

Internist 2022 · 63:476–483
<https://doi.org/10.1007/s00108-022-01324-w>
Angenommen: 23. März 2022
Online publiziert: 4. April 2022
© The Author(s), under exclusive licence to
Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von
Springer Nature 2022

Redaktion
Ivo Grebe, Aachen



Impfungen für das Immungedächtnis – immer wieder oder einmalig?

Clara Lehmann

Klinische Infektiologie, Innere Medizin I, Uniklinik Köln, Köln, Deutschland

In diesem Beitrag

- Ist eine natürliche Immunität besser als eine durch Impfung erworbene Immunität?
- Warum müssen einige Impfungen aufgefrischt werden?
- Welche Rolle spielt die Herdenimmunität?
- Warum können nicht alle Infektionskrankheiten eradiziert werden wie die Pocken?
- Brauchen Impfstoffe die Hilfe von T-Zellen?
- Welche Rolle spielt das Immungedächtnis für den Schutz durch Impfstoffe?
- Welche Faktoren beeinflussen den Impfschutz?
- Was muss bei Immundefizienz und Impfung beachtet werden?
- Wann kann eine passive Immunisierung helfen?

Zusammenfassung

Dank der Wirksamkeit von Impfstoffen sind einige besonders bedrohliche Infektionskrankheiten selten geworden. Allerdings sind Impfstoffe inzwischen Opfer ihres eigenen Erfolgs. Aufgrund unzureichender Zustimmung und unzureichender Impfquoten besteht die Gefahr, dass die Wirksamkeit von Impfungen als Präventionsmaßnahme immer mehr schwindet. Im Jahr 2019 stufte die Weltgesundheitsorganisation daher Zweifel an der Wirksamkeit von Impfstoffen als eine der zehn größten Gesundheitsgefahren weltweit ein. Im vorliegenden Beitrag wird auf wichtige Fragen zu Impfungen und Impfstoffen sowie zu ihren Wirkungen im Wechselspiel mit dem Immunsystem eingegangen. Behandelt werden folgende Themen: Vergleich der natürlichen und der durch Impfung erworbenen Immunität; Faktoren, die eine Auffrischungsimpfung erforderlich machen; Rolle der Herdenimmunität; Voraussetzungen für das Gelingen einer Erkrankungseradikation; Einfluss verschiedener T-Zellen auf die Impfwirkung; Rolle des Immungedächtnisses; Faktoren, die den Impfschutz beeinflussen; Impfungen bei Immundefizienz; Potenzial und Einsatzbereiche der passiven Immunisierung. Im Angesicht der Coronapandemie und der laufenden Impfkampagne ist zu hoffen, dass eine allgemeine Renaissance der Impfungen gegen Infektionskrankheiten einsetzt.

Schlüsselwörter

Herdenimmunität · Immungedächtnis · Immundefizienz · Aktive Impfung · Passive Impfung

Dank der Wirksamkeit von Impfstoffen sind einige besonders bedrohliche Infektionskrankheiten selten geworden. Die meisten von uns werden die verheerenden Folgen vieler durch Impfung vermeidbarer Krankheiten wahrscheinlich nicht selbst erleben. Allerdings sind die Impfstoffe inzwischen Opfer ihres eigenen Erfolgs geworden. Das Gefühl der Sicherheit, das sie uns vermittelt haben, hat ihre konsequente Anwendung weniger dringend erscheinen lassen. Aufgrund unzureichender Zustimmung und unzureichender Impfquoten besteht daher die Gefahr, dass die Wirksamkeit von Impfungen als Präventionsmaßnahme immer mehr schwindet. Anfang 2019 führten beispielsweise niedrige Impfraten in Europa dazu, dass Masern wieder häufig beobachtet wurden, nachdem frühere Impfungen die kontinuierliche Übertra-

gung im Land gestoppt hatten [1]. Im Jahr 2019 stufte die Weltgesundheitsorganisation (WHO) daher Zweifel an der Wirksamkeit von Impfstoffen als eine der zehn größten Gesundheitsgefahren weltweit ein [2].

