

Impfen: Selbstverteidigung für das Immunsystem

Das Prinzip des Impfens macht sich die Mechanismen der natürlichen Immunabwehr zunutze. Impfungen sind ein grosser medizinischer Erfolg. Heute eröffnet die Biotechnologie neue Perspektiven, um innovative Impfstoffe zu entwickeln und zukunftsweisende Impfstrategien erfolgreich umzusetzen.

1. Was ist ein Impfstoff?

Seit seiner Entdeckung Ende des 18. Jahrhunderts ist das Impfen immer wieder Gegenstand von heftigen Kontroversen. Dieses Kapitel versucht, dieses oft intensiv diskutierte Thema pragmatisch zu beleuchten und orientiert sich dabei an Fakten, die mit den Methoden und nach den Grundsätzen der modernen Naturwissenschaften belegt sind.

Was ist ein Impfstoff?

Das Prinzip des Impfens ist so einfach wie einleuchtend. Ein Impfstoff (auch Vakzin genannt) hilft dem menschlichen Immunsystem, damit es auf den Angriff bestimmter Erreger wie Viren, Bakterien oder anderer Mikroorganismen besser vorbereitet ist. Vergleichbar ist das mit einem Selbstverteidigungskurs: Wer auf den Angriff eines Gegners vorbereitet und entsprechend trainiert ist, wird bei einem allfälligen Angriff nicht überrascht sein und richtig reagieren.

Täglich ist unser Immunsystem unzähligen Erregern ausgesetzt. Überall lauern winzige Mikroben: an Türklinken, auf der Computertastatur, in der Nahrung, beim Händeschütteln. Ohne Schutzmechanismen könnten diese Winzlinge rasch in unseren Körper eindringen und eventuell Krankheiten auslösen.

Die allermeisten Eindringlinge werden bei gesunden Menschen aber abgeblockt, denn der menschliche Körper hat verschiedenartige Schutzmechanismen aufgebaut. Eine erste Hürde sind Haut und Schleimhäute. Die Nase und die Lunge sind zum Beispiel mit Schleimhäuten ausgekleidet, auf denen Mikroorganismen haften bleiben. Dann werden sie unschädlich gemacht und ausgehustet.

Trotzdem schaffen es immer wieder Erreger, diesen ersten Schutzwall zu durchbrechen, etwa bei offenen Wunden oder wenn der betroffene Mensch geschwächt ist (z.B. Patienten nach einer Organtransplantation oder einer speziellen Krebstherapie). Nun kommt das Immunsystem zum Zug.

Eine wichtige Eigenschaft des Immunsystems besteht darin, dass es erkennen kann, welche Moleküle zum eigenen Körper gehören und welche fremd sind. Das geschieht, indem die körpereigenen Zellen auf ihrer Oberfläche ein Protein namens MHC besitzen (MHC steht für Major Histocompatibility Complex). Das MHC-Protein ist vergleichbar mit einem Mitgliederausweis: Das Immunsystem erkennt auf diese Weise, dass eine bestimmte Zelle zum selben Körper gehört und lässt sie in Ruhe.

Das Immunsystem ist kein Organ im klassischen Sinne, es ist vielmehr ein Netzwerk verschiedener Akteure. Dazu gehören Lymphgefässe und Lymphknoten, Knochenmark, Milz und Thymusdrüse sowie verschiedene Blutzellen (Grafik 11.1):

- **Makrophagen** sind Fresszellen. Sie heften sich an den Erreger, schliessen ihn in sich ein und verdauen ihn (dieser Vorgang heisst Phagozytose). Sie sind überall im Körper und reagieren umgehend, wenn sie einen Eindringling aufspüren können. Ähnlich funktionieren auch **Granulozyten**, eine bestimmte Gruppe der weissen Blutzellen. Auch sie sind darauf spezialisiert, Erreger zu entdecken und zu verdauen. Täglich produziert der Körper rund 100 Millionen Granulozyten.
- **T-Zellen** heissen so, weil sie, nachdem sie im Knochenmark entstanden sind, in der Thymusdrüse hinter dem Brustbein ausreifen. Sie sind ein wichtiger Bestandteil des Immunsystems und können nur jeweils einen Krankheitserreger anhand einer bestimmten Oberflächenstruktur (Antigen) erkennen. Nach einer erfolgreichen Abwehrreaktion bleiben einige spezialisierte T-Zellen als Erinnerungszellen über längere Zeit erhalten (immunologisches Gedächtnis).
- **B-Zellen** sind unter anderem für die Produktion von Antikörpern zuständig. Antikörper können sich sehr spezifisch an ein Antigen auf der Oberfläche eines Erregers heften. Dadurch ist dieser Erreger markiert und wird in der Folge von anderen Abwehrzellen, zum Beispiel von Makrophagen, erkannt und zerstört.

