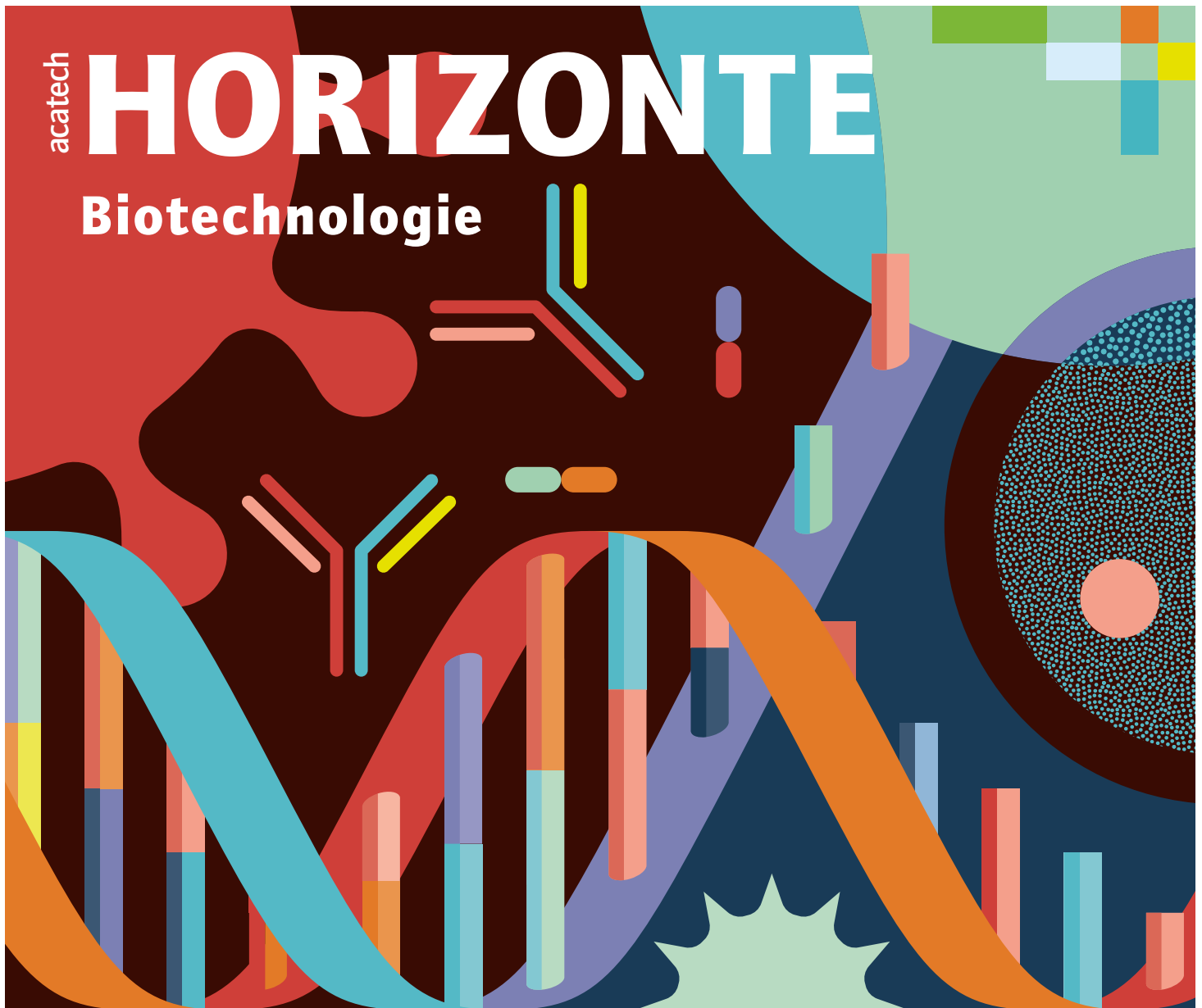




Was ist Biotechnologie, und warum
ist das Thema wichtig?

