

## Wie Impfstoffe wirken

Impfstoffe sind *die* medizinische Errungenschaft in der Menschheitsgeschichte. Bei einer Impfung gilt es, dem Immunsystem eine Infektion vorzutäuschen, ohne dass der Impfling tatsächlich erkrankt.

DIE PALETTE an Impfstoffen, die aktuell zum Schutz vor Infektionskrankheiten bereitstehen, rettet jährlich schätzungsweise zwei bis drei Millionen Menschen auf der Welt das Leben. Dabei ist die Herstellung eines wirksamen Impfstoffes ein Balanceakt. Die Vakzine muss effektiv sein, darf den Impfling aber nicht gefährden. Der Kontakt mit einer abgeschwächten Erreger-Variante oder abgetöteten Erregern soll eine Infektion vortäuschen. Das ›trainiert‹ die Immunabwehr. Begegnet sie dann im Ernstfall dem Virus oder Bakterium tatsächlich, stehen Immunzellen und Antikörper bereit, die die Eindringlinge abwehren, bevor sie sich im Körper ausbreiten können.

### Das Prinzip »Impfung«

Dem Grundprinzip der Impfung kam man schon vor mehr als tausend Jahren in China und im Nahen Osten auf die Spur. Menschen waren gegen die Pocken gefeit, wenn sie sie überlebt hatten oder wenn ihnen über eine kleine Schnittwunde ein wenig Material ausgetrockneter Pocken-Pusteln der Erkrankten übertragen wurde.

Die meisten, die auf diese Weise geimpft wurden, waren lebenslang immun. Doch insgesamt waren die Folgen schwer absehbar, bei rund drei von 100 Geimpften kam es ungewollt zu einer schweren bis tödlichen Pockenerkrankung. Der britische Arzt Edward Jenner entdeckte, dass die auf den Menschen übertragbaren, aber für ihn ungefährlichen Kuhpocken auch gegen die echten Pocken immunisierten. Im Jahr 1796 impfte er einen kleinen Jungen erfolgreich mit dieser Lebendimpfung.

Seine Entdeckung war der Startschuss für die Entwicklung weiterer Impfstoffe. Dabei schlägt man auch heute noch zwei Hauptwege ein: Es wird mit abgeschwächten (lebenden) oder mit abgetöteten Erregern experimentiert. Lebendimpfstoffe erzeugen einen guten, anhaltenden Schutz, bergen aber die Gefahr, bei Personen mit stark geschwächter Immunabwehr eine heftige Infektion auszulösen. Dieses Risiko besteht bei Impfstoffen mit abgetöteten Erregern nicht. Allerdings be-

wirken die Maßnahmen, die einen Mikroorganismus unschädlich machen, dass er einen geringeren Reiz auf das Immunsystem ausübt. Dadurch muss er mehrmals oder immer wieder verabreicht werden, um einen Immunschutz zu erzeugen beziehungsweise zu erhalten.

### Welche Impfstoffe es zurzeit gibt

Als Lebendimpfstoffe werden in der Regel solche Viren verwendet, die sich nicht (mehr) gut in menschlichen Zellen vermehren können. Oder sie enthalten einen verwandten, für den Menschen ungefährlichen Erreger, wie das Kuhpockenvirus oder Bakterien, die beim Rind, nicht jedoch beim Menschen eine Tuberkulose verursachen können. Die Impfungen gegen Masern, Mumps, Röteln, Gelbfieber, Windpocken, die orale Polio-Vakzine, Tuberkulose-Impfung und eine über die Nase verabreichte Influenza-Impfung erfolgen mit Lebendimpfstoffen. Durch Hitze oder Chemikalien abgetötete Erreger oder einzelne Bestandteile von Mikroorganismen, wie inaktivierte Toxine oder gentechnisch hergestellte einzelne Bausteine, können das Immunsystem ebenfalls zu einer Schutzreaktion anregen. Nach diesem Prinzip funktionieren etwa Impfstoffe gegen Keuchhusten, Diphtherie, Tetanus, Hepatitis A oder B, humane Papillomaviren (HPV), Influenza, Meningokokken oder Pneumokokken.

**Impfung ahmt natürliche Infektion nach**

### Was bei einer Impfung im Körper passiert

Eine Impfung ahmt in gewisser Weise eine natürliche Infektion nach, ohne dass der Impfling tatsächlich erkrankt. Unmittelbar nach Gabe der Impfdosis per Injektion in den Muskel, unter die Haut, als Schluckimpfung oder über die Nasenschleimhaut treffen die für den Körper fremden Bestandteile auf die Zellen der angeborenen Immunantwort. Diese ›Abteilung‹ des Immunsystems erkennt die Eindringlinge recht grob an körperfremden ›Mustern‹ auf deren Ober-

fläche. Werden Fremdmoleküle aufgespürt, schlagen infizierte Körper- oder herbeigeeilte Immunzellen Alarm. Botenstoffe werden ausgeschüttet, die weitere Abwehrzellen anlocken.