1. Angeborenes und erworbenes Immunsystem

Generell unterscheidet man zwischen dem angeborenen und dem erworbenen Teil des Immunsystems.

Fresszellen zum Beispiel wirken ziemlich unspezifisch und gehen auf alles los, was sie als fremd wahrnehmen. Dieser unspezifische Teil des Immunsystems ist zum grossen Teil angeboren und schützt den Säugling bereits während der Geburt und in den ersten Lebenswochen.

Allerdings werden die Fresszellen nicht mit allen Fremdkörpern und/oder Eindringlingen fertig. Deshalb braucht es Spezialisten. T-Zellen reagieren zum Beispiel sehr spezifisch, wenn eine bestimmte fremde Struktur aufgespürt wird. Einige dieser Zellen, die T-Erinnerungszellen, bleiben nach dem Kontakt im Körper erhalten und können sich später an bestimmte Antigene «erinnern». Vom Erreger oder dem Fremdkörper wird somit eine Art «Steckbrief» angelegt. Bei einem erneuten Auftreten des Erregers kann der Körper wesentlich rascher und gezielter reagieren. Diese erworbene Fähigkeit der Immunabwehr bezeichnet man als **Immunität**.

Analog funktioniert eine Impfung. Durch eine Impfung wird dem Körper der Erreger (inklusive seiner Antigene) präsentiert, zum Beispiel der Masernerreger. Allerdings wird in der Regel der Erreger so verändert, dass er nicht krank macht: Er wird abgeschwächt, abgetötet oder es werden von ihm nur bestimmte isolierte Bestandteile, die als Antigene wirken, verwendet. Wie bei einer richtigen Infektion bleiben nach einer Impfung T-Erinnerungszellen zurück und der Körper ist auf einen echten Angriff des Erregers vorbereitet. Eine Impfung unterscheidet sich somit von einer normalen, natürlichen Infektion nur dadurch, dass dem Immunsystem gezielt aufbereitete Fremdstrukturen präsentiert werden, die vorher auf ihre Harmlosigkeit hin getestet wurden.

3. Aktive und passive Immunisierung

Die eben geschilderte Form der Impfung bezeichnet man als **aktive Immunisierung**. Diese Art der Impfung wirkt langanhaltend. Bei der Masernimpfung, beispielsweise, werden Viren verabreicht, die zuvor unschädlich gemacht wurden.

Daneben existieren auch Impfungen nach dem Prinzip der **passiven Immunisierung**. In diesem Fall baut der Organismus nicht selbst seine Abwehr auf, sondern der Schutz

wird ihm «eingepfht». Bei der passiven Immunisierung werden die Antikörper gegen den Erreger bereits fertig verabreicht. Diese werden heute meist gentechnisch hergestellt. Die passive Immunisierung wirkt zwar sofort, hält aber nur über einen beschränkten Zeitraum, denn die zugeführten Antikörper werden mit der Zeit vom Körper abgebaut. Ein Beispiel dafür ist die passive Tetanus-Impfung gegen Wundstarrkrampf.

4. Welche Bedeutung haben Impfungen?

Impfungen haben entscheidend dazu beigetragen, dass manche Krankheiten heute in der Schweiz praktisch verschwunden sind. Ähnliches gilt auch für viele andere Länder, zum Beispiel für die USA: Eine Studie der Centers for Disease Control and Prevention (CDC) hat Daten der Zeit vor der Einführung der Impfungen mit den aktuellen Zahlen für die USA verglichen.