Unter dem Radar –
wo Biotechnologie überall drinsteckt

Biotechnologie in Deutschland
und anderswo

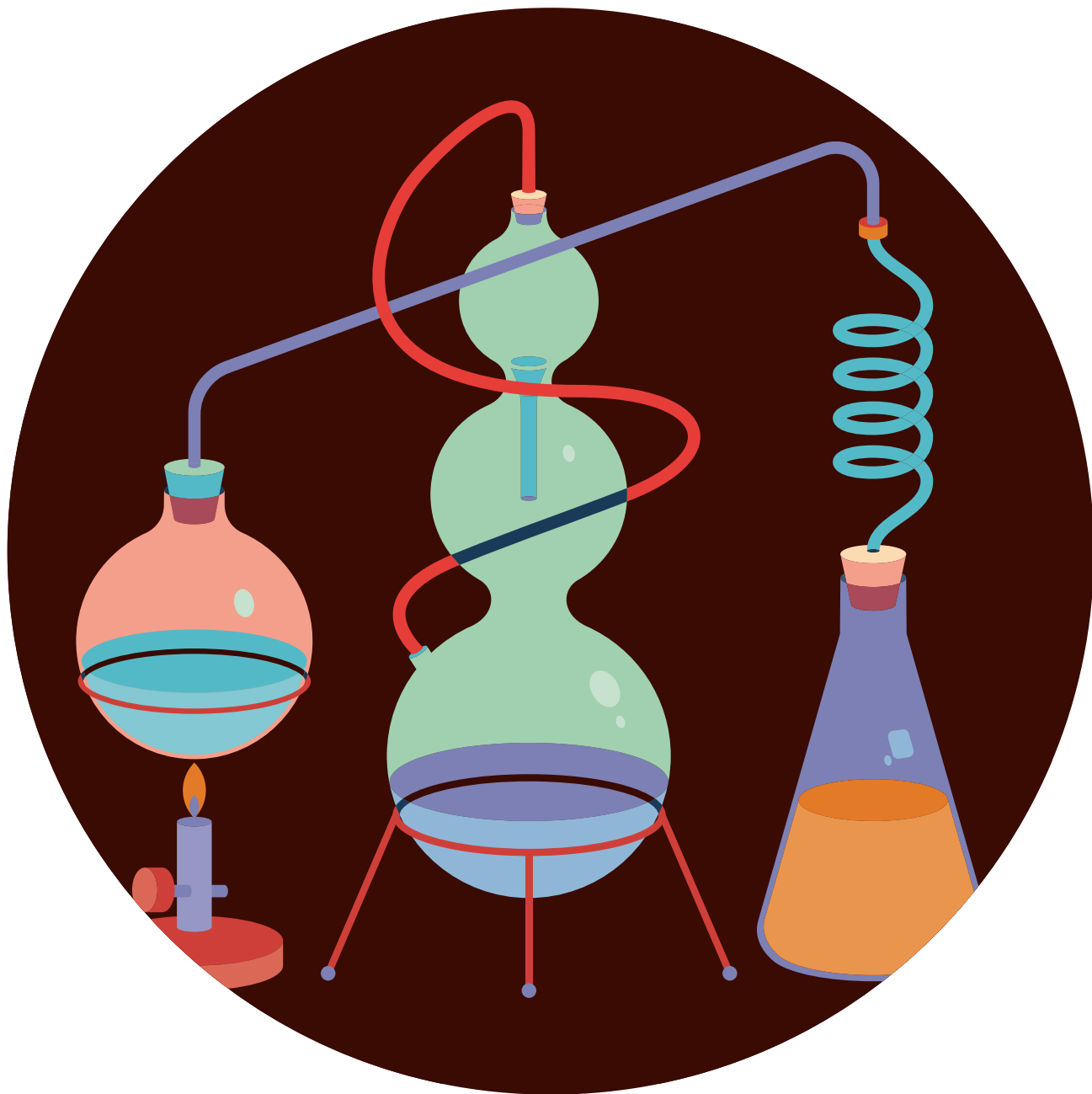
Was sollte jetzt noch passieren?

