

1. Der Siegeszug der Impfstoffe

Impfungen sind eine der größten Errungenschaften der modernen Medizin. Sie haben unzählige Leben gerettet und die Verbreitung vieler gefährlicher Krankheiten drastisch reduziert. Der entscheidende Durchbruch gelang **EDWARD JENNER** bereits im Jahr 1796. Er beobachtete, dass Melkerinnen, die sich mit den harmloseren *Kuhpocken* infiziert hatten, immun gegen die gefährlichen menschlichen *Echten Pocken* waren. JENNER impfte einen Jungen mit Kuhpockenmaterial. Anschließend zeigte er, dass der Junge nicht an Pocken erkrankte, wenn man ihm Pockenerreger unter die Haut ritzte. Solche Menschenversuche wiederholte auch an weiteren Kindern, nach heutigen Maßstäben ethisch untragbar. Er prägte den Begriff

"Vakzination" (von lateinisch *vacca* für Kuh). Heute gelten die Pocken nahezu als ausgerottet.



Abb. 1 JENNER impft einen Jungen mit Pockenerreger. Künstler: Ernest Board, gemeinfrei

2. Aktive und passive Immunisierung

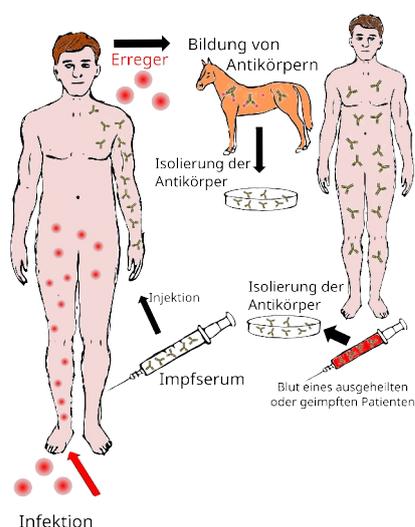
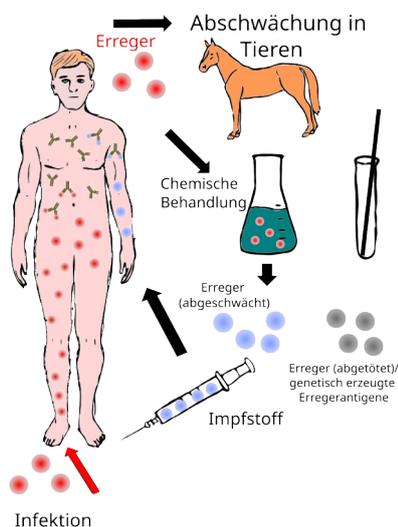
Bei Impfungen werden grundsätzlich zwei Arten der Immunisierung unterschieden:

Bei der **aktiven Immunisierung** werden dem Körper Antigene verabreicht. Es kann sich dabei um inaktivierte, abgetötete oder abgeschwächte Krankheitserreger, meist Viren oder Bakterien, oder Teile davon handeln. Die krankmachende Wirkung ist zwar beseitigt worden, das für die Immunantwort wichtigen Antigene sind jedoch strukturell intakt. Der Organismus reagiert mit der Bildung von spezifischen Immunzellen, Antikörpern und Gedächtniszellen. Die Inaktivierung von Viren zur Erzeugung der Impfstoffe ist sehr aufwändig. Häufig werden die Viren dafür einem Fehlwirt gespritzt, wodurch die vermehrten Viren weniger infektiös anfallen. Es schließen sich chemische oder physikalische Verfahren an, um die Viren noch weiter

unschädlich zu machen. Die weitaus meisten gängigen Impfungen nutzen das Prinzip der *aktiven Immunisierung*.

Bei der **passiven Immunisierung** werden direkt **Antikörper** verabreicht, die in der Regel von anderen Menschen gebildet wurden. In seltenen Ausnahmefällen werden notfalls Antikörper von anderen Menschen verwendet, die die Infektion gerade durchlebt haben und ausgeheilt sind. Die passive Immunisierung bietet einen sofortigen, aber nur kurzfristigen Schutz, da die zugeführten Antikörper im Laufe der Zeit abgebaut werden und keine eigenen Gedächtniszellen gebildet werden. Passive Immunisierungen werden oft in Notfällen eingesetzt, zum Beispiel nach einem Schlangenbiss oder bei einer Tetanusinfektion, wenn keine Zeit für den Aufbau einer aktiven Immunität bleibt.

2.1 Ordnen Sie den beiden folgenden Abbildungen die Begriffe *aktive* und *passive Schutzimpfung* zu.



3. DNA- und RNA-Impfstoffe

RNA-Impfstoffe, beispielsweise die meisten COVID-19-Impfstoffe, enthalte eine Form von **mRNA**, als Erbinformation. Sie codiert für den Bauplan eines spezifischen Antigen des Erregers (z.B. das Spike-Protein des SARS-CoV-2-Virus) Die mRNA wird in „Transportvehikel“ verpackt, die in die Zelle eindringen können, zumeist durch **Endocytose**. In der Zelle nutzen die Ribosomen diese mRNA, um das Antigen zu produzieren. Die produzierten Antigene wird dann auf den Zelloberfläche durch **MHC-Klasse-I-Komplexe dem Immunsystem** präsentiert. Je nach Impfstoff ist auch eine Abgabe der Antigene in die Gewebeflüssigkeit möglich. Wie bei anderen aktiven Schutzimpfungen auch, bilden sich Antikörper und Gedächtniszellen.

