel Glück.

1. Gesundheitssystem nicht überlastet – alle Erkrankten können adäquat versorgt werden.
2. Gesundheitssystem teilweise überlastet – insbesondere intensivmedizinische Versorgung nicht mehr gesichert für alle Erkrankten.
3. Gesundheitssystem überlastet – auch einfache Krankenhaus bzw. ärztliche Versorgung nicht mehr gesichert für alle Erkrankten.

Obige Schutzwirkungen vor schweren Erkrankungen und Tod verstehen sich vor der Annahme, dass auch weiterhin keine Überlastung des Gesundheitssystems vorliegen wird. Ohne eine entsprechende medizinische Versorgung wird die Schutzwirkung vor schweren Erkrankungen und Tod sich der Schutzwirkung vor Infektion annähern und daher geringer ausfallen.

Darüber hinaus bedeutet eine Überlastung des Gesundheitssystems auch eine erhöhte Anzahl von schweren Verläufen und Todesfällen sowohl bei Covid-19 Patienten, wie auch **bei allen anderen Krankheiten**.

Ziel aller Regeln haben daher das Ziel eine Überlastung des Gesundheitssystems zu vermeiden. Alte Regeln wie die „Bundesnotbremse“ waren rein auf der Inzidenz basiert. Neuere Regeln wie die **26. Corona-Bekämpfungsverordnung Rheinland-Pfalz** nutzen zudem die Hospitalisierungsinzidenz und die Auslastung der Intensivbetten. Die zusätzlichen Indikatoren sind jedoch von fragwürdigem Nutzen, da sie getrieben vom allgemeinen Infektionsgeschehen diesem in Abstand von mehreren Wochen hinterherläuft.

Richtig wäre die neuen Indikatoren heranzuziehen um Maßnahmen die sich an Inzidenzwerten ausrichten zu justieren – quasi als Feedback Schleife. Richtig ist das Impfung nicht nur einen Einfluss auf das Infektionsgeschehen sondern auch darüber hinaus auf Hospitalisierung hat. Dieser fällt aber mit einem Vorteil von ca. 10% gegenüber der allgemeinen Schutzwirkung vor Infektion eher gering aus. Es scheint bei der Übertragung der Delta-Variante keinen wesentlichen Unterschied zu geben, ob der infizierte Kontakt ungeimpft ist oder einen Impfdurchbruch hat.¹⁶ Daher werden wir in nachfolgender Darstellung bei den Überträgern des Covid-19 Virus in beiden Gruppen keinen Unterschied machen.

2.1 Ziele der Schutzmaßnahmen

Hier haben wir 2 Arten von Schutzmaßnahmen zu unterscheiden.

Begrenzung Kontakte/Teilnehmeranzahl Hier ist Ziel ein Covid-19 infizierter mit möglichst wenig Menschen in Kontakt tritt. Es macht einen Unterschied ob eine infizierte Person Teil einer Skatrunde, einer Schulklasse oder einer Großveranstaltung ist. Je größer die Veranstaltung um so mehr Menschen treten mit ihm in Kontakt.

Verringerung der Übertragung In dem Fall das ein Kontakt nicht vermieden wurde, soll so die Anzahl der hierdurch infizierten gesenkt werden. In der Regel wird hierrunter die **AHA Regel** (Abstand,Hygiene,Alltag mit Maske) verstanden. Zudem kann dies durch weitere Maßnahmen wie Lüften unterstützt werden.

2.2 Rechenmodelle

Zur Beurteilung von 2G/3G-Regeln wir folgenden Rechenmodell nutzen, das die Anzahl der Neuinfektionen N aufgrund eines Ereignisses (z.Bsp. Restaurantbesuch, Fußballstadium,...) beschreibt.

¹⁶Die (zum Glück) kleine Gruppe der Genesenen ist im Vergleich zu den Geimpften relativ klein. Wir unterscheiden sie daher nicht gesondert.

Teilnehmer T, T_g, T_u Die an einem Ereignis teilnehmenden Personen.