Die acatech HORIZONTE unterstützen die gesellschaftliche Diskussion über die Anwendungs- und Gestaltungsmöglichkeiten neuer Technologien. Jede Ausgabe ist einem Technikfeld gewidmet, das wirtschaftlich bedeutend ist, neue Horizonte eröffnet und gesellschaftlichen Wandel ermöglicht. Diese Technikfelder bereiten die acatech HORIZONTE auf – fundiert, anschaulich und auf dem neuesten Stand der Forschung. Sie klären die Faktenbasis und nehmen gesellschaftliche, volkswirtschaftliche und politische Fragen sowie Gestaltungsoptionen in den Blick.

acatech **HORIZONTE**

Biotechnologie





Inhalt

Neun Kernbotschaften	4
1. Was ist Biotechnologie, und warum ist das Thema wichtig?	6
2. Unter dem Radar – wo Biotechnologie überall drinsteckt	10
2.1 Biotechnologie im Alltag	12
2.2 Tradition und Innovation: Biotechnologie zum Essen und Trinken	18
2.3 (Grüne) Biotechnologie in der Landwirtschaft	26
2.4 Medizinischer Fortschritt durch biotechnologische Ideen	34
3. Biotechnologie in Deutschland und anderswo	38
4. Was sollte jetzt noch passieren?	42
Glossar	46
Literaturverzeichnis	49
Interviewpartnerinnen und Interviewpartner	52
Mitwirkende	54

Neun Kernbotschaften

- 1.** In der Biotechnologie lernen wir von der Natur und nutzen diese Erkenntnisse und Methoden, um unsere täglichen Bedürfnisse heute und zukünftig zu stillen, unser Wohlbefinden zu steigern und unsere Gesundheit zu fördern.
- 2.** In unzähligen Produkten des täglichen Lebens – von Brot, Joghurt, Käse, Bier und Wein bis hin zu Waschmittel und Pflegeprodukten – steckt biotechnologisches Know-how, oft ohne dass wir uns dessen bewusst sind.
- 3.** Die Biotechnologie hat viele bahnbrechende Innovationen ermöglicht: Antibiotika zur Bekämpfung schwerer bakterieller Infektionskrankheiten, Insulin zur Behandlung von Diabetes oder Coronaimfstoffe zur Eindämmung einer weltweiten Pandemie.
- 4.** Hierbei kommt standardmäßig die Gentechnik zum Einsatz, eines der wichtigsten Instrumente im Werkzeugkasten der Biotechnologie; sie hilft zum Beispiel in der Medizin, wirksame Medikamente zu entwickeln oder findet Anwendung in der Pflanzenforschung.
- 5.** Auch in Zukunft werden wir nur mit der Biotechnologie viele der wesentlichen Herausforderungen der Menschheit bewältigen. Das betrifft vor allem die Bereiche Gesundheit, Ernährung sowie Umwelt- und Klimaschutz.

- 6.** Biotechnologie spielt eine wichtige Rolle in der Transformation des europäischen Wirtschaftssystems in Richtung nachhaltiger, kreislaforientierter Wirtschaft.
- 7.** Biotechnologie ist eine Querschnittswissenschaft, die viele Disziplinen umfasst. Sie ist eine Schlüsseltechnologie, die mit neuen Lösungen ganz unterschiedliche Anwendungsbereiche erschließt.
- 8.** Biotechnologie entwickelt sich rasant, unter anderem durch die Digitalisierung und KI in der Datenanalyse, aber auch durch die Nutzung von Daten aus der Sequenzierung des Erbguts von Organismen.
- 9.** Der Weg von der Forschung in die Anwendung (in Form von Produkten oder Prozessen) ist in der Biotechnologie oft risikoreich, langwierig und kapitalintensiv. Biotechnologische Innovationen benötigen daher verstärkt Forschungsförderung und Wachstumsfinanzierung, um diese limitierenden Faktoren klug zu überwinden und damit letztlich den Fortschritt zu beschleunigen.

1

Was ist Biotechnologie, und warum ist das Thema wichtig?



Biologie und Technologie – wie passt das zusammen? Wir schauen uns von der Natur ab, wie Enzyme, Zellen und Bakterien funktionieren, und setzen unsere Beobachtungen in technische Anwendungen um. Kapitel 1 erklärt, was Biotechnologie ist, und zeigt, dass sie bereits fester Bestandteil unseres Lebens ist.