Der Ausbruch der Coronapandemie im Jahr 2020 löste sowohl eine medizinische als auch eine gesellschaftliche Krise aus. So wie frühere Epidemien ein Katalysator für die Entwicklung gesellschaftlicher Meilensteine waren, beispielsweise der städtischen Wasserversorgung, wäre es sehr erstrebenswert, dass die Coronavirus-disease-2019(COVID-19)-Pandemie eine Renaissance der Impfungen gegen Infektionskrankheiten auslöst. Neben den vielen unbeantworteten Aspekten zur Impfung gegen das „severe acute respiratory syndrome coronavirus 2“ (SARS-CoV-2) gibt es jedoch auch viele andere Fragen in Be-



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

Hier steht eine Anzeige.



zug auf Impfungen und Impfstoffe im Allgemeinen. Einige werden im Folgenden behandelt.

Ist eine natürliche Immunität besser als eine durch Impfung erworbene Immunität?

Die natürliche Immunität hält in manchen Fällen offenbar länger an als eine Immunität, die durch Impfung erworben wird. Allerdings muss man sich immer wieder klarmachen, dass bei allen empfohlenen Impfstoffen die Risiken einer natürlichen Infektion größer sind als die Risiken einer Impfung. So führt eine natürliche Maserninfektion bei einem von 1000 Infizierten zu einer Enzephalitis und bei 2 von 1000 Infizierten zum Tod [3]. Im Gegensatz dazu verursacht der MMR-Kombinationsimpfstoff gegen Masern, Mumps und Röteln nur bei einem von 1 Mio. Geimpften eine Enzephalitis, verhindert aber gleichzeitig eine Maserninfektion. Der Nutzen der durch den Impfstoff erworbenen Immunität überwiegt bei Weitem die ernsthaften Risiken einer natürlichen Infektion. Schließlich bieten die Impfstoffe gegen *Haemophilus influenzae* Typ b (Hib) und Tetanus eine noch wirksamere Immunität als eine natürliche Infektion [4].

Warum müssen einige Impfungen aufgefrischt werden?

Es ist nicht vollständig geklärt, warum die Dauer der erworbenen Immunität bei den verschiedenen Impfstoffen unterschiedlich ist. Einige bieten mit nur einer Dosis lebenslange Immunität, während bei anderen Auffrischungen erforderlich sind, um die Immunität aufrechtzuerhalten [5]. Dies hängt von den unterschiedlichen Erregern und der jeweiligen Oberflächenstruktur ab. Zudem gibt es Hinweise, dass die Dauer der Immunität gegen eine bestimmte Krankheit auch von der Geschwindigkeit abhängt, mit der sich diese Krankheit im Körper ausbreitet [6]. Wenn eine Krankheit sehr schnell fortschreitet, kann die Gedächtnisreaktion des Immunsystems möglicherweise nicht schnell genug reagieren, um eine Infektion zu verhindern – es sei denn, das Immunsystem wurde erst vor Kurzem an die Krankheit „erinnert“. Auffrischungs-

impfungen dienen daher als „Erinnerung“ für das Immunsystem.

Welche Rolle spielt die Herdenimmunität?

Obwohl der direkte Schutz von Einzelpersonen durch Impfung im Mittelpunkt der meisten Impfstoffentwicklungen stand und für die Zulassung neuer Impfstoffe unbedingt nachgewiesen werden muss, hat sich gezeigt, dass eine wichtige zusätzliche Komponente des Impfschutzes die Herdenimmunität oder besser gesagt der „Herdschutz“ ist. Impfstoffe können nicht jedes Individuum in einer Population direkt schützen, da einige Individuen aus verschiedenen Gründen nicht geimpft werden und andere trotz Impfung keine Immunreaktion zeigen. Wenn jedoch genügend Personen in einer Population geimpft werden und die Impfung nicht nur die Entwicklung der Krankheit, sondern auch die Infektion selbst verhindert, kann die Übertragung des Erregers glücklicherweise unterbrochen werden und die Krankheitsinzidenz durch den indirekten Schutz von Personen, die ansonsten anfällig wären, weiter zurückgehen, als zu erwarten wäre.

Bei hochgradig übertragbaren Erregern wie etwa bei Masern oder Keuchhusten müssen etwa 95 % der Bevölkerung geimpft werden, um Krankheitsausbrüche zu verhindern, während bei weniger stark übertragbaren Erregern ein geringerer Prozentsatz der Durchimpfung ausreichen kann, um eine wesentliche Auswirkung auf die Krankheit zu haben; bei Polio, Röteln, Mumps oder Diphtherie etwa kann die Durchimpfung $\leq 86\%$ betragen. Bei der Influenza ist der Schwellenwert für die Herdenimmunität von Saison zu Saison sehr unterschiedlich und wird auch durch die Schwankungen in der Wirksamkeit der Impfstoffe von Jahr zu Jahr beeinträchtigt [7]. Ein bescheidener Durchimpfungsgrad von 30 bis 40 % wird sich wahrscheinlich auf saisonale Grippeepidemien auswirken, während ein Durchimpfungsgrad von $\geq 80\%$ wahrscheinlich optimal ist [8].