Überträger („Carrier“) C_g, C_u Der treibende Faktor für Neuinfektionen sind nicht die erkannten und isolierten Infektionen, sondern die unerkannten und nicht in Quarantäne befindlichen Überträger. Dementsprechend sei C_g, C_u der **mittlere Anteil** der unerkannten Covid-19 Überträgern der Geimpften bzw. Ungeimpften. Diese Zahl ist leider nicht messbar.¹⁷ Man kann diese Anzahlen jedoch versuchen abzuschätzen anhand folgender Parameter:

Inzidenzen I_g, I_u Inzidenz allgemein bzw. getrennt nach Impfstatus. Siehe hier auch [Abschnitt „Inzidenz der Geimpften“](#).

Dunkelziffer d Faktor zu Abschätzung des Verhältnisses der erkannten Neuinfektionen gemittelt über einige Tage zur tatsächlich „jetzt“ vorhandenen unerkannten Covid-19 Infektionen.

Also $C_g = I_g \cdot d$ und $C_u = I_u \cdot d$.

Schutzwirkung der Impfung $W = 1 - \omega$ 68 % – siehe [Abschnitt „Impfquote und Schutzwirkung“](#)

Befallsrate (ohne Impfung) r Abschätzung wie viele Personen unter den Bedingungen des Ereignis von einem Überträger im Mittel infiziert werden. Hierbei wird davon ausgegangen das keine Immunisierung (Impfung, Genesen) der Teilnehmer vorliegt. Hier gibt es Beobachtung aus den ersten Wellen die solche Abschätzungen prinzipiell ermöglichen. Dieser Faktor r ist ähnliche der **Befallsrate**, aber nicht auf die gesamte Dauer in der eine Infektion übertragbar ist. Hier ist nur der Zeitraum des Ereignisses betrachtet und angenommen das die Übertragung nicht durch Hygienekonzepte abgesenkt werden.

Schutzmaßnahmen s Der Faktor, in dem Schutzmaßnahmen wie AHA-Regeln, die Übertragung ($\rightarrow r$) absenken.

Wir modellieren hier also:

Infektionsgeschehen aktuell C_g, C_u

Größe des Ereignisses T

Übertragbarkeit Covid-19 r

Schutz durch Impfung $W = 1 - \omega$

Schutz durch Hygienekonzept s

¹⁷Ideen wir Abschätzung anhand Viruslasten im Abwasser einer Region sind bisher nicht genügend ausgereift. Statistische „Befragungen“ mittels PCR-Test eines zufällig ausgewählten Kollektivs werden in Deutschland auch nicht durchgeführt. Daher bleibt nur die Abschätzung aufgrund der erkannten Neuinfektionen, d.h. der Inzidenz.

Ohne eine Immunisierung würde das Rechenmodell lauten:

$$N_0 := \left(\underbrace{T \cdot U}_{\text{Überträger}} \right) \cdot \underbrace{r \cdot s}_{\text{Übertragung}}$$

Mit der Unterscheidung zwischen immunisierten (Geimpft/Getestet) und nicht-immunisierten adaptiert sich das Modell:

$$N_G := \left(\underbrace{(T_u \cdot C_u) + (T_g \cdot C_g)}_{\text{Überträger}} \right) \cdot \underbrace{r \cdot s}_{\text{Übertragung}} \cdot \left(\underbrace{\frac{T_g}{T} \cdot \omega}_{\text{Impfschutz}} + \frac{T_u}{T} \cdot 1 \right)$$

Info

Das Modell macht auch noch einmal klar das wir beim Mechanismus der Übertragung nicht unterscheiden können zwischen Ungeimpft und Geimpft. Die Übertragung findet immer in der „gemischten“ Gruppe statt.

Für die weiteren Rechnungen setzen wir zur Vereinfachung die Schutzwirkung w auf 68 %, einem Wert zwischen den beiden älteren Altersgruppen.¹⁸ Damit beträgt die Schutzlücke ω 32 %.

2.2.1 2G-Regel

Das Hauptproblem an der *2G-Regel* ist das Genesene und Geimpfte als Überträger ignoriert werden. Die Wahrscheinlichkeit das eine aktuell infizierte Person an einer Veranstaltung nach 2G-Regel teilnimmt entspricht dem Anteil der aktuell infizierten unter den Geimpften/Genesenen. Damit korreliert diese Anzahl mit der Inzidenz der Geimpften und (siehe auch [Abschnitt „Inzidenz der Geimpften“](#)).