Die Zahlen zeigen, welche Fortschritte der gezielte Einsatz von Impfstoffen bei verschiedenen Krankheiten gebracht haben. Impfungen konnten die Anzahl Krankheits- und Todesfälle in gewissen Fällen auf Null senken. Das bedeutet jedoch nicht, dass diese Krankheiten völlig verschwunden sind. Manche Erkrankungen sind in einigen Entwicklungsländern noch immer verbreitet. Einzig die Pocken gelten weltweit als ausgerottet. Den letzten Pockenfall gab es 1977.

Der Schweizer Immunologe und Nobelpreisträger Rolf Zinkernagel schrieb 2005 in der Schweizerischen Ärztezeitung: «Die konventionellen Impfungen, wie sie in den letzten hundert, vor allem aber in den letzten fünfzig Jahren implementiert worden sind, stellen wahrscheinlich die erfolgreichsten medizinischen Handlungen überhaupt dar. Kaum eine andere medizinische Aktivität hat so viele schwere Krankheiten und Leiden verhindert wie die Impfstoffe.»

5. Einige Impfungen - das Wichtigste in Kürze

Kinderlähmung

Poliomyelitis, kurz Polio, kann bei Kindern zu Muskellähmungen führen. Ist die Atemmuskulatur betroffen, muss das Kind künstlich beatmet werden. Manchmal sind auch Gliedmassen betroffen, die in der Folge geschwächt oder gelähmt sind. Der erste Polio-Impfstoff wurde 1955 zugelassen. In der Folge sank die Anzahl Polio-Fälle kontinuierlich. In der Schweiz trat der letzte Fall 1982 auf. 2002 erklärte die Weltgesundheitsorganisation (WHO) Europa als frei von Polioviren. In Afrika und Asien treten aber immer noch Fälle von Poliomyelitis auf. In der Schweiz wird der Polioimpfstoff meist in einer Fünffach-Kombinationsimpfung verabreicht (gemeinsam mit Impfstoff gegen Diphtherie, Tetanus, Pertussis (Keuchhusten) und Haemophilus influenzae Typ b (Hib))

Masern

Masern werden durch Viren übertragen. Die Erkrankung ist sehr ansteckend, sie verursacht meist hohes Fieber. Oft verläuft die Krankheit ohne weitere Komplikationen. Aber nicht immer: Bei 1 von 1'000 bis 2'000 Patienten ruft die Erkrankung eine Entzündung des Gehirns hervor. Diese Entzündung kann zu bleibenden Schäden führen (verminderte geistige Entwicklung) und gar zum Tod. In der Schweiz gab es letztmals 2007/2008 einen grösseren Ausbruch von Masern mit über 2'200 Fallmeldungen. 2017 gab es 105 Fälle, 2018 waren es 48.

HIV

Seit Jahrzehnten versuchen Forscherinnen und Forscher, eine Impfung gegen das HI-Virus (englisch Human Immunodeficiency Virus) zu entwickeln, den Erreger der Aids-Erkrankung. Bisher erfolglos. Das Virus stellt sich als extrem wendig heraus. Es verändert immer wieder wichtige Proteine auf seiner Oberfläche, der «Steckbrief» des Immunsystems wird damit wirkungslos. Zudem gibt es zwei Arten des Erregers (HIV-1 und HIV-2) sowie mindestens zehn Subtypen von HIV-1. Mit dieser Vielfalt stellt das Virus die Wissenschaft vor grosse Probleme, die Entwicklung eines Impfstoffs ist daher sehr schwierig. Ob es jemals einen hochwirksamen Impfstoff geben wird, ist unklar. Forschende wären schon mit einer Schutzwirkung von 60 Prozent zufrieden.