Haben Sie schon mal selbst Brot gebacken? Einen Fleck auf der Hose mit Gallseife entfernt oder aus Versehen Frischmilch im Kühlschrank zu Dickmilch werden lassen? Herzlichen Glückwunsch! Sie haben bereits mit mehr oder weniger großem Erfolg Biotechnologie angewendet. Die Beispiele mögen banal klingen, zeigen aber, dass der etwas befremdliche Begriff Biotechnologie vor allem eines meint: **mithilfe von Mikroorganismen wie Bakterien, Pilzen oder Enzymen** und entsprechender Technik ein Produkt herstellen. Dabei beschränkt sich die Biotechnologie nicht auf diese einfachen Beispiele – sie kennt viele Anwendungsfälle und birgt große Potenziale, wie die folgenden Kapitel zeigen werden.

„Mit der Biotechnologie setzen wir den Werkzeugkasten der Natur in technische Lösungen um.“*

Die Evolution hat in der Natur über Milliarden von Jahren optimierte Prozesse hervorgebracht, etwa die Produktion von bestimmten Molekülen in Pflanzen oder die Umsetzung von Stoffen durch Bakterien. In der Biotechnologie **lernen wir von der Natur** und nutzen diese Entdeckungen, um Fortschritte zur Sicherung unseres täglichen Bedarfs, für unser Wohlbefinden und für unsere Gesundheit zu erzielen. Wir beobachten, wie bestimmte Prozesse in der Natur funktionieren, und übertragen unsere Erkenntnisse auf wissenschaftliche Methoden und industrielle Produktionsprozesse. Im Prinzip führen wir biologisches Wissen und technische Anwendungen zusammen, um effektive biotechnologische Werkzeuge zu entwickeln. Biotechnologie ist ein **sehr weites Feld**, in dem Fachleute aus zahlreichen Wissenschaftsbereichen zusammenarbeiten. Hierzu zählen Biologie, Chemie, Physik, Verfahrenstechnik, Medizin, Materialwissenschaften, Informatik und viele weitere. Diese **interdisziplinäre Zusammenarbeit**, also die Einbindung vieler Fachrichtungen, bietet

enormes Potenzial für neue Anwendungen und Produkte. Das Schaubild auf Seite 8 gibt einen Überblick über die Geschichte der Biotechnologie. Der Zeitstrahl veranschaulicht, wie Biotechnologie vor Jahrhunderten eher zufällig begann und im Laufe der Zeit dank neuer naturwissenschaftlicher Erkenntnisse zu einer hochentwickelten Technologie wurde, mit deren Hilfe es beispielsweise gelang, innerhalb kürzester Zeit einen Impfstoff gegen das Coronavirus zu entwickeln. Die im Laufe der Publikation verwendeten Fachbegriffe können im **Glossar** auf Seite 46 nachgeschlagen werden.

„Biotechnologie ist eine Querschnittswissenschaft, die diverse Fachbereiche vereint und von Zusammenarbeit lebt.“

Biotechnologie ermöglicht Bioökonomie

Bioökonomie beschreibt ein Wirtschaftssystem, das auf nachwachsenden Rohstoffen wie Holz oder Pflanzen basiert, aber auch auf organische Reststoffe, Bakterien, Pilze oder Algen zurückgreift. Ziel ist es, sich mit Blick auf die Klimaziele komplett von fossilen Rohstoffen (Erdöl, Erdgas, Kohle) abzuwenden. Jedoch sind wir im Moment von fossilen Rohstoffen abhängig – nicht nur bei der Energiegewinnung. Erdöl steckt auch in vielen Produkten des täglichen Bedarfs wie in Haarpflegeprodukten, Schuhen oder Baumaterialien. Biotechnologie ermöglicht durch biologisches Wissen und Innovationen den Wandel zu einer nachhaltigen, kreislauforientierten Wirtschaft, die auf biogenen Rohstoffen basiert.

Anfang des Jahres 2020 hat die deutsche Bundesregierung eine **Nationale Bioökonomiestrategie** veröffentlicht. Diese zeigt, wie wir gleichzeitig limitierte Ressourcen schonen, nachhaltig leben und allgemeinen Wohlstand sichern können. Dazu soll vor allem in **Digitalisierung, Biotechnologie und Gentechnik** investiert werden.¹

* Einige ausgewählte Kerngedanken der Befragten sind im Text als anonymisierte Zitate aufgeführt.