Nach [Abschnitt „Impfquote und Schutzwirkung“](#) müssen wir erwarten das in einer Veranstaltung, an der nur Genesene und Geimpfte teilnehmen, ein Anteil von ω der Teilnehmer infiziert werden können.

Nehmen wir eine aktuell infizierte Person an, die bei Veranstaltung nach 2G-Regel mit 50 Personen in der Art interagiert, das sich die Infektion ohne Impfung vollständig überträgt (d.h. $r = s = 1$). In diesem Szenario wären bei einer Schutzwirkung von 68 % weitere 9 (statt 50) Neuinfektionen zu erwarten

Das dies leider auch Realität ist zeigte eine 2G-Party im September 2021 in einem Club in Münster mit 380 Gästen und weiterem Personal. Ergebnis sind mindestens 85 infizierte Personen, also ein noch höhere Anzahl als die nach obiger Rechnung zu erwarten wäre.¹⁹

¹⁸Bei der Abschätzung wurde die implizite Annahme getätigt das die Schutzwirkung bei Jugendlichen aufgrund der noch sehr frischen Impfungen verzerrt ist.

¹⁹Siehe <https://www1.wdr.de/nachrichten/westfalen-lippe/corona-infektionen-clubbesuch-muenster-100.html>.

Die Anzahl der Personen mit denen in einer Art interagiert wird, in der eine Übertragung des Virus möglich wird ist jedoch stark abhängig von den sonstigen Schutzmaßnahmen ($\rightarrow s$). Gelten weiterhin Schutzmaßnahmen wie Mindestabstand, Durchlüftung, Maskenpflicht ist die Anzahl der Auswirkungen eines Überträgers in einer 2G Veranstaltung deutlich geringer.

Obiges Rechenmodell können wir für einen ausschließlichen 2G-Teilnehmerkreis (also $T_u = 0$) vereinfachen zu:

$$N_{2G} := \underbrace{T_g \cdot C_g}_{\text{Überträger}} \cdot \underbrace{r \cdot s}_{\text{Übertragung}} \cdot \underbrace{\omega}_{\text{Schutzlücke}}$$

2.2.2 3G-Regel

Die obige Kritik gilt auch hier. Die Auswirkungen sind durch die erhöhte Transmission bei ungeimpften Personen als Empfänger jedoch deutlicher.

Wir verhalten sich Getestet zur Geimpft? Wir haben hier 2 Unsicherheitsfaktoren.

1. *Zeitfenster nach Test.*

Der Test spiegelt nicht das aktuelle Ergebnis wieder. Der Anteil so eingetragener infizierter kann aber kleiner als der Anteil der in den letzten 24–72 Stunden neu infizierten. Wir ignorieren dies in dieser Darstellung.

2. *Falsch-Negatives Ergebnis.*

Nach Ghoshal, U., Vasanth, S. & Tejan, N. A guide to laboratory diagnosis of Corona Virus Disease-19 for the gastroenterologists. *Indian J Gastroenterol* 39, 236–242 (2020) beträgt die Spezifität 63%.

Um diese Unsicherheit des Tests zu modellieren müssen wir einen weiteren Parameter „Testfehler“ t einführen der den Anteil beim Test unerkannter oder nach Test infizierten Personen angibt.²⁰ Die Zahl t beschreibt eine Wahrscheinlichkeit, also $0 \leq t \leq 1$. Nach obiger Studie wäre $t = 1 - 0,63 = 0,37$ ein Abschätzung.

Eine Verringerung des Testfehlers ist möglich durch:

- die Steigerung der Qualität der Anwendung
- die Verwendung von PCR anstelle von Antigen-Schnelltest
- Verkürzung des *Zeitfenster nach Test*, also die Verringerung der Gültigkeitsdauer eines Tests.