FSME

Zecken können verschiedene Erreger übertragen und damit Krankheiten verursachen; namentlich die Borreliose (Lyme-Krankheit) und die Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME). Während die Borreliose mit Antibiotika behandelt werden kann, hilft gegen FSME nur eine Impfung. Rund ein Prozent der Zecken tragen das FSME-Virus in sich. Die Infektion verläuft oft unbemerkt, bei einer Minderheit kommt es aber zu grippeähnlichen Symptomen (Fieber, Kopf- und Gliederschmerzen). Bei 5-15 Prozent der erkrankten Personen kommt es nach 4-6 Tagen zu einer Hirnhautentzündung (Meningitis), die auf das Gehirn übergreifen kann (Meningoenzephalitis). Bei einem Prozent der Erkrankten mit neurologischen Symptomen verläuft die Erkrankung tödlich. Die vollständige Grundimmunisierung mit drei Injektionen bietet einen Schutz von über 95 Prozent während 10 Jahren. Danach wird eine Auffrischimpfung empfohlen.

Positionen für oder gegen Impfungen

Pro

Impfungen wurden über Jahrzehnte millionenfach mit klinischem Erfolg eingesetzt und gehören damit zu den effektivsten Mitteln der Medizin. Darin sind sich die allermeisten Fachleute einig.

Impfungen sind der Hauptgrund dafür, dass viele sogenannte Kinderkrankheiten in der Schweiz praktisch nicht mehr vorkommen. Verschiedene Statistiken belegen, dass die Einführung von Impfungen gewisse Infektionskrankheiten massiv reduziert hat. Die oft tödlichen Pocken konnten sogar weltweit ausgerottet werden.

Auch Impfungen können Nebenwirkungen haben; schwere Nebenwirkungen treten aber sehr selten auf, d.h. in etwa 1 von 1'000'000 Fällen. Der zu erwartende Nutzen ist somit viel grösser als der potentielle Schaden.

Einige Argumente gegen das Impfen sind längst überholt – etwa jenes, dass die Masernimpfung Autismus oder Multiple Sklerose auslösen könne. Solche möglichen Zusammenhänge wurden mehrfach widerlegt. Die aktuell empfohlenen Impfstoffe für die Routineimpfungen enthalten zudem weder Quecksilber noch Aluminium.

Contra

Impfkritiker beanstanden, dass es zu wenig Daten über die langfristigen Auswirkungen von Impfungen gebe.

Impfungen können in seltenen Fällen zu schweren Nebenwirkungen führen.

Bei der Hepatitis B-Impfung wird beispielsweise untersucht, ob es einen Zusammenhang mit Nervenentzündungen (z.B. Guillain-Barré-Syndrom, Neuritiden oder Multiple Sklerose) geben könnte.

Impfstoffe enthalten zum Teil Spuren von Aluminium oder Quecksilber, die als Zusatzstoffe dienen. Quecksilber wirkt potentiell toxisch auf Nervenzellen, Aluminium führt gelegentlich an der Einstichstelle zu Hautirritationen.

Bei der Masernerkrankung ist es besser, wenn das Kind die Masern durchmacht, weil es danach ein Leben lang geschützt ist. Das Erleben einer Kinderkrankheit stärkt das Selbstbewusstsein des Kindes und entspricht in den Augen der Impfskeptiker einem natürlichen Prozess. Die Masern können nach Meinung gewisser Ärzte auch homöopathisch behandelt werden.

Eine hundertprozentige Sicherheit von Impfstoffen kann niemand garantieren. In der Vergangenheit kam es vereinzelt zu Fehlern bei der Impfstoffherstellung sowie zu Fehleinschätzungen im Rahmen ihrer Zulassung.

Um eine Entscheidung Pro oder Contra Impfungen treffen zu können, muss man sich auf die Fakten konzentrieren. Zum Beispiel: In der ganzen Kontroverse ums Impfen geht oft vergessen, dass das Thema, wie dies oft dargestellt wird, für viele eigentlich gar nicht so umstritten ist. Der weitaus grösste Teil der Impfexperten und Schweizer Ärztinnen und Ärzte rät den Eltern, ihre Kinder zu impfen. Über 90 Prozent der Eltern folgen den Ratschlägen seitens der Experten aus Ärzteschaft und Gesundheitsbehörden.

6. Produktion von Impfstoffen

Es gibt verschiedene Wege, um Impfstoffe (Vakzine) zu produzieren.

a. Klassische Produktionsmethoden

Gegen Diphtherie und Starrkrampf (Tetanus) werden so genannte Totimpfstoffe angewendet. Dazu werden zunächst die krankheitserregenden Bakterien vermehrt. Danach werden diese in ihre Bestandteile zerlegt. Nur das Gift (Toxin) der Bakterien wird für den Impfstoff verwendet. Es wird gereinigt und so verändert, dass es inaktiv ist.