**Bleibender Eindruck bei der Immunabwehr**

Eine wichtige Aufgabe haben hier die *dendritischen Zellen* (DC), die als Wächter überall im Körper stationiert sind. Sie erkennen die fremden, über

die Impfung in den Körper eingebrachten Strukturen des Virus oder Bakteriums, nehmen sie auf, verdauen sie und präsentieren die Bruchstücke auf ihrer Zelloberfläche. Dabei wandern die DC in den regionalen Lymphknoten und treffen dort auf andere Immunzellen, wie T- und B-Zellen. Erkennen diese Zellen, die Teil der adaptiven ›lernfähigen‹ Immunabwehr sind, mit ihren ganz speziellen Rezeptoren die präsentierten Bruchstücke auf der Oberfläche der DC, werden sie ihrerseits aktiv und vermehren sich. Als Folge werden Antikörper gegen die geimpften Krankheitserreger produziert.

Im Idealfall hinterlässt der Impfstoff einen bleibenden Eindruck bei der Immunabwehr. Gedächtniszellen werden angelegt, die über Jahre bis sogar Jahrzehnte permanent Antikörper produzieren beziehungsweise sich bei einem erneuten Kontakt rasch dazu anregen lassen. Lebendimpfstoffe prägen sich in der Regel tiefer in das Immungedächtnis ein und hinterlassen einen breiteren Schutz als Totimpfstoffe. Das hat mindestens zwei Ursachen: Die abgeschwächten Erreger vermehren sich – zwar in geringem Umfang und für eine kurze Zeit – im Körper des Geimpften. Dadurch sind die Immunzellen länger mit den Fremdmolekülen in Kontakt und alarmiert. Außerdem vermehren sich eine kleine Anzahl von Impfviren in den Körperzellen, was neben der Antikörper-Produktion noch ein weitere wichtige Immunabwehr auf den Plan ruft: Sogenannte zytotoxische T-Zellen können virusinfizierte Zellen abtöten und selbst auch ein Immungedächtnis ausbilden.

Impfungen mit abgetöteten oder gar einzelnen Bestandteilen des Erregers sind zwar ›sauberer‹, sie aktivieren die Immunabwehr aber in der Regel nicht so stark. Das versucht man durch die Zugabe von Wirkverstärkern, Adjuvantien, auszugleichen. Am häufigsten kommen hier Aluminiumsalze zum Einsatz, die eine Art Depot bilden, aus dem Impfantigene an der Einstichstelle über längere Zeit in kleinen Mengen abgegeben werden.

Mit Ausnahme einiger weniger Lebendimpfstoffe erfordern die meisten Impfungen eine Auffrischung, einen Booster, um die Antikörperantwort zu steigern. Gerade wenn der Erreger im natürlichen Lebensumfeld kaum noch anzutreffen ist, bewirkt ein mehrmaliges Boostern, dass sich ein schützendes Immungedächtnis ausbildet. Im Idealfall wandern Gedächtniszellen in das Knochenmark ein, von wo aus sie jahrzehntelang Antikörper freisetzen.

**Nebenwirkungen**

Eine Impfung soll den Körper anregen, einen Schutz gegen den geimpften Erreger aufzubauen. Damit das geschehen kann, müssen Abwehrzellen mobilisiert und aktiviert, immunologische Botenstoffe ausgeschüttet werden. Schwellungen, Rötungen, Schmerzen an der Einstichstelle oder auch leichtes Fieber, Krankheitsgefühl und Kopfschmerzen sind Anzeichen für ein ›Anspringen‹ der Immunantwort. Eine solche Impfreaktion hält Stunden bis wenige Tage nach der Impfung an und verschwindet dann ohne Nachwirkungen.

**Impfkomplikationen sind selten**

Impfkomplikationen sind sehr selten und treten bei weit unter 0,01% der ausgegebenen Impfdosen auf. Zu Impfschäden kommt es noch seltener, sie können zum Beispiel durch eine allergische Reaktion auf eine im Impfstoff anhaltende Substanz ausgelöst werden. Anaphylaktische Schockreaktionen treten bei ungefähr einer je eine Million verabreichten Impfdosen auf.

In jeder Gesellschaft gibt es Personen, deren Immunsystem geschwächt ist und/oder die aus anderen Gründen nicht geimpft werden können. Um die Ausbreitung eines Krankheitserregers zu stoppen, reicht es jedoch aus, wenn ein Teil der Gemeinschaft immun ist. Wie hoch dieser Anteil, die Herdenimmunität, sein muss, hängt von der Infektiosität des Krankheitserregers ab. Für die hoch ansteckenden Masern muss der Anteil bei 92% liegen, für die Influenza-Grippe dagegen reichen 50%.

MDK forum Heft 4/2020



Dr. Ulrike Gebhardt arbeitet als freie Wissenschaftsjournalistin in den Bereichen Medizin und Biowissenschaften. gebhardt.bremen@t-online.de