Damit adaptiert sich das Rechenmodell wie folgt:

²⁰Damit ist auch klar das der Übergang zu kürzerer Gültigkeit eines Testergebnisses oder Verwendung von Verfahren höherer Güte (PCR-Test, qualifizierteres Personal) die Anzahl der zu erwartenden neuen Infektionen senkt.

$$N_{3G} := \left(\underbrace{(T_u \cdot C_u \cdot t) + (T_g \cdot C_g)}_{\text{Überträger}} \right) \cdot \underbrace{r \cdot s}_{\text{Übertragung}} \cdot \left(\underbrace{\frac{T_g}{T} \cdot \omega}_{\text{Impfschutz}} + \frac{T_u}{T} \cdot 1 \right)$$

Für den Fall $T_u = 0$ gilt $N_{2G} = N_{3G}$ – also ist das 2G-Rechenmodell im 3G-Rechenmodell enthalten.

2.2.3 Vergleich 2G und 3G

Die Neuinfektionen eines Ereignisses werden durch 2 Aspekte beeinflusst:

1. Angetrieben durch die Anzahl der (teilnehmenden) Überträger:

$$\underbrace{(T_u \cdot C_u \cdot t) + (T_g \cdot C_g)}_{\text{Überträger}}$$

2. Gebremst durch die Schutzwirkung der Impfung:

$$\underbrace{\frac{T_g}{T} \cdot \omega}_{\text{Impfschutz}} + \frac{T_u}{T} \cdot 1$$

Die „Bremse“ ist immer teilweise gelöst, wenn Ungeimpfte zu den Teilnehmern gehören.

Betrachten wir den „Antrieb“. Nach [Abschnitt „Impfquote und Schutzwirkung“](#) gilt für die Inzidenz der Geimpften I_g und Ungeimpften I_u :

$$\omega = \frac{I_g}{I_u}$$

Nach [Definition](#) zuvor können wir über die „Dunkelziffer“ C_g, C_u aus der Inzidenz abschätzen, also:

$$C_g = d \cdot I_g \text{ und } C_u = d \cdot I_u$$

Damit gilt:

$$\frac{C_g}{C_u} = \frac{I_g \cdot d}{I_u \cdot d} = \frac{I_g}{I_u} = \omega \iff C_g = \omega \cdot C_u$$

Also können wir die Anzahl der Überträger auch wie folgt ausdrücken:

$$(T_u \cdot C_u \cdot t) + (T_g \cdot \omega \cdot C_u)$$

Im Vergleich zur ersten Formulierung können wir daher erkennen das der „Antrieb“ – die Zahl der Überträger – bei 3G größer (also schlechter) wird, wenn gilt:

$$t > \omega$$

Damit ist klar das wenn der „Testfehler“ t die Schutzlücke ω überschreitet wird (im Mittel) die Anzahl der Überträger größer sein bei einem Ereignis nach 3G-Regel.

Bei der derzeitigen *Schutzwirkung* von 68 %, bzw. der Gegenwahrscheinlichkeit *Schutzlücke* von 32 % müsste der Test mindestens 68 % der Überträger erkennen. Nach der obigen Studienlage ist dies jedoch zu bezweifeln.

Anmerkung

Die „Dunkelziffer“ d wurde nur bei der Berechnung der resultierenden Neuinfektionen nach 2G bzw. 3G Regel benötigt. Beim Vergleich beider Modelle „kürzt“ sich dieser Faktor aus der Berechnung. Das obige Kriterium $t > \omega$ ist damit unabhängig von der „Dunkelziffer“.

2.2.4 Doppel-G – Getestet und Geimpft

In der Diskussion wird das folgende Modell auch als $2G+$ bezeichnet. Jedoch wurde diese Bezeichnung in der Vergangenheit auf für eine Mischung von $2G$ -Regel und $3G$ -Regel verwendet. Daher wird hier die Bezeichnung *Doppel-G-Regel* verwendet.

Die Idee ist das die *Schutzwirkung* der Impfung mit einem Testregime verbunden wird. Bezeichne t wie in [Abschnitt „3G-Regel“](#) den Testfehler der bestimmt ist durch Qualität des Testverfahren und seiner Anwendung sowie die Gültigkeit eines Testergebnisses.