Auch gegen Keuchhusten (Pertussis) werden Totimpfstoffe verwendet. Der Erreger ist ebenfalls ein Bakterium, das zunächst vermehrt wird. In diesem Falle werden aber für den Impfstoff nicht die Toxine verwendet, sondern Bestandteile der Bakterienzellwand.

Bei Masern, Mumps, Röteln und Windpocken – alles Krankheiten, die durch Viren ausgelöst werden – werden Lebendimpfstoffe eingesetzt. Es handelt sich dabei um abgeschwächte Viren, also solche mit verminderter Virulenz («Boshaftigkeit» von Erregern).

Die Vermehrung von Viren ist meist schwieriger und langwieriger als diejenige von Bakterien. Das zeigt das Beispiel der Grippeviren: Der Impfstoff gegen Grippeviren wird jedes Jahr neu in Hühnereiern produziert. Die Eier werden mit dem Virus infiziert und danach in entsprechenden Produktionsanlagen ausgebrütet (bei 37-38 Grad Celsius). In dieser Zeit vermehrt sich das Virus. Anschliessend werden die Eier geöffnet, die Viren entnommen, in Bruchstücke zerlegt und gereinigt. Diese Art der Produktion ist aufwendig und dauert mehrere Monate.

Noch komplexer war die klassische Produktion des Hepatitis-B-Impfstoffes, denn die Hepatitis-B-Viren vermehren sich nicht in Hühnereiern. Früher mussten die Viren daher aus dem Blut erkrankter Patienten gewonnen werden. Die Produktion dauerte fast ein Jahr. Das bedeutete, dass der Impfstoff lange Zeit nur in begrenzter Menge zur Verfügung stand. Heute ist die Produktion mithilfe der Gentechnik gut möglich (siehe Grafik Gen Dialog).

b. Biotechnologische Produktion von Impfstoffen

Heute wird der Hepatitis B-Impfstoff biotechnologisch hergestellt. Dazu wird aus dem Erbgut des Hepatitis B-Virus ein DNA-Stück herausgeschnitten, das die Bauanleitung für ein Virusprotein enthält. Das DNA-Stück wird in ein Minichromosom (Plasmid) integriert. Hefezellen übernehmen in einem nächsten Schritt die Herstellung des Virusproteins. Das Protein wird danach gereinigt und als Impfstoff verwendet.

Diese Art der Herstellung hat verschiedene Vorteile, zum Beispiel ist sie preiswert. Es besteht zudem keine Gefahr, dass die Impfstoffe durch lebende Viren verunreinigt werden.

Auch die Grippeimpfstoffe können seit 2007 in Zellkulturen biotechnologisch hergestellt werden. Solche Systeme werden bereits zur Herstellung von Vakzinen gegen Windpocken, Hepatitis A und Poliomyelitis verwendet. Auch der HPV-Impfstoff, der gegen das sexuell übertragbare Humane Papilloma Virus schützt und seit 2007 erhältlich ist, wird in Hefekulturen hergestellt.

Zukunftsperspektiven

Dank der Biotechnologie kann die Wissenschaft heute viel schneller und gezielter auf neue Erreger reagieren und neue Impfstoffe entwickeln. Die Chancen, die Palette der Impfungen zu erweitern, stehen gut: Impfstoffe gegen Dengue-Fieber oder gegen die Gürtelrose (Herpes zoster) könnten in den nächsten Jahren lanciert werden. Seit 2015 gibt es eine Impfung gegen Ebola. Impfungen gegen Malaria und auch gegen das HI-Virus (Aids) liegen jedoch noch in etwas weiterer Ferne.

Basierend auf dem Prinzip der aktiven Immunisierung wird zurzeit auch intensiv an Impfstrategien gegen körpereigene, entartete Zellen geforscht. Solche entarteten Zellen können Schuppenflechten (Psoriasis), bestimmte Krebsarten oder andere Erkrankungen hervorrufen.