Kurze Geschichte der Biotechnologie

Schon in der Frühgeschichte haben Menschen Biotechnologie genutzt, ohne zu verstehen, was genau dahintersteckt. Im Laufe der Zeit wurde die Biotechnologie immer ausgefeilter; heute trägt sie mehr denn je zum Fortschritt in Medizin, Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion bei. Biotechnologie ist breit gefächert, jedoch haben alle Anwendungen eines gemeinsam: Der Mensch schaut sich von der Natur perfektionierte Prozesse ab und nutzt diese dann in technischen Anwendungen, um die grundlegende Versorgung vor allem in den Bereichen Nahrung und Gesundheit sicherzustellen.

Im antiken Ägypten werden bereits Wein und Bier hergestellt. Genauso etablieren sich **fermentierte Lebensmittel** wie Käse und Joghurt.

In Südamerika, im heutigen Peru, entwickeln Menschen durch Auslese und Kultivierung optimierte Kartoffelsorten und legen somit einen Grundstein für die **Pflanzenzüchtung**.

3. Jahrtausend v. Chr.

Alexander Fleming entdeckt per Zufall das **Penicillin**, indem er eine Bakterienkultur versehentlich stehen lässt. Das erste **Antibiotikum** der Welt! Die biotechnologische Großproduktion von Penicillin beginnt 1942 und rettet in den darauffolgenden Kriegsjahren und darüber hinaus unzähligen Menschen das Leben.

In seinem Buch „Biotechnologie der Fleisch-, Fett- und Milcherzeugung im landwirtschaftlichen Großbetriebe“ verwendet Karl Ereky erstmals den **Begriff Biotechnologie**. Ziel seiner Publikation ist es, mithilfe der Biotechnologie die Lebensmittelproduktion in den Hungerjahren nach dem Ersten Weltkrieg zu verbessern.

Ein Patent zur Verwendung von Enzymen in Waschmitteln, welche die Fett-, Eiweiß- oder Stärkemoleküle aus Flecken in der Wäsche spalten, wird angemeldet.

1919

1915

1928

James Watson und Francis Crick entschlüsseln die **Struktur der DNA** – der Startschuss für die Gentechnik.

Stanley N. Cohens und Herbert W. Boyers Arbeit an Restriktionsenzymen, mit denen man DNA schneiden kann, ist die Grundlage der **Gentechnik**.

Kary Mullis entwickelt ein Verfahren zur **Vervielfältigung von DNA**. Der Name des Verfahrens ist PCR.

1953

1973

1983

Antoni van Leeuwenhoek und Robert Hooke erfinden und perfektionieren das **Mikroskop**. Mit dessen Hilfe gewinnen sie erste Erkenntnisse über **Bakterien** und **Zellen**.



17. Jahrhundert

Der Mediziner Edward Jenner verabreicht die **erste Impfung**. Er beobachtet die Pockenepidemie und erkennt einen Zusammenhang zwischen der Virusvariante, die Menschen befällt, und den harmlosen Kuhpocken. Die Bezeichnung Vakzin stammt daher von dem lateinischen Wort für Kuh (vacca).



1796

Charles Darwin entwickelt die **Evolutionstheorie**, deren Basis Mutationen und natürliche Selektion sind.



1859

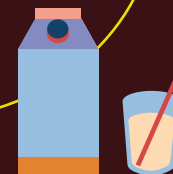


Gregor Mendel formuliert als Erster die Regeln der Vererbung von genbasierten Merkmalen. Die **Mendelschen Regeln** spielen bis heute eine Rolle in der Pflanzen- und Tierzucht.

1865

Louis Pasteur erfindet die **Pasteurisierung**: Hierbei werden Lebensmittel wie Milch kurzzeitig erhitzt, um darin enthaltene Keime abzutöten und eine längere Haltbarkeit zu gewährleisten.

1864



Mit Dolly wird ein Schaf aus den Euterzellen eines lebenden Schafes **geklont**. Dolly ist eine „Kopie“ des anderen Schafes.

1996

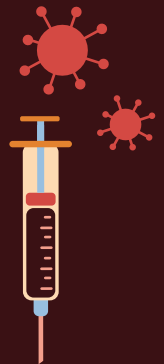


Jennifer A. Doudna und Emmanuelle Charpentier entwickeln die Genome-Editing Methode CRISPR/Cas. Diese ermöglicht das zielgenaue **Hinzufügen oder Entfernen** eines Gens aus der DNA.