Die Gleichung aus [Abschnitt „2G-Regel“](#) erweitert sich dadurch zu:

$$N_{dG} := \underbrace{T_g \cdot C_g \cdot t}_{\text{Überträger}} \cdot \underbrace{r \cdot s}_{\text{Übertragung}} \cdot \underbrace{\omega}_{\text{Schutzlücke}}$$

Die Verringerung der Übertragungen, ist wie intuitiv auch erwartet, um die Wirksamkeit des Testverfahrens verringert.

Eine *Doppel-G-Regel* ist dadurch stabiler als eine *2-Regel* – ohne ein Testregime – gegen Einflüsse wie:

- Verringerte Schutzwirkung der Impfung durch Alterung
- Auftreten neuer Mutationen gegen die der Impfstatus der Bevölkerung schlechter schützt. Hier ist ein Beispiel der Sprung der **Immunevasion** von Delta → Omikron.



Vorsicht

Die *2G+-Regel* ist jedoch keine *Doppel-G-Regel*, sondern eher eine *3G-Regel*.

- Frisch Geimpfte sind von Tests ausgenommen.
- Die „Alt-Geimpften“ werden nun wie die Ungeimpften in der *3G-Regel* getestet.
- Ungeimpfte unter einer Altersgrenze (Kinder und Jugendliche) werden wie „Alt-Geimpfte“ behandelt.
- Erwachsene Ungeimpfte werden ausgeschlossen.

3 Unterschätzung Impfquote / COVIMO

Die (zuvor genutzte) Impfquote entstammt den wöchentlichen Situationsberichte des Robert-Koch-Institut und sind dort nach dem **Digitalen Impfquotenmonitoring zur COVID-19 Impfung (DIM)** entnommen. In Ergänzung führt das Robert-Koch-Institut regelmäßig eine **Telefonumfrage zur Covid-19 Impfung (COVIMO)** durch.

Der Report zur 7. Umfrage bewertet die Ergebnisse wie folgt:

„Die auf Grundlage der COVIMO-Daten berechneten Impfquoten stellen vermutlich eine Überschätzung dar, die nicht näher quantifiziert werden kann. Die im Digitalen Impfquoten-Monitoring (DIM) erfassten Impfquoten lagen im gleichen Zeitraum ca. 10-12 Prozentpunkte niedriger. Ergebnisse aus diesem Survey sowie weiterführende Überlegungen legen wiederum nahe, dass die im DIM berichtete Impfquote als Mindest-Impfquote zu verstehen ist und eine Unterschätzung von bis zu 5 Prozentpunkten für den Anteil mindestens einmal Geimpfter bzw. vollständig Geimpfter angenommen werden kann. Mit dieser Berücksichtigung kann derzeit von einer Impfquote in der Erwachsenenbevölkerung von bis zu 84 % mindestens einmal und bis zu 80 % vollständig Geimpfter ausgegangen werden.“

Die 7. Umfrage wurde am 06.10.2021 veröffentlicht und berichtet für den Befragungszeitraum 26.07. bis 18.08.2021. Folgende Limitationen wurden angegeben:

- „In dieser Studie wurden nur deutschsprachige Personen befragt, die telefonisch (mobil oder Festnetz) erreichbar sind. Es ist daher möglich, dass kleine Subgruppen, die gegebenenfalls besonders vulnerabel sind, nicht erreicht wurden. Das bedeutet nicht, dass diese Bevölkerungsgruppen nicht relevant sind; es ist beispielsweise denkbar, dass in kleinen, aber besonders

vulnerablen Gruppen bestimmte Barrieren bei der Impfanspruchnahme vorliegen (bspw. Obdachlosigkeit), die mit dieser Studie nicht aufgedeckt werden können.“

- „Die Stichprobengröße von etwa $n = 1005$ Personen ermöglicht viele Analysen, allerdings ist die Anzahl Befragter für bestimmte Subgruppenanalysen zu klein, sodass Aussagen auf Bundeslandebene beispielsweise nicht möglich sind.“
- „Es handelt sich um selbstberichtete Angaben der Befragten. Weitere wichtige Komponenten der Impfkativitäten, wie zum Beispiel Abläufe impfender Stellen können mit diesem Studiendesign nicht erfasst und in der Interpretation nur begrenzt berücksichtigt werden“

Quintessenz

Die reale Impfquote wird zwischen den Angaben der wöchentlichen Situationsberichte (DIM) und der Umfrageergebnissen (COVIMO).