7. Impfen - Ethische Aspekte

Erreger kennen keine Grenzen

Masernerreger können sich innerhalb weniger Wochen über den Globus verbreiten. Gesetzt den Fall: Ein Träger des Masernvirus aus der Schweiz löst in einem Drittweltland in Südamerika eine Masernepidemie aus. Die Menschen in diesem Land haben eine schlechte Gesundheitsversorgung. Masernpatienten können daher bei einem schweren Verlauf oft nicht genügend behandelt werden. Zudem sind nicht überall im Land Ärzte verfügbar. Aufgrund dieses Ausbruches sterben mehrere Menschen.

Es stellen sich die folgenden Fragen:

- Hat diese Person verantwortungslos gehandelt?
- Wäre es nicht Aufgabe der Regierung des betroffenen Landes, dafür zu sorgen, dass möglichst viele Menschen geimpft sind?
- Wie können wir von einem anderen Land erwarten, dass die Leute dort genügend geimpft sind, wenn die Durchimpfungsrate (je höher, desto besser der Schutz für die Bevölkerung) bei Masern in der Schweiz ungenügend ist? Müssten wir nicht mit gutem Beispiel vorangehen und sicherstellen, dass es zumindest in Europa keine Ausbrüche mehr gibt?

7. Impfblogatorium?

In einigen Ländern existiert ein «Impfzwang»: Die USA und auch Österreich kennen einen solchen für gewisse Impfungen. Nicht so in der Schweiz. Schweizerinnen und Schweizer müssen alle selbst entscheiden, ob sie impfen wollen oder nicht. Soll in der Schweiz ein Impfblogatorium eingeführt werden? Warum? Warum nicht? Solange es kein Impfblogatorium gibt, muss man akzeptieren, dass es Leute gibt, die sich oder ihre Kinder nicht impfen lassen. Das gehört zu einer freien Gesellschaft.

Um eine Infektionskrankheit zurückdrängen zu können, müssen möglichst viele Personen geimpft sein. Bei der Masernimpfung zum Beispiel benötigt es eine Durchimpfungsrate von 95 Prozent, damit es zu keinen Krankheitsausbrüchen kommt.

Handelt jemand, der sein Kind nicht impft, der Gesellschaft gegenüber unsolidarisch, weil er in Kauf nimmt, dass andere ebenfalls daran erkranken? Vielleicht sind die potentiell Gefährdeten

- Menschen, die nicht wissen, dass sie nicht geimpft sind,
- Menschen, die sich wegen einer Krankheit und/oder eines geschwächten Immunsystems nicht impfen lassen können
- Kleinkinder, die noch keinen ausreichenden Impfschutz aufweisen.

Dokumente

Zeitungsartikel

[Impfen schützt: Ihre Kinder, Sie und andere](#)

Manuel Battegay, bazonline.ch, 15.12.2017

[Masern-Rekord in Europa – Bund warnt Ungeimpfte vor Reisen](#)

tagesanzeiger.ch, 22.08.2018

[Mehr Aufklärung, aber kein Impfwang](#)

Christof Forster, nzz.ch, 11.01.2017

Impfplan

- [Schweizerischer Impfplan](#)

- [Impfargumentarium: Kinder impfen? Ja! Wieso?](#)

- Impfkritische Information

[Kinder-Impfungen – eine Entscheidungshilfe](#) (bestellen bei Stiftung für Konsumentenschutz)

- Impfkritische Informationen

[Netzwerk Impfentscheid](#)

- Pro und Kontra Impfen – hr fernsehen

[ARD-Mediathek](#), 22.03.2018

Links

[Die Zelle](#) [1], begehbare Modell einer ca. 300'000-fach vergrösserten menschlichen Körperzelle

[Impfen im Internet](#)

<https://www.infovac.ch/de/>[2]

[Impfen spielerisch lernen](#)

www.simplyscience.ch

[Viren: Winzige Krankheitserreger mit cleveren Strategien](#)

www.simplyscience.ch

[Impfungen und Prophylaxe](#)

www.bag.admin.ch [4]

[Elektronisches Impfdossier](#)

www.meineimpfungen.ch

[Lernspiel Impfen](#)

www.kiknet-pharmasuisse.org