

Corona-Impfungen: Was 95 % Wirksamkeit bedeuten – und was nicht

JULIA OLLESCH, GEORG BRUCKMAIER, MARKUS VOGEL UND STEFAN KRAUSS,
HEIDELBERG, WINDISCH, HEIDELBERG UND REGENSBURG

Zusammenfassung: Inzidenzen, R-Wert, Anzahl von Hospitalisierungen, Corona-Ampel, Wirksamkeit der Impfstoffe – beim Thema COVID-19 wird mit Zahlen und Statistiken geradezu um sich geworfen. Doch was bedeuten all diese Zahlen im Detail?

Die polarisierende Debatte um Vorzüge, Wirksamkeiten und Nebenwirkungen von Impfstoffen macht deutlich, dass eine angemessene Interpretation der Daten nicht immer ganz einfach ist. Dies zeigt sich nicht zuletzt darin, dass es einem Großteil der Bevölkerung schwerfällt, die Statistiken zur Wirksamkeit angemessen zu deuten.

In diesem Artikel wollen wir Berechnungen zur Wirksamkeit der Impfstoffe gegen COVID-19 und die damit verbundenen Probleme bzw. Fehlinterpretationen genauer betrachten und diesbezügliche Anregungen für den Mathematikunterricht präsentieren.

1 Einleitung

COVID-19 und die damit verbundene Pandemie machen in drastischer Weise deutlich, wie wichtig ein Grundverständnis von Stochastik im Alltag ist. Denn die Nachrichten sind geprägt von Zahlen, angefangen bei der Anzahl von Neuinfektionen pro Tag und verschiedenen Inzidenzwerten über die Reproduktionszahl R bis hin zur Wirksamkeit von Impfstoffen. All diese Zahlen müssen aber erst im Sachkontext interpretiert und verstanden werden. Die unzähligen Debatten und die vielfältig kursierenden Interpretationen, die zu empirischen Studien im Zusammenhang mit COVID-19 entstanden sind, verdeutlichen, dass Statistiken mit Bedacht und Sorgfalt zu lesen sind.

Zwischen März 2020 und Dezember 2021 wurden in der Rubrik *Unstatistik des Monats* vom Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung 17 von insgesamt 22 Statistiken zum Thema COVID-19 veröffentlicht (siehe <https://www.rwi-essen.de/unstatistik>). Darunter handelten allein drei Beiträge von der Wirksamkeit der Impfstoffe, die aktuell zugelassen sind.¹ Die Häufigkeit, mit denen das Thema COVID-19 sowie die entsprechenden Impfstoffe in diesen Beiträgen repräsentiert sind, veranschaulicht, wie immens die Schwierigkeiten beim Interpretieren der Daten und wie weit verbreitet Fehlinterpretationen sind.

Die Berechnungen zur Wirksamkeit der Impfstoffe, aus denen gemeinsam mit der Impfquote z. B. die 2G- bzw. 3G-Regelung mit Folgen für die persönliche

Sicherheit und gesellschaftlichen Einschränkungen abgeleitet werden, beschreibt der vorliegende Artikel detaillierter. Der Fokus liegt dabei vor allem darauf, im Stochastikunterricht in der Schule Daten als Zahlen im Kontext zu verstehen, um Missverständnissen vorzubeugen, wie sie z. B. zu Beginn der Impfkampagne in Deutschland in den kontroversen Diskussionen um den Impfstoff AstraZeneca aufgetreten sind.

2 Wirksamkeit

2.1 Zum Begriff *medizinische Wirksamkeit*

Der Begriff *Wirksamkeit* ist in vielen Domänen zu finden, wie etwa in den Bereichen Medizin, Jura und Ökonomie. In diesem Artikel soll es spezifisch um Wirksamkeit im medizinischen Kontext gehen. Ganz allgemein kann die (medizinische) Wirksamkeit bezeichnet werden als *Grad des Schutzes vor einer Krankheit* (vgl. Vogel 2021). Neben der Wirksamkeit gibt es noch den verwandten Begriff des *Nutzens* einer Impfung. Köbberling (2009) betont, dass diese Trennung nur sinnvoll sei, „sofern man die Wirksamkeit nicht ausschließlich im Hinblick auf einen angestrebten Nutzen definiert“ (S. 250). Im Falle der Impfung gegen COVID-19 ist der angestrebte Nutzen klar definiert: Zum einen wird die Wirksamkeit im Hinblick auf eine *Erkrankung an sich* geprüft, und zum anderen im Hinblick auf einen *schweren Verlauf*, das heißt, der Nutzen kann über zweierlei Arten von Wirksamkeit bemessen werden (vgl. Tab. 1 und 2).