Ein Beispiel für den Erfolg der Herdenimmunität ist die Impfung von Kindern und jungen Erwachsenen (bis 19 Jahre) mit Kapselimpfstoff gegen Meningokokken der Gruppe C im Rahmen einer Mas-

senkampagne im Jahr 1999, die im Vereinigten Königreich sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern zu einer fast vollständigen Ausrottung der Krankheit führte [9]. Gegenwärtig besteht die Strategie zur Bekämpfung der Meningokokken der Kapselgruppen A, C, W und Y im Vereinigten Königreich in der Impfung von Jugendlichen, da diese hauptsächlich für die Übertragung verantwortlich sind und der Impfschutz dieser Altersgruppe zu einem Schutz der Gemeinschaft durch Herdenimmunität führt [10].

» Die Impfung der Bevölkerung mit Tetanustoxoid kann die Infektion eines ungeimpften Einzelnen nicht verhindern

Abgesehen vom Tetanusimpfstoff induzieren alle Impfstoffe im Routineimpfplan ein gewisses Maß an Herdenimmunität, die den Schutz der Bevölkerung erheblich über den Schutz hinaus erhöht, der durch die Impfung des Einzelnen allein erreicht werden könnte. Tetanus ist eine toxinvermittelte Krankheit. Sie wird durch die Infektion von Hautrisen erworben, die mit dem toxinproduzierenden Bakterium *Clostridium tetani* aus der Umwelt kontaminiert sind – die Impfung der Bevölkerung mit dem Tetanustoxoid wird also nicht verhindern, dass ein ungeimpfter Einzelner die Infektion bekommt, wenn er ihr ausgesetzt ist.

Der Impfstoff gegen humane Papillomviren (HPV) wurde ursprünglich eingeführt, um den durch HPV verursachten Gebärmutterhalskrebs zu bekämpfen, wobei sich die Impfprogramme ausschließlich an Mädchen richteten. Später stellte sich jedoch heraus, dass der Impfstoff auch heterosexuelle Jungen durch Herdenimmunität vor HPV-Infektionen schützt, was zu einer deutlichen Verringerung der HPV-Gesamtbelastung in der Bevölkerung führte [11].

Warum können nicht alle Infektionskrankheiten eradiziert werden wie die Pocken?

Theoretisch sollte fast jede Infektionskrankheit, für die es einen wirksamen Impfstoff gibt, ausgerottet werden können. Mit ausreichenden Impfquoten und

der Koordinierung zwischen den Organisationen des öffentlichen Gesundheitswesens kann verhindert werden, dass eine Krankheit irgendwo Fuß fasst; schließlich muss sie aussterben, wenn es niemanden mehr gibt, der sie überträgt. Eine bemerkenswerte Ausnahme ist der Tetanus, der zwar infektiös, aber nicht ansteckend ist: Er wird durch *Clostridium tetani*, das unter anderem in Tierfäkalien vorkommt, ausgelöst. Tetanus könnte also nicht ausgerottet werden, ohne das Bakterium vollständig von der Erde zu entfernen.

Im Gegensatz zu vielen anderen Infektionskrankheiten haben die Pocken kein tierisches Reservoir [12]. Das heißt, sie können sich nicht in einer Tierpopulation „verstecken“ und wieder auftauchen, um Menschen zu infizieren, während einige andere Krankheiten genau das tun können. Das Gelbfiebervirus beispielsweise kann einige Primaten infizieren.

Ein weiteres Hindernis bei der Ausrottung vieler Infektionskrankheiten ist die Sichtbarkeit. Menschen, die an Pocken erkranken, waren gut sichtbar. Der Pockenausschlag war leicht zu erkennen, sodass neue Fälle schnell entdeckt werden konnten. Die Impfanstrengungen konnten auf den Ausbruchsort und die mögliche Exposition anderer Personen konzentriert werden [13]. Die Kinderlähmung hingegen verursacht bei etwa 90% der Infizierten keine eindeutigen Symptome. Daher ist es hier schwieriger, die Ausbreitung des Poliovirus zu verfolgen, was es zu einem schwierigen Eradikationsziel macht.