2012

In der globalen Pandemie werden weltweit verschiedene **Coronaimpfstoffe** entwickelt. Dabei kommen auch neuartige mRNA-Impfstoffe zum Einsatz.

2021



2

Unter dem Radar – wo Biotechnologie überall drinsteckt

Biotechnologie ist überall – oft ohne dass wir es merken. Sie sichert unser Überleben und sorgt für Wohlstand in vielen Lebensbereichen. Das folgende Kapitel zeigt im Überblick, wo Biotechnologie überall drinsteckt: von alltäglichen Produkten über Nahrungsmittel bis hin zu Medikamenten.



2.1 Biotechnologie im Alltag

Hätten Sie gedacht, dass sich fast in jedem Raum Ihres Zuhauses mindestens ein Produkt finden lässt, das durch biotechnologische Verfahren hergestellt wurde? Biotechnologie ist unsere stete Begleiterin und aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Sie macht unser Abwasser rein, verleiht Süßspeisen ein feines Aroma und hilft bei der Herstellung von Medikamenten. Die Menschheit nutzt bereits seit Jahrtausenden biotechnologische Prozesse. Deshalb überrascht es auch nicht, dass heute viele Produkte des täglichen Gebrauchs auf biotechnologischen Methoden basieren. Allerdings ist dies einem großen Teil der Bevölkerung nicht bewusst.^a Die folgenden Beispiele für **biotechnologische Produkte im Alltag** sind nur ein kleiner Auszug aus der Fülle der vorhandenen biotechnologischen Anwendungen.

Die Farbenlehre der Biotechnologie

In Deutschland unterscheidet man die Anwendungsgebiete der Biotechnologie mithilfe von Farben: Rot steht für Biotechnologie in der Medizin, Weiß für die industrielle Biotechnologie (zum Beispiel wegen der Herstellung von Enzymen für weißes Waschmittel), Grün für die Biotechnologie an und mit Pflanzen, Blau für die maritime Biotechnologie und Gelb für Insekten- oder Lebensmitteltechnologie. Da die Zuordnung zu Farben keine allgemeingültige Definition darstellt und in einigen EU-Nachbarländern völlig anders ist, konzentriert sich die vorliegende Publikation auf die Anwendungsbereiche. Das Schaubild auf Seite 14 illustriert, wo uns Biotechnologie im Alltag begegnet.



Bakterien, die Plastik verdauen oder Gold isolieren

Plastikmüll in den Weltmeeren und Berge von Elektroschrott gefährden Mensch und Natur – was können wir dagegen tun? Neuartige Recyclingstrategien aus der Biotechnologie setzen an verschiedenen Punkten an, um Müll zu reduzieren und so unsere Umwelt zu schützen. Auf der einen Seite bietet die Biotechnologie nachhaltige Alternativen zu Plastikverpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen. So wird etwa an Verpackungen geforscht, die durch Bakterien in der Natur vollständig zersetzt werden können. Auf der anderen Seite entdeckt die Biotechnologie stetig neue biologische Prozesse, um bereits bestehenden Abfall, wie etwa Elektroschrott zu recyceln.

Hierbei ist ein Verfahren zu nennen, das Bakterien aus Bergwerken einsetzt, um wertvolle Metalle wie Gold oder Seltene Erden aus Abfall- und Reststoffströmen zu isolieren. Die Mikroorganismen aus den Bergwerken extrahieren auf verschiedene Weise die gewünschten Stoffe: Einige laugen die gewünschten Metalle aus, bringen diese also in Lösungen, die dann aufgefangen werden; oder die Bakterien haben an ihrer Oberfläche sogenannte Fangmoleküle, an denen sich bestimmte Metalle anreichern wie in einer Schablone, in die nur bestimmte Molekülformen hineinpassen. So ist es auch möglich, Metalle aus der Abfallverbrennung zu gewinnen, um dem stetig wachsenden Elektroschrott zu Leibe zu rücken. Mehr darüber erfahren Sie in **acatech HORIZONTE Urban Mining**, Schaubild „Bio-Recycling: Bakterien zerlegen Plastik“ und „Ein Blick in das alte Smartphone: Aus Abfall wird Gold.“⁵