Während bei einigen Krankheiten wie Masern der Grad des Schutzes über die Anzahl an Antikörpern bestimmt werden kann, ist dies bei anderen Krankheiten wie COVID-19 nicht eindeutig möglich. Denn zum einen können trotz einer Impfung (bzw. Infektion) keine Antikörper messbar sein und zum anderen können umgekehrt auch durchaus Antikörper (von anderen Corona-Viren) vorhanden sein (BZgA 2021). Wie funktionieren nun aber Verfahren, mit denen man die Wirksamkeit eines Impfstoffes prinzipiell ermitteln kann, ohne dabei auf die Antikörperanzahl zurückzugreifen?

Für den Nachweis der Wirksamkeit hat sich ein Verfahren etabliert, das diese über Vergleichsgruppen bestimmt: Bei je einer Gruppe geimpfter und einer gleich großen Gruppe ungeimpfter (bzw. mit einem Placebo geimpfter) Personen wird die Anzahl von An-

steckungen bzw. schweren Verläufen (d. h. Krankenhausaufenthalt) über einen jeweils gleich langen Zeitraum dokumentiert (Tab. 2; vgl. Vogel 2021). Aus den so zustande kommenden Daten wird die Wirksamkeit hinsichtlich des Schutzes vor einer Ansteckung bzw. einem schweren Krankheitsverlauf berechnet (für Details siehe Abschnitt 2.3). Es ist hingegen nicht sinnvoll, ausschließlich die reine Anzahl an *Neuerkrankungen trotz Impfung* (z. B. in ganz Deutschland) für die Wirksamkeit heranzuziehen, da in diesem Fall ein erforderlicher Bezugspunkt (hier: die Größe der beiden Vergleichsgruppen) fehlt (siehe hierzu auch Abschnitt 2.5). Bei der Angabe der Wirksamkeit sollte aufgrund des Anspruchs eines möglichst großen Geltungsbereichs medizinischer Kenngrößen außerdem eine Berechnung zugrunde liegen, die idealerweise unabhängig von weiteren Bedingungen wie etwa der Populationsgröße oder der Inzidenz (d. h. der Anzahl der neu auftretenden Erkrankungen innerhalb einer Personengruppe in einem bestimmten Zeitraum) ist.

Die Berechnungen zur Wirksamkeit beziehen sich stets auf die beiden zu vergleichenden Personengruppen, die als Stichproben herangezogen wurden, und die jeweiligen Anteile der Ansteckungen bzw. der schweren Verläufe in diesen beiden gleich großen Gruppen. Für die Berechnungen sollten im Hinblick auf die Gesamtpopulation möglichst repräsentative Stichproben gezogen und die Studienteilnehmer randomisiert den beiden Bedingungen (geimpft bzw. ungeimpft) zugeteilt werden.

In Abschnitt 2.3 identifizieren wir die Wirksamkeit zunächst als imaginäre bedingte Wahrscheinlichkeit und erläutern anschließend, warum dies genau der üblichen Interpretation der Wirksamkeit als relative Risikoreduzierung entspricht.

2.2 Wirksamkeit von COVID-19-Impfstoffen

Nach aktuellem Kenntnisstand weisen die beiden mRNA-Impfstoffe BioNTech und Moderna sowie die beiden Vektor-Impfstoffe AstraZeneca und Johnson & Johnson die in Tabelle 1 dargestellten Wirksamkeiten hinsichtlich eines Schutzes vor einer Erkrankung bzw. vor einem schweren Verlauf auf.

Zu Beginn der Impfkampagne kam der Impfstoff AstraZeneca, zusätzlich zu den zunächst unklaren Nebenwirkungen der Impfung (u. a. Thrombosegefahr), auch durch Missinterpretationen der Wirksamkeiten in Verruf (Müller 2021). Eine sehr hilfreiche Gegenüberstellung von Nutzen und Risiken von Impfungen findet sich z. B. in den Faktenboxen des Harding-Zentrums für Risikokompetenz (2021).