Am wichtigsten ist vielleicht, dass Patienten mit Pocken ihre höchste Infektionsstufe, das heißt ihre höchste Fähigkeit, andere anzustecken, im Allgemeinen erst nach dem Auftreten des Pockenausschlags erreichten. Daher blieb bei raschem Handeln zur Quarantäne infizierter Personen nach Ausbruch des Ausschlags in der Regel genug Zeit, um alle zu impfen, die bereits infiziert waren, und weitere Ansteckungen zu verhindern [14]. Bei vielen Infektionskrankheiten ist eine solche Reaktionszeit nicht möglich. Patienten mit Masern etwa können bis zu 4 Tage vor dem Auftreten des Masernausschlags infektiös werden. Daher können sie das Virus an viele andere Menschen weitergeben, bevor überhaupt jemand weiß, dass sie infiziert sind.

Brauchen Impfstoffe die Hilfe von T-Zellen?

Obwohl Antikörper die Hauptvermittler der durch die Impfung induzierten sterilisierenden Immunität sind, lösen die meisten Impfstoffe auch T-Zell-Reaktionen aus. Untersuchungen an Personen mit hereditärer oder erworbener Immunschwäche haben gezeigt, dass ein Mangel an Antikörpern die Anfälligkeit für Infektionen erhöht, während ein Mangel an T-Zellen dazu führt, dass ein Erreger nach einer Infektion länger persistieren kann: Beispielsweise kann ein T-Zell-Mangel zu einer unkontrollierten und tödlichen Varizella-Zoster-Virus-Infektion führen, während Personen mit Antikörpermangel leicht eine Infektion entwickeln, sich aber auf die gleiche Weise erholen wie immunkompetente Personen. Die relative Suppression der T-Zell-Reaktionen am Ende der Schwangerschaft erhöht den Schweregrad der Infektion mit Influenza- und Varizella-Zoster-Viren [15].

Die Rolle der T-Zellen bezüglich des impfinduzierten Schutzes ist noch nicht ausreichend untersucht. Dies lässt sich wahrscheinlich zum Teil darauf zurückführen, dass es schwierig ist, T-Zellen im Rahmen von Studien zu untersuchen, da nur das Blut leicht zugänglich ist, während viele T-Zellen in Geweben wie den Lymphknoten vorliegen. Außerdem wissen wir noch nicht genau, welche Arten von T-Zellen gemessen werden sollten. Traditionell werden T-Zellen entweder als zytotoxische (Killer-)T-Zellen oder als T-Helferzellen kategorisiert. Die Subtypen der T-Helferzellen (TH-Zellen) lassen sich anhand ihres Profils der Zytokinproduktion unterscheiden. T-Helfer 1 (TH1)-Zellen und TH2-Zellen sind hauptsächlich für den Aufbau der zellulären Immunität bzw. der humoralen Immunität wichtig, TH1-Zellen sind allerdings auch an der Bildung der Immunglobulin-G(IgG)-Antikörper-Unterklassen IgG1 und IgG3 beteiligt. Andere TH-Zell-Subtypen sind TH17-Zellen, die für die Immunität an Schleimhautoberflächen wie Darm und Lunge wichtig sind, und folliculäre T-Helferzellen, die in sekundären lymphatischen Organen angesiedelt sind und für die Bildung von hochaffinen Antikörpern wichtig sind.

Schließlich zeigen Studien, dass eine sterilisierende Immunität gegen die Vermehrung von *Streptococcus pneumoniae* bei Mäusen durch den Transfer von T-Zellen von Spendermäusen, die *Streptococcus pneumoniae* ausgesetzt waren, erreicht werden kann [16]. Dies deutet darauf hin, dass eine weitere Untersuchung der T-Zell-vermittelten Immunität gerechtfertigt ist, um die Art der T-Zell-Reaktionen besser zu verstehen, die zur Verbesserung der schützenden Immunität genutzt werden könnten.

Welche Rolle spielt das Immungedächtnis für den Schutz durch Impfstoffe?

Ein weiteres wichtiges Merkmal des impfstoffinduzierten Schutzes ist die Induktion eines Immungedächtnisses. Impfstoffe werden in der Regel entwickelt, um klinische Manifestationen einer Infektion zu verhindern. Einige Impfstoffe können jedoch nicht nur die Krankheit verhindern, sondern auch vor einer asymptomatischen Infektion oder Kolonisierung schützen, wodurch die Ansteckung mit einem Krankheitserreger und damit seine Weiterverbreitung verringert und eine Herdenimmunität aufgebaut wird.