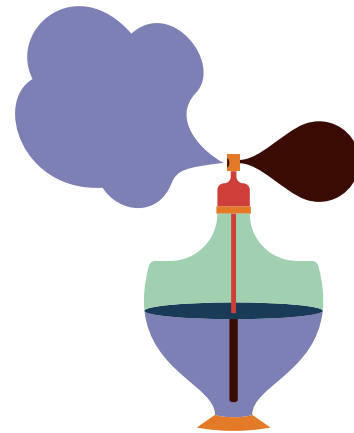
^a Laut einer repräsentativen Studie haben 11 Prozent der Deutschen den Begriff „Biotechnologie“ noch nie gehört. 51 Prozent kennen den Begriff, haben sich aber noch nie genauer damit auseinandergesetzt.⁴

Biotechnologie trägt direkt oder indirekt zu mehreren Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen bei.



Parfüm aus dem Bioreaktor

Auch in unserem Kosmetikschrankchen hat die Biotechnologie längst ihren Platz. Duftstoffe, die sich in Kosmetik- und Pflegeprodukten finden, werden heute oft chemisch hergestellt, da die Gewinnung aus natürlichen Quellen ökologisch und wirtschaftlich nicht mehr tragbar ist. Sandelholzduft zum Beispiel wird traditionellerweise aus Bäumen extrahiert, die mindestens 15 Jahre alt sind und für die Gewinnung des Stoffs gefällt werden müssen. Dafür wurden in der Vergangenheit die Sandelholzbestände in Indien und auf Hawaii fast bis zur Ausrottung gerodet. Um diesen Raubbau zu vermeiden, werden in der biotechnologischen Industrie Stoffwechselvorgänge aus Pflanzen mithilfe von Enzymen und Bakterien nachgeahmt, um den Sandelholzduftstoff naturidentisch herzustellen. Diese nachhaltige Produktionsweise erlaubt also die Herstellung eines chemisch gleichwertigen Sandelholzstoffes und schont gleichzeitig die Natur. Auf ähnliche Weise lassen sich heute noch viele weitere Parfüm- und Duftstoffe biotechnologisch herstellen.^{2, 6}



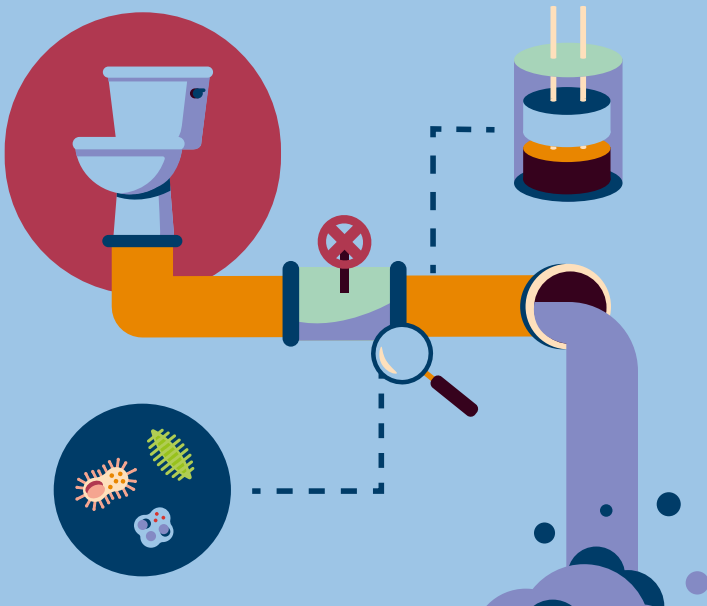
Biotechnologie im Alltag

Biotechnologie spielt eine immer größere Rolle und ist heute aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Sie leistet zudem einen Beitrag zu Umweltschutz, Gesundheit und mehr Nachhaltigkeit.



Kläranlage

Unser Abwasser aus Küche, Bad und Toilette wird mithilfe von Mikroorganismen wie Bakterien oder Pilzen in der biologischen Stufe gereinigt. Dabei zersetzen Bakterien die organischen Verbindungen im Klärschlamm.