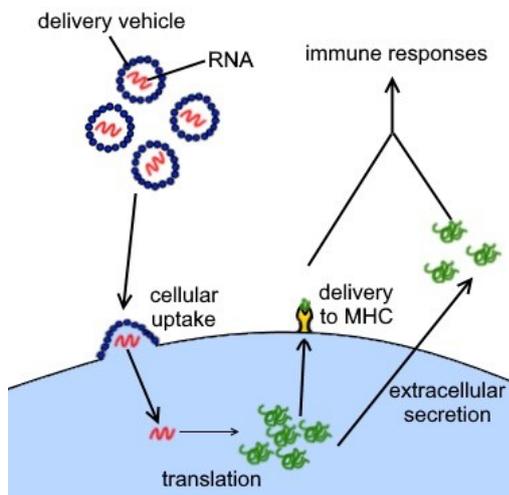


Abb. 2.1: Prinzip der RNA-Impfung. Q: wikicommons. A: Kuon.Haku

Da die mRNA nicht in den Zellkern gelangt und nicht in die DNA integriert wird, besteht keine Gefahr, das Erbgut zu verändern. Die mRNA wird nach kurzer Zeit abgebaut.

DNA-Impfstoffe: Ähnlich wie RNA-Impfstoffe liefern DNA-Impfstoffe genetisches Material für ein Antigen. Hierbei handelt es sich um **DNA**, oft in Form eines **ringförmigen DNA-Moleküls**, einem **Plasmid**. Dieses Plasmid wird in ein Transportmittel verpackt, zumeist Virus-Umhüllungen von Adenoviren.

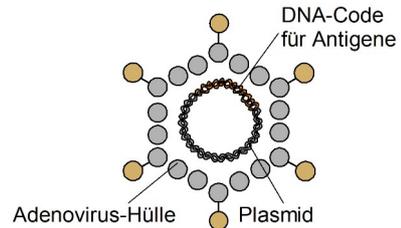


Abb. 2.2: DNA-Impfstoff. Q: eW

Nach der Endocytose gelangt die DNA in den Zellkern. Dort werden die Gene die für die Antigene codieren abgelesen und in mRNA **transkribiert** wird. Diese mRNA verlässt den Zellkern und wird wie bei RNA-Impfstoffen von den Ribosomen in das Antigen **translatiert**. Auch hier wird das Antigen präsentiert und löst eine Immunantwort aus. DNA-Impfstoffe sind noch stärker in der Entwicklung als RNA-Impfstoffe, aber ihr Potenzial ist groß.

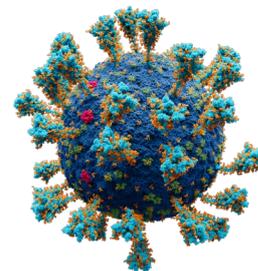


Abb. 2.2: Atommodell SARS-CoV-2 („Corona-Virus“). Spike-Proteine sind türkis. Q: wikicommons. A: Alexey Solodovnikov

4. Nebenwirkungen und Risiken von Impfungen

Wie jedes Medikament können auch Impfungen Nebenwirkungen haben. Diese sind jedoch meistens mild, wie leichte Schmerzen an der Einstichstelle, Rötung, Schwellung oder vorübergehendes Fieber. Sie sind häufig ein Folge der **Adjuvantien**, die dem Impfstoff zugemischt werden. Das sind Hilfsstoffe, die die Immunantwort auf den Impfstoff verstärken sollen, indem sie eine leichte Entzündungsreaktion an der Einstichstelle hervorrufen und so mehr Immunzellen anlocken. Sie ermöglichen oft eine geringere Antigenmenge oder weniger Dosen, um den gleichen Schutz zu erreichen. Diese Reaktionen zeigen, dass das Immunsystem auf den Impfstoff reagiert und eine Schutzantwort aufbaut.

Schwerwiegende Nebenwirkungen sind selten und das Risiko, an der Krankheit selbst zu erkranken, ist in der

Regel ungleich höher als das Risiko durch die Impfung. Trotzdem ist nicht jede Impfung für jede Gruppe sinnvoll. Eine Abwägung der Nutzen und Risiken und spezifische Empfehlungen für einzelne Gruppen spricht die **Ständige Impfkommision am Robert-Koch-Institut** aus.

Impfungen sind ein solidarisches Werkzeug. Nicht nur schützen Sie sich selbst, sondern Sie tragen auch zur **Herdenimmunität** bei: Je mehr Menschen geimpft sind, desto schwieriger wird es für Krankheitserreger, sich auszubreiten, was besonders gefährdete Personen schützt, die selbst nicht geimpft werden können. Impfungen sind somit ein entscheidender Pfeiler unserer öffentlichen Gesundheit.

5. Aufgaben

5.1 Interpretieren Sie diese Abbildung vollständig.

Masern in den USA, 1938–2019