Die Antikörperspiegel im Blutkreislauf nehmen nach der Erstimpfung ab, oft auf ein Niveau, das unter dem für den Schutz erforderlichen liegt. Ob das Immungedächtnis vor einem künftigen Kontakt mit dem Erreger schützen kann, hängt von der Inkubationszeit der Infektion, der Qualität der Gedächtnisreaktion und der Höhe der von den B-Gedächtniszellen gebildeten Antikörper ab. Dabei sind folgende Szenarien möglich [17]:

- Die Gedächtnisreaktion kann ausreichen, um vor einer Erkrankung zu schützen, wenn zwischen der Exposition gegenüber dem Erreger und dem Auftreten der Symptome eine lange Inkubationszeit liegt, die es den B-Gedächtniszellen ermöglicht, Antikörpertiter über der Schutzwelle zu bilden.
- Die Gedächtnisreaktion kann nicht ausreichen, um vor einer Erkrankung zu schützen, wenn der Erreger eine kurze Inkubationszeit hat und die Symptome schnell auftreten, bevor die Antikörper-

spiegel die Schutzwelle erreichen. Symptome treten auf, bevor die Antikörperspiegel die Schutzwelle erreicht haben, der Krankheitsverlauf wird jedoch abgemildert.

- In einigen Fällen bleiben die Antikörperspiegel nach der Erstimpfung über der Schutzwelle und können lebenslange Immunität verleihen.

Welche Faktoren beeinflussen den Impfschutz?

Das Ausmaß des Impfschutzes wird von vielen genetischen und umweltbedingten Faktoren beeinflusst, darunter

- Alter,
- mütterliche Antikörperspiegel,
- frühere Antigenexposition,
- Impfschema und
- Impfdosis.

Obwohl die meisten dieser Faktoren nicht ohne Weiteres verändert werden können, sind das Impfalter und der Impfplan wichtige und entscheidende Faktoren bei der Planung von Impfprogrammen. Die Impfstoffdosis wird in der frühen klinischen Entwicklung auf der Grundlage optimaler Sicherheit und Immunogenität festgelegt. Für einige Bevölkerungsgruppen, wie etwa ältere Erwachsene, kann jedoch eine höhere Dosis von Vorteil sein, wie dies für den Grippeimpfstoff gezeigt wurde [18, 19].

Was muss bei Immundefizienz und Impfung beachtet werden?

Personen mit bekannten immunologischen Defekten von Antikörpern oder assoziierten Immunkomponenten sind besonders anfällig für Infektionen mit bestimmten Erregern, was Aufschluss über die Eigenschaften der Antikörper geben kann, die für den Schutz vor diesen speziellen Erregern erforderlich sind. Bei den meisten derzeit verwendeten Impfstoffen handelt es sich um inaktivierte, gereinigte oder abgetötete Organismen oder um Protein- und/oder Polysaccharidkomponenten eines Erregers. Zu den neuesten Entwicklungen zählen die genbasierten Impfstoffe, beispielsweise mRNA- und Vektorimpfstoffe. Bei all diesen Impfstoffen werden keine lebenden Erreger eingesetzt,

Vaccinations for the immunologic memory—Repeatedly or once only?

Due to the effectiveness of vaccines some particularly threatening infectious diseases have become rare; however, vaccines are meanwhile the victims of their own success. Due to insufficient compliance and inadequate vaccination rates, there is a danger that the effectiveness of vaccination as a preventive measure will continuously disappear. In 2019 the World Health Organization classified doubts on the effectiveness of vaccines as 1 of the 10 greatest dangers to health worldwide. This article discusses important questions on vaccinations and vaccines as well as their effects in the interplay with the immune system. The following topics are covered: comparison of naturally acquired immunity and that acquired by vaccination, factors that necessitate a refresher vaccination, the role of herd immunity, prerequisites for successful eradication of a disease, influence of various T cells on the effect of vaccination, the role of immunologic memory, factors that influence protection by vaccination, vaccinations in cases of immunodeficiency, the potential and areas of implementation of passive immunization. In view of the corona pandemic and the running vaccination campaign, it must be hoped that this triggers a general renaissance of vaccinations against infectious diseases.

Keywords

Immunity, herd · Immunologic memory · Immunodeficiency · Immunization, active · Immunization, passive

diese können sich entsprechend nicht im Impfling vermehren. Daher werden keine nennenswerten Nebenwirkungen hervorgerufen, sodass es nur wenige Kontraindikationen für die Verwendung gibt. Selbst bei immungeschwächten Personen ist die Verwendung dieser Impfstoffe unbedenklich, auch wenn die Ausbildung einer Immunität je nach Art des Immundefekts nicht möglich ist.

Größere Vorsicht ist bei der Verwendung von abgeschwächten, replizierenden Lebendimpfstoffen – wie Gelbfieber-, Varizella-Zoster-, Bacille-Calmette-Guerin (BCG)- und Masernimpfstoffen – bei Personen mit T-Zell-Immundefizienz geboten, da theoretisch die Gefahr einer unkontrollierten Replikation besteht und Lebendimpfstoffe in dieser Situation generell vermieden werden [20]. Ein besonderes Risiko geht vom Gelbfieberimpfstoff aus, der bei Personen mit T-Zell-Immundefizienz kontraindiziert ist und bei Personen mit Thymuserkrankung oder nach Thymektomie, bei jungen Säuglingen und Erwachsenen über 60 Jahre gelegentlich eine schwere viszerotrope oder neurotrope Erkrankung verursacht [21].

Personen mit Defiziten im Komplementsystem sind besonders anfällig für Meningokokkenkrankungen, die durch eine Infektion mit *Neisseria meningitidis* [22] verursacht werden. Denn die Kontrolle

dieser Infektion hängt von der komplementvermittelten Abtötung der Bakterien ab, wobei das Komplement durch IgG-Antikörper auf die Bakterienoberfläche gerichtet wird. Pneumokokkenkrankungen treten besonders häufig bei Personen mit Einschränkung der Milzfunktion [23] auf (diese kann angeboren sein, aus einem Trauma resultieren oder mit Erkrankungen wie der Sichelzellerkrankung zusammenhängen). *Streptococcus pneumoniae*-Bakterien, die mit Antikörpern und Komplement opsonisiert wurden, werden normalerweise von Phagozyten in der Milz aus dem Blut entfernt; bei Personen mit Hyposplenismus sind diese nicht mehr vorhanden. Personen mit Antikörpermangel sind anfällig für Varizella-Zoster- (Erreger der Windpocken) und andere Virusinfektionen, können aber nach einer Infektion die Krankheit auf dieselbe Weise kontrollieren wie immunkompetente Personen, solange sie eine normale T-Zell-Reaktion haben [24].

Wann kann eine passive Immunisierung helfen?

Es ist eindeutig erwiesen, dass die intramuskuläre oder intravenöse Infusion von exogenen Antikörpern einen Schutz gegen bestimmte Infektionen bieten kann. Das offensichtlichste Beispiel ist der passi-

ve Transfer von mütterlichen Antikörpern über die Plazenta, der Neugeborene zumindest für einige Monate nach der Geburt vor einer Vielzahl von Krankheitserregern schützt. Die mütterliche Impfung mit Pertussis- [25], Tetanus- [26] und Influenzaimpfstoffen [27] macht sich diese wichtige schützende Anpassung zunutze, um das Krankheitsrisiko kurz nach der Geburt zu verringern, und zeigt deutlich die Rolle von Antikörpern beim Schutz vor diesen Krankheiten. Die Impfungen schwangerer Frauen gegen Streptokokken der Gruppe B [28] und gegen das respiratorische Synzytialvirus (RSV; [29]) haben sich noch nicht als wirksam erwiesen, um Infektionen bei Neugeborenen oder Säuglingen zu verhindern, sie haben aber das Potenzial, die Krankheitslast bei den jüngsten Kindern zu verringern. Ein anderes Beispiel ist die Verwendung spezifischer neutralisierender Antikörper, die aus immunen Spendern gewonnen und gereinigt werden, um die Übertragung verschiedener Viren zu verhindern, darunter Varizella-Zoster-Virus, Hepatitis-B-Virus und Masernvirus [30]. Schließlich zeigen die neuesten Entwicklungen, dass monoklonale Antikörper in der frühen Krankheitsphase die SARS-CoV-2-Viruslast senken und bei leichter bis moderater COVID-19-Erkrankung eine neue Therapieoption darstellen. Außerdem können diese Antikörper bei bestimmten Personengruppen zur Prä- wie auch Postexpositionsprophylaxe angewendet werden. Sie sind damit eine der Optionen für die Therapie und Prophylaxe von COVID-19 bei Risikopatienten.

Fazit für die Praxis

- Bei allen empfohlenen Impfstoffen sind die Risiken einer natürlichen Infektion größer als die Risiken einer Impfung.
- Eine wichtige zusätzliche Komponente des Impfschutzes ist die Herdenimmunität. Eine Ausnahme ist der Tetanusimpfstoff, mit dem sich diese nicht erreichen lässt.
- Einige Impfstoffe können nicht nur die jeweilige Krankheit verhindern, sondern auch vor einer asymptomatischen Infektion schützen, wodurch die Weiterverbreitung verringert und eine Herdenimmunität aufgebaut wird.
- Ob das Immungedächtnis vor einem künftigen Kontakt mit dem Erreger schützen kann, hängt von der Inkubationszeit, der

Qualität der Gedächtnisreaktion und der Höhe der von B-Gedächtniszellen gebildeten Antikörper ab.

- Das Ausmaß des Impfschutzes wird von vielen genetischen und umweltbedingten Faktoren beeinflusst. Impfalter und Impfplan sind wichtige Faktoren bei der Planung von Impfprogrammen.
- Selbst bei immungeschwächten Personen ist die Verwendung von Impfstoffen ohne lebende Erreger unbedenklich, auch wenn die Ausbildung einer Immunität gegebenenfalls nicht möglich ist. Größere Vorsicht ist bei der Verwendung abgeschwächter Lebendimpfstoffe im Falle einer T-Zell-Immundefizienz geboten.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Clara Lehmann

Klinische Infektiologie, Innere Medizin I,
Uniklinik Köln
Kerpenerstr. 62, 50937 Köln, Deutschland
clara.lehmann@uk-koeln.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. C. Lehmann gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von der Autorin keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

1. European Centre for Disease Prevention and Control (2020) Measles. In: ECDC. Annual epidemiological report for 2019. ECDC, Stockholm
2. <https://www.who.int/news-room/spotlight/tentative-threats-to-global-health-in-2019>. Zugegriffen: 10. März 2022
3. European Centre for Disease Prevention and Control (2018) Measles—Annual Epidemiological Report for 2018. ECDC, Stockholm. europa.eu. Zugegriffen: 01.04.2022
4. Heath PT, Booy R, Azzopardi HJ, Slack MP, Bowen-Morris J, Griffiths H, Ramsay ME, Deeks JJ, Moxon ER (2000) Antibody concentration and clinical protection after Hib conjugate vaccination in the United Kingdom. *JAMA* 284(18):2334–2340. <https://doi.org/10.1001/jama.284.18.2334>
5. Palgen JL, Feraoun Y, Dzangué-Tchoupou G, Joly C, Martinon F, Le Grand R, Beignon AS (2021) Optimize prime/boost vaccine strategies: Trained immunity as a new player in the game. *Front Immunol* 12:612747. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.612747>
6. Slifka MK, Amanna I (2014) How advances in immunology provide insight into improving vaccine efficacy. *Vaccine* 32(25):2948–2957. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2014.03.078>
7. Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2015) Science Ambassador Workshop—Have You “Herd”? Modeling Influenza’s Spread. Atlan-

Hier steht eine Anzeige.

 Springer

- ta, GA: US Department of Health and Human Services, CDC. Available at: <http://www.cdc.gov/scienceambassador/lesson-plans/index.html>. Zugriffen: 01.04.2022
8. Plans-Rubio P (2012) The vaccination coverage required to establish herd immunity against influenza viruses. *Prev Med* 55:72–77
 9. Trotter CL, Andrews NJ, Kaczmarski EB, Miller E, Ramsay ME (2004) Effectiveness of meningococcal serogroup C conjugate vaccine 4 years after introduction. *Lancet* 364:365–367
 10. Trotter CL, Maiden MC (2009) Meningococcal vaccines and herd immunity: lessons learned from serogroup C conjugate vaccination programs. *Expert Rev Vaccines* 8:851–861
 11. Tabrizi SN et al (2014) Assessment of herd immunity and cross-protection after a human papillomavirus vaccination programme in Australia: a repeat cross-sectional study. *Lancet Infect Dis* 14:958–966
 12. W.H.O. (1980) The global eradication of smallpox. Final report of the global commission for the certification of smallpox eradication. World Health Organization, Geneva (1979–1980)
 13. Moor ZS, Seward JF, Lane JM (2006) Smallpox. *Lancet* 367:425–435
 14. Massoudi MS, Barker L, Schwartz B (2003) Effectiveness of postexposure vaccination for the prevention of smallpox: results of a Delphi analysis. *J Infect Dis* 188:973–976
 15. Kourtis AP, Read JS, Jamieson DJ (2014) Pregnancy and infection. *N Engl J Med* 370:2211–2218
 16. Malley R et al (2005) CD4⁺ T cells mediate antibody-independent acquired immunity to pneumococcal colonization. *Proc Natl Acad Sci USA* 102:4848–4853
 17. Pollard AJ, Bijker EM (2021) A guide to vaccinology: from basic principles to new developments. *Nat Rev Immunol* 21(2):83–100
 18. Falsey AR, Treanor JJ, Tornieporth N, Capellan J, Gorse GJ (2009) Randomized, double-blind controlled phase 3 trial comparing the immunogenicity of high-dose and standard-dose influenza vaccine in adults 65 years of age and older. *J Infect Dis* 200:172–180
 19. DiazGranados CA et al (2014) Efficacy of high-dose versus standard-dose influenza vaccine in older adults. *N Engl J Med* 371:635–645
 20. Pinto MV, Bihari S, Snape MD (2016) Immunisation of the immunocompromised child. *J Infect* 72(Suppl):S13–S22
 21. Seligman SJ (2014) Risk groups for yellow fever vaccine-associated viscerotropic disease (YEL-AVD). *Vaccine* 32:5769–5775
 22. Fijen CA, Kuijper EJ, te Bulte MT, Daha MR, Dankert J (1999) Assessment of complement deficiency in patients with meningococcal disease in The Netherlands. *Clin Infect Dis* 28:98–105
 23. Wara DW (1981) Host defense against *Streptococcus pneumoniae*: the role of the spleen. *Rev Infect Dis* 3:299–309
 24. Gershon AA et al (2015) Varicella zoster virus infection. *Nat Rev Dis Primers* 1:15016
 25. Sandmann F et al (2020) Infant hospitalisations and fatalities averted by the maternal pertussis vaccination programme in England, 2012–2017: Post-implementation economic evaluation. *Clin Infect Dis* 71:1984–1987
 26. Demicheli V, Barale A, Rivetti A (2015) Vaccines for women for preventing neonatal tetanus. *Cochrane Database Syst Rev* 7:CD2959
 27. Madhi SA et al (2014) Influenza vaccination of pregnant women and protection of their infants. *N Engl J Med* 371:918–931
 28. Madhi SA, Dangor Z (2017) Prospects for preventing infant invasive GBS disease through maternal vaccination. *Vaccine* 35:4457–4460
 29. Madhi SA et al (2020) Respiratory syncytial virus vaccination during pregnancy and effects in infants. *N Engl J Med* 383:426–439
 30. Young MK, Cripps AW (2013) Passive immunization for the public health control of communicable diseases: current status in four high-income countries and where to next. *Hum Vaccin Immunother* 9:1885–1893

MED UPDATE SEMINARE

2022/23

Nephro Update 2022

15. Nephrologie-Update-Seminar
13.–14. Mai 2022
Berlin und Livestream

Wiss. Leitung:

Prof. Dr. Kai-Uwe Eckardt, Berlin
Prof. Dr. Jürgen Floege, Aachen

Unter der Schirmherrschaft der
DGfN, DN, GPN, DGIM, KfH

www.nephro-update.com

Endokrinologie Update 2022

3. Endokrinologie-Update-Seminar
16.–17. September 2022
Berlin und Livestream

Wiss. Leitung:

Prof. Dr. Matthias Blüher, Leipzig
Prof. Dr. Jörg Bojunga, Frankfurt a. M.
Prof. Dr. Martin Fassnacht, Würzburg
Prof. Dr. Dagmar Führer, Essen

Unter der Schirmherrschaft der DGIM

www.endokrinologie-update.com

Diabetes Update 2023

18. Diabetologie-Update-Seminar
24.–25. Februar 2023
Mainz und Livestream

Wiss. Leitung:

Prof. Dr. Andreas Hamann, Bad Homburg
Dr. Helmut Kleinwechter, Kiel
Prof. Dr. Stephan Martin, Düsseldorf
Prof. Dr. Michael Stumvoll, Leipzig

Unter der Schirmherrschaft der DGIM

www.diabetes-update.com

Auskunft für alle Update-Seminare:

med update GmbH
www.med-update.com
Tel.: 0611 - 736580
info@med-update.com

The logo for medupdate features a stylized yellow and orange curved line above the text "medupdate" in a lowercase, sans-serif font.

Hier steht eine Anzeige.