Wie nachfolgend aufgezeigt liegt auch die *Schutzwirkung* der Covid-19 Impfung entsprechend höher.

3.1 Auswirkung auf errechnete Schutzwirkung

In Abschnitt „[Impfquote und Schutzwirkung](#)“ wurde die *Schutzlücke* bestimmt als:

$$\omega := \frac{I_g}{I_u} = \frac{F_g}{F_u} \cdot \frac{1 - V}{V}$$

Neben den Fallzahlen geht hier die Impfquote in die Rechnung ein. Seien c der Korrekturbetrag um die den Impfquote V zu korrigieren ist, dann gilt für die ebenfalls zu korrigierende Schutzlücke:

$$\omega_c := \frac{F_g}{F_u} \cdot \frac{1 - (V + c)}{V + c} \text{ und } W_c := 1 - \omega_c$$

Der Ausdruck $\frac{1-V}{V}$ ist „monoton fallend“, d.h. die Schutzlücke als Funktion von V ist auch „monoton fallend“ und entsprechend die Schutzwirkung „monoton steigend“. Dieser Zusammenhang ist in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Für die Schutzwirkung vor Hospitalisierung, Behandlung Intensivstation und Tod (siehe [Abschnitt „schwere Erkrankung und Tod“](#)) steigt die Schutzwirkung analog.

Tabelle 10: Unterschätzte Impfquote \rightarrow korrigierte Schutzwirkung

c	W_c für 12-17	W_c für 18-59	W_c für ≥ 60
0	0.573	0.613	0.839
1	0.590	0.636	0.853
2	0.606	0.658	0.867
3	0.622	0.680	0.881
4	0.637	0.701	0.894
5	0.651	0.722	0.907

4 Lizenz

Dieses Werk ist lizenziert unter einer **Creative Commons** „Namensnennung – Nicht-kommerziell – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International“ Lizenz.



Dies umfasst insbesondere die hier enthaltenen Texte und Diagramme und verlinkten Dateien mit Endung `.c42-data`. Die hier verwendeten Daten des Robert-Koch-Institutes sind aus den veröffentlichten Wochenberichten entnommen.

Index

- 2-Regel, 27
- 2G+-Regel, 28
- 2G-Regel, 24, 27
- 2G-Regeln, 3
- 3G-Regel, 3, 27, 28

- Doppel-G-Regel, 27, 28

- Impfdurchbruch, 4, 9, 10
- Impfquote, 11
- Impfstoffeffektivität, 6
- Impfstoffwirksamkeit, 5
- Impfung
 - Auffrischung, 16

- Booster, 16
- Infektion
 - asymptomatisch, 9
 - symptomatisch, 9

- Long-Covid, 4

- Schutzlücke, 5, 11, 27, 29
- Schutzwirkung, 5, 6, 8–12, 15, 17, 27, 29

- Virus of Concern, 9

- Übertragungsschutz, 8–10, 16
- Übertragungsschutz, 8

Tabellenverzeichnis

1	Symptomatischen Covid-19 Erkrankungen der Personen ab 60 Jahren in Meldewochen 51–2.	4
2	Impfquote und Schutzwirkung in Meldewochen 51–2.	6
3	Inzidenzfaktoren zur Umrechnung der (symptomatischen) Inzidenz nach Schutzwirkung und Impfquote	11
4	Daten aus Meldewochen 41–44	14
5	Geschätzte Inzidenz für Senioren in Meldewochen 41–44	14
6	Zeitreihe Impfdurchbruch und Impfquote laut RKI Wochenbericht – Altersgruppe 12–17 Jahre	18
7	Zeitreihe Impfdurchbruch und Impfquote laut RKI Wochenbericht – Altersgruppe 18–59 Jahre	19
8	Zeitreihe Impfdurchbruch und Impfquote laut RKI Wochenbericht – Altersgruppe ≥ 60 Jahre	20
9	Durchschnittliche Impfquoten im Berichtszeitraum	21
10	Unterschätzte Impfquote \rightarrow korrigierte Schutzwirkung	30