Wie der Blick auf Tabelle 1 zeigt, ist die (vergleichende) Bewertung der Wirksamkeit eines Impfstoffs zunächst abhängig vom Ziel, das man verfolgt: Soll eine Erkrankung möglichst gänzlich vermieden werden, sind die beiden mRNA-Wirkstoffe BioNTech und Moderna die bessere Wahl; geht es hingegen um die Vermeidung eines schweren Krankheitsverlaufs, sind die beiden Vektor-Impfstoffe AstraZeneca und Johnson & Johnson zu bevorzugen.

Die Wirksamkeiten der einzelnen Impfstoffe wurden ausgiebig in den Medien diskutiert, wobei es in der Bevölkerung häufig zu Fehlinterpretationen wie z. B. der Vermutung kam, dass eine Wirksamkeit von 80 % bedeute, dass lediglich 8 von 10 geimpften Menschen einen Schutz vor einer Erkrankung erhalten (Gigerenzer et al. 2021, Deutschlandfunk 2021). Stattdessen bedeutet eine 80 %-ige Wirksamkeit hinsichtlich einer Erkrankung, dass in Studien gezeigt werden konnte, dass in einer Gruppe mit geimpften Personen 80 % *weniger* Erkrankungen vorliegen als in einer gleich großen Gruppe ungeimpfter Personen (weitere Details zur Berechnung und Interpretation finden sich in Abschnitt 2.3).

Im Aufklärungsblatt des Robert Koch-Instituts (2021a) werden die Rechnungen, die zu den Zahlenangaben in Tabelle 1 führen, nicht im Detail erklärt. Es erfolgt im Anschluss an die numerischen Angaben lediglich folgender Hinweis: „Das bedeutet: Wenn eine mit einem COVID-19-Impfstoff vollständig geimpfte Person mit dem Erreger in Kontakt kommt, wird sie mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht erkranken.“ (ebd., S. 2). Dies mag als erste Information ausreichend sein. Um jedoch den irreführenden Diskussionen in der breiten Öffentlichkeit und möglichen Missinterpretationen vorzubeugen, ist weiteres Hintergrundwissen erforderlich.

Wirksamkeit gegen ...	mRNA-Impfstoff		Vektor-Impfstoff	
	BioNTech	Moderna	AstraZeneca	Johnson & Johnson
... Erkrankung	ca. 95 %	ca. 95 %	ca. 80 %	ca. 65 %
... schweren Verlauf, d. h. Krankenhausaufenthalt	ca. 85 %	ca. 85 %	ca. 95 %	ca. 100 %

Tab. 1: Regelmäßig aktualisierte Wirksamkeiten der verschiedenen Impfstoffe (hier: vom 24.09.2021 bzw. 09.08.2021) gemäß Robert Koch-Institut (2021a, 2021b)

Relevante Formeln für die vorliegenden Berechnungen (ableitbar aus Tab. 2):

Erkrankungsrisiken:

$$P(E|\neg I) = \frac{162}{21.500} \approx 0,753 \% \text{ bzw. } P(E|I) = \frac{8}{21.500} \approx 0,037 \%$$

Daraus folgt:

Absolute Risikoreduzierung:

$$P(E|\neg I) - P(E|I) \approx 0,75 \% - 0,04 \% = 0,71 \%$$

Relative Risikoreduzierung:

$$\frac{P(E|\neg I) - P(E|I)}{P(E|\neg I)} = 1 - \frac{P(E|I)}{P(E|\neg I)} = 1 - \frac{\frac{8}{21.500}}{\frac{162}{21.500}} = 1 - \frac{8}{162} \approx 100 \% - 4,9 \% = 95,1 \%$$

Kasten 1: Übersicht relevanter Formeln zur Berechnung der Risikoreduzierung

2.3 Die Wirksamkeit als imaginäre bedingte Wahrscheinlichkeit bzw. als relative Risikoreduzierung

Betrachtet man die Statistiken zur Wirksamkeit genauer, so kann man diese als *imaginäre bedingte Wahrscheinlichkeit* interpretieren: Bei der Berechnung der Wirksamkeit wird die Wahrscheinlichkeit betrachtet, dass eine bestimmte Person mit einer Impfung nicht erkrankt – unter der Bedingung, dass sie ohne die Impfung jedoch schon erkrankt wäre. Die Zahlen zur Wirksamkeit beruhen also alle auf der Annahme (d. h. *Bedingung*), dass eine bestimmte Person ohne Impfung *tatsächlich* erkrankt wäre. Diese Annahme ist jedoch unmöglich für ein und dieselbe Person zu prüfen, da eine bestimmte Person nicht gleichzeitig geimpft und ungeimpft sein kann. Die Berechnung einer entsprechenden *single event probability* in Bezug auf ein und dieselbe Person ist daher nicht möglich (vgl. Gigerenzer & Galesic 2012), da diese nur imaginär existiert. Eine frequentistische Interpretation dieser Wirksamkeit auf der Basis von Vergleichsgruppen ist jedoch durchaus möglich, wie im Folgenden erläutert wird.

Zum besseren Verständnis betrachten wir die Daten der Phase-III-Studie für den Impfstoff BioNTech (vgl. Tab. 2). Wie üblich für die Bestimmung der Wirksamkeit (vgl. Vogel 2021) wurden auch hier zur Ermittlung der Wirksamkeit zwei (etwa) gleich große Gruppen – im vorliegenden Fall mit je 21.500 Personen – betrachtet.

Während alle Personen aus der Kontrollgruppe nur ein Placebo erhielten (ungeimpft: $\neg I$), wurden diejenigen aus der Impfgruppe tatsächlich mit dem Impfstoff BioNTech geimpft (I). Über einen gewissen Zeitraum (in diesem Fall bis zu 7 Tage nach der zweiten Dosis) ließen sich in beiden Gruppen nun folgende Verteilungen von COVID-19-Erkrankun-

gen (E) feststellen: In der Kontrollgruppe erkrankten 162 Personen ($E|\neg I$), während in der Impfgruppe nur 8 Personen erkrankten ($E|I$). Prozentual entspricht dies einem Anteil von 0,75 % in der Kontrollgruppe und einem Anteil von 0,04 % in der Impfgruppe (für genauere Zahlen vgl. Kasten 1).

Diesen Unterschied kann man nun im Wesentlichen aus zwei Blickwinkeln betrachten, die aus der Impfung (im Vergleich zur vermeintlichen Impfung mit dem Placebo-Präparat) resultieren: Zum einen lässt sich die *absolute* Risikoreduzierung berechnen, zum anderen die *relative* Risikoreduzierung. Die absolute Risikoreduzierung zeigt Folgendes: Bei gleicher Stichprobengröße hat sich durch die Impfung das Ansteckungsrisiko um lediglich 0,71 % vermindert (vgl. Kasten 1).

Das entspricht noch nicht annähernd den vom RKI berechneten 95 % (vgl. Tab. 1). Dies liegt daran, dass für die Wirksamkeit nicht die absolute, sondern die relative Risikoreduzierung berechnet wurde, für welche die Bezugsgröße verändert werden muss: Man betrachtet nicht mehr die gesamte Gruppe von jeweils 21.500 Personen, sondern wählt als Referenzgruppe

Phase-III-Studie	Gesamtstichprobe: 43.000 Personen	
Randomisierung	21.500 Ungeimpfte ($\neg I$)	21.500 Geimpfte (I)
<i>innerhalb eines 7-Tage-Zeitraums nach der zweiten Dosis</i>		
Nicht Erkrankte ($\neg E$)	21.338	21.492
Erkrankte (E)	162	8
Schwerer Verlauf	9	1

Tab. 2: Daten aus der Phase-III-Studie zur Wirksamkeit des Impfstoffs BioNTech (BioNTech 2020)

die Erkrankten in der (ungeimpften) Kontrollgruppe – in diesem Fall entspricht dies genau 162 Personen. Nun sind in der Gruppe der Geimpften lediglich 8 Personen erkrankt, womit das Ansteckungsrisiko nach einer Impfung mit BioNTech bezogen auf die gewählte Referenzgröße relativ gesehen nur noch $\frac{8}{162}$, d. h. rund 5 %, beträgt (vgl. Kasten 1). Das Risiko, an COVID-19 zu erkranken, vermindert sich mit dem Impfstoff BioNTech demnach *absolut* um 0,71 % und *relativ* um 95 %. Die Wirksamkeiten der anderen Impfstoffe (vgl. Tab. 1) ergeben sich durch analoge Berechnungen.

Warum wird die relative und nicht die absolute Risikoreduzierung angegeben, um die Wirksamkeit eines Impfstoffs zu kommunizieren? Zum einen liegt das wohl daran, dass eine Aussage wie „Der Impfstoff hat eine Wirksamkeit von 95 %“ (relative Änderung) deutlich imposanter (und auch plausibler) klingt als „Der Impfstoff hat eine Wirksamkeit von 0,71 %“ (absolute Änderung). Zum anderen – und zugleich viel wesentlicher – ist dies darauf zurückzuführen, dass zwar die relative, nicht jedoch die absolute Änderung *unabhängig von der Inzidenz* ist und somit bei jeder beliebigen Inzidenz Gültigkeit hat.

Wie bereits anhand der Werte aus Tabelle 2 in Kasten 1 dargestellt, entspricht die absolute Risikoreduzierung etwa 0,71 %. Steigt nun die Inzidenz, so verändert sich diese Zahl. Gehen wir z. B. von einer Verzehnfachung der Erkrankten aus, so würden (rein rechnerisch betrachtet) 1.620 Erkrankte in der Gruppe der Ungeimpften und 80 in der Gruppe der Geimpften auftreten. Die absolute Risikoreduzierung wäre in diesem Fall demnach das Zehnfache von 0,71 %.

Betrachtet man hingegen die relative Risikoreduzierung, so ergibt sich auf der Grundlage derselben Verzehnfachung wieder das gleiche Ergebnis wie mit den Zahlen aus Tabelle 2, d. h. eine Wirksamkeit von ca. 95 %. Die relative Risikoreduzierung ist folglich nicht nur unabhängig von der Größe der Stichprobe, sondern gleichzeitig von der Inzidenz.

Alternativ zur Angabe der Wirksamkeit in Prozent könnte man auch ein Chancenverhältnis (*Odds Ratio*) angeben. Betrachtet man beispielsweise das Verhältnis der Wahrscheinlichkeiten *ohne* vs. *mit* Impfung zu erkranken, so ergibt sich eine ca. 20 Mal höhere „Chance“ an COVID-19 zu erkranken, wenn man nicht geimpft ist (vgl. Kasten 2). Dieses Chancenverhältnis, das in inverser Form auch bereits bei der Berechnung der relativen Risikoreduzierung auftrat (vgl. Kasten 1), ist wieder unabhängig von Stichprobengröße und Inzidenz.

2.4 Validierung von Wirksamkeiten im Unterricht

In der Unterstufe werden in der Regel absolute und relative Häufigkeiten eingeführt – bereits hier können relative und absolute Risikoreduzierungen mit konkreten Zahlen behandelt werden (d. h. nur auf der Basis von absoluten Anzahlen und Anteilen, noch ohne das Wahrscheinlichkeitskonzept). Zu einem späteren Zeitpunkt des Spiralcurriculums kann die Thematik um (un)abhängige Kenngrößen erweitert werden, auch mit Hilfe des Konzepts der bedingten Wahrscheinlichkeiten.

Die in Tabelle 1 aufgeführten Werte, welche ja zunächst nur klinischen Studien entstammen, lassen sich laufend anhand der aktuellen Daten der deutschen Bevölkerung – also der Gesamtpopulation (!) – validieren: Betrachtet man z. B. die sogenannte *7-Tage-Inzidenz* (d. h. die Zahl der Neuerkrankungen pro 100.000 Personen innerhalb eines Zeitraums von 7 Tagen) getrennt für Geimpfte und Ungeimpfte, ergeben sich zu den Werten in Tabelle 1 vergleichbare Werte für die Wirksamkeit (vgl. www.rki.de). Findet man etwa, dass diese Inzidenz für Ungeimpfte bis zu 10 Mal höher als bei Geimpften ist (Thüringer Ministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit, Frauen und Familie 2021), kann dies im Unterricht mit Schülerinnen und Schülern diskutiert werden.

Stichprobenverzerrungen (z. B. überdurchschnittlich hohe Impfquote bei vulnerablen Personen, unterschiedliche Testquoten bei Geimpften und Ungeimpften), nachlassender Impfschutz, unterschiedliches Risikoverhalten von Geimpften und Ungeimpften, (besonders wirksame) Kreuzimpfungen sowie neue und verschiedene Virusvarianten können mögliche Abweichungen erklären und bieten im Unterricht Raum für Diskussionen und Anlass zum Argumentieren. Auch die Legitimation von Auffrischungsimpfungen („Booster“) wird angesichts des nur eingeschränkt verfügbaren Impfstoffes und der niedrigen Impfquoten in vielen anderen Ländern vor allem auch von deren Wirksamkeit abhängen. So kommt im Unterricht zum mathematischen auch noch ein ethischer Aspekt der Wirksamkeit hinzu, mit dem man sich gegebenenfalls auch fächerübergreifend auseinandersetzen kann.

Alternative Darstellung:
Wirksamkeit als Chancenverhältnis

$$\frac{P(E|\neg I)}{P(E|I)} = \frac{162}{8} = 20,25$$

Kasten 2: Wirksamkeit als Chancenverhältnis

2.5 Weiterführende Fragen

Warum wählt man für die Wirksamkeit nicht einfach die Wahrscheinlichkeit, nach einer Impfung zu erkranken? Warum ist ein Vergleich zwischen zwei Gruppen notwendig? Auf diese Schülerfrage (die einer gängigen Fehlinterpretation der Wirksamkeit entspricht, siehe auch Gigerenzer & Weiler 2020) wäre im Unterricht folgendes Gedankenspiel hilfreich: Nehmen wir einmal an, die Wahrscheinlichkeit, nach einer Impfung zu erkranken, würde $\frac{4}{1000}$ betragen.

Um dies als Wirksamkeit zu beurteilen, käme es nun eben genau noch darauf an, wie groß die allgemeine Wahrscheinlichkeit zu erkranken (d. h. ohne Impfung) in der Bevölkerung ist: Wäre diese nämlich ebenfalls $\frac{4}{1000}$, wäre die Wirksamkeit des Impfstoffes „gleich 0“ und diese dann sehr intuitive Aussage entspräche genau der Formel: $1 - \frac{4}{4} = 1 - 1 = 0$ (vgl. Beispielrechnung in Kasten 1). Deshalb wird die Wahrscheinlichkeit, mit Impfschutz zu erkranken, bei der relativen Risikoreduktion mit der allgemeinen Erkrankungswahrscheinlichkeit in Beziehung gesetzt.

Wäre diese allgemeine Wahrscheinlichkeit nun z. B. nur $\frac{2}{1000}$, wäre der Impfstoff sogar schädlich. Alleine die Wahrscheinlichkeit, nach einer Impfung zu erkranken, ist also quasi eine „Nullaussage“ (und ohne den Bezug zu einer Gruppe Ungeimpfter völlig bedeutungslos).

Eine weitere Frage einer Schülerin oder eines Schülers könnte sein, wie es möglich ist, dass die Wirksamkeit gegenüber einer Erkrankung bei den mRNA-Impfstoffen größer als die Wirksamkeit gegenüber einem schweren Verlauf ist (Tab. 1), während es bei den Vektor-Impfstoffen genau umgekehrt ist. Hier könnte man im Unterricht erläutern, dass dies kein Fehler oder Paradox ist, sondern dass beide Wirksamkeiten in der Tat unabhängig variieren können: Auch wenn die Hospitalisierten eine Teilmenge der Erkrankten sind, kann die diesbezügliche Wirksamkeit kleiner, größer oder gleich 95 % sein (vgl. BioNTech 2020): Aus Tabelle 2 ist ersichtlich, dass von den 162 ungeimpft Erkrankten 9 ins Krankenhaus kamen und von den 8 Geimpften einer. Nun kann man in einem weiteren Gedankenspiel diese „eins“ variieren lassen. Angenommen, von den Geimpften kämen ins Krankenhaus:

a) 2: → Wirksamkeit gegen schweren Verlauf wäre:

$$1 - \frac{2}{8} = 75 \%$$

b) 1: → Wirksamkeit gegen schweren Verlauf wäre:

$$1 - \frac{1}{8} = 87,5 \%$$

c) 0: → Wirksamkeit gegen schweren Verlauf wäre:

$$1 - \frac{0}{8} = 100 \%$$

Man sieht hier nicht nur, dass das Verhältnis eines Krankenhausaufenthaltes in beiden Gruppen völlig unabhängig vom generellen Verhältnis der Erkrankten in beiden Gruppen ist, sondern auch, dass bei solch kleinen Zahlen ein einzelner Krankenhauspatient mehr oder weniger einen großen Unterschied in der Wirksamkeit machen kann.

3 Ausblick

Das Thema Corona ist für den Stochastikunterricht natürlich nicht nur im Hinblick auf die Wirksamkeit von Impfstoffen interessant. Vielmehr gibt es eine ganze Reihe von Begriffen und Konzepten, die in diesem Zusammenhang diskutiert werden könnten (z. B. R-Wert, Umschwenken von Inzidenz zu Corona-Ampel). Ein zentrales Thema ist beispielsweise auch die Aussagekraft von Corona-Tests. Hier können die Sensitivität und die Spezifität von PCR- oder Schnelltests und die Bedeutung eines positiven Testergebnisses im Unterricht beim Thema Satz von Bayes (bzw. bei den Pfadregeln) diskutiert werden. Aber auch ohne das Wahrscheinlichkeitskalkül ist eine Behandlung medizinischer Tests bereits auf der Basis von absoluten und relativen Häufigkeiten in der Unterstufe möglich (Krauss et al. 2020).

Eine Vernetzung zur Wirksamkeit von Impfstoffen wäre hier das Prinzip der angestrebten *Unabhängigkeit medizinischer Kennwerte* von möglichst vielen weiteren Einflussgrößen: Genau so, wie die Wirksamkeit eines Impfstoffes als relative Risikoreduzierung unabhängig von der Inzidenz ist, sind die Sensitivität und die Spezifität eines Testverfahrens unabhängig von der Prävalenz einer Krankheit.

Dies führt direkt zu einem weiteren wichtigen Aspekt, nämlich der präzisen Unterscheidung von Prävalenz und Inzidenz. Während die Prävalenz die Erkrankungsraten in einer bestimmten Population zu einem bestimmten Zeitpunkt bezeichnet (d. h. den Anteil Erkrankter), gibt die Inzidenz die Neuerkrankungsraten in einer bestimmten Population in einem bestimmten Zeitraum an. Entsprechend gibt die 7-Tages-Inzidenz die Neuerkrankungsraten in einer bestimmten

Population in einem Zeitraum von 7 Tagen an (ohne bereits vorher Erkrankte mitzuzählen).

Im Zusammenhang mit COVID-19 ist in jedem Fall deutlich geworden, wie wichtig es ist, dass einschlägige Kennwerte und Statistiken von allen korrekt verstanden werden. Dies gilt umso mehr, als dass schwer verständliche und demnach leicht – ob unbewusst oder auch absichtlich – falsch interpretierbare Daten missbräuchlich verwendet werden können, um unbegründete Ängste zu schüren oder die Bevölkerung umgekehrt in unberechtigter Sicherheit zu wiegen.

Anmerkungen

- 1 Dies sind derzeit die Impfstoffe von BioNTech, Moderna, AstraZeneca und Johnson & Johnson. Aus pragmatischen Gründen verwenden wir statt der Bezeichnungen der Impfstoffe diejenigen der Hersteller.

Literatur

- BioNTech (2020). Pfizer und BioNTech schließen Phase-3-Studie erfolgreich ab: Impfstoffkandidat gegen COVID-19 erreicht alle primären Endpunkte. <https://investors.biontech.de/de/news-releases/news-release-details/pfizer-und-biontech-schliessen-phase-3-studie-erfolgreich-ab-0>. (Zugriff: 23.12.2021)
- BZgA (2021). Immunität: Wann gelte ich als geschützt gegen COVID-19? <https://www.infektionsschutz.de/coronavirus/basisinformationen/wann-gelte-ich-als-geschuetzt-gegen-covid-19.html#tab-4846-0>. (Zugriff: 23.12.2021)
- Deutschlandfunk (2021). Was über Wirksamkeit und Nebenwirkungen bekannt ist. https://www.deutschlandfunk.de/debatte-um-impfstoff-von-astrazeneca-was-ueber-wirksamkeit.2897.de.html?dram:article_id=492732#wirksamkeit. (Zugriff: 23.12.2021)
- Gigerenzer, G.; Krämer, W.; Schüller, K.; Bauer, T. K. (2021). Wie wirksam und sicher ist die AstraZeneca-Impfung? Unstatistik vom 31.03.2021. <https://www.rwi-essen.de/unstatistik/113>. (Zugriff: 23.12.2021)
- Gigerenzer, G.; Galesic, M. (2012). Why do single event probabilities confuse patients? In: *BMJ* (Clinical Research Ed.), 344, e245. <https://doi.org/10.1136/bmj.e245>.
- Gigerenzer, G.; Weiler, S. (2020). Der Impfstoff ist „zu 90 Prozent wirksam“. Unstatistik vom 02.12.2020. <https://www.rwi-essen.de/unstatistik/109>. (Zugriff: 23.12.2021)
- Harding-Zentrum für Risikokompetenz (2021). mRNA-Schutzimpfung gegen COVID-19. <https://www.hardingcenter.de/de/mrna-schutzimpfung-gegen-covid-19>. (Zugriff: 11.11.2021)
- Köbberling, J. (2009). Wirksamkeit, Nutzen und Notwendigkeit – Versuch einer wissenschaftlichen Definition. In: *Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen* 103(5), S. 249–252.
- Krauss, S.; Weber, P.; Binder, K.; Bruckmaier, G. (2020). Natürliche Häufigkeiten als numerische Darstellungsart von Anteilen und Unsicherheit – Forschungsdesiderate und einige Antworten. In: *Journal für Mathematik-Didaktik*, 41(2), S. 485–521.
- Müller, C. (2021). Macht der AstraZeneca-Impfstoff mehr Nebenwirkungen als mRNA-Impfstoffe? <https://www.deutsche-apotheker-zeitung.de/news/artikel/2021/03/08/macht-der-astrazeneca-impfstoff-mehr-nebenwirkungen-als-mrna-impfstoffe>. (Zugriff: 23.12.2021)
- Robert Koch Institut (2021a). Aufklärungsmerkblatt. Zur Schutzimpfung gegen COVID-19 (Corona Virus Disease 2019) – mit mRNA-Impfstoffen –. https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Impfen/Materialien/Downloads-COVID-19/Aufklaerungsbogen-de.pdf?__blob=publicationFile. (Zugriff: 24.09.2021)
- Robert Koch Institut (2021b). Aufklärungsmerkblatt. Zur Schutzimpfung gegen COVID-19 (Corona Virus Disease 2019) – mit Vektor-Impfstoffen –. https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Impfen/Materialien/Downloads-COVID-19-Vektorimpfstoff/Aufklaerungsbogen-de.pdf?__blob=publicationFile. (Zugriff: 09.08.2021)
- Thüringer Ministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit, Frauen und Familie (2021). Inzidenz bei Ungeimpften zehnmal höher als bei vollständig Geimpften. <https://www.tmasgff.de/medienservice/artikel/inzidenz-bei-ungeimpften-zehnmal-hoehere-als-bei-vollstaendig-geimpften>. (Zugriff: 23.12.2021)
- Vogel, P. U. B. (2021). COVID-19: Suche nach einem Impfstoff. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Anschrift der Verfasser

Julia Ollesch
Institut für Mathematik und Informatik
Pädagogische Hochschule Heidelberg
Im Neuenheimer Feld 561
69120 Heidelberg
j.ollesch@ph-heidelberg.de

Georg Bruckmaier
Institut Sekundarstufe I und II
Pädagogische Hochschule Nordwestschweiz
Bahnhofstrasse 6
CH-5210 Windisch
georg.bruckmaier@fhnw.ch

Markus Vogel
Institut für Mathematik und Informatik
Pädagogische Hochschule Heidelberg
Im Neuenheimer Feld 561
69120 Heidelberg
vogel@ph-heidelberg.de

Stefan Krauss
Lehrstuhl Didaktik der Mathematik
Universität Regensburg
Universitätsstraße 31
93053 Regensburg
Stefan.Krauss@ur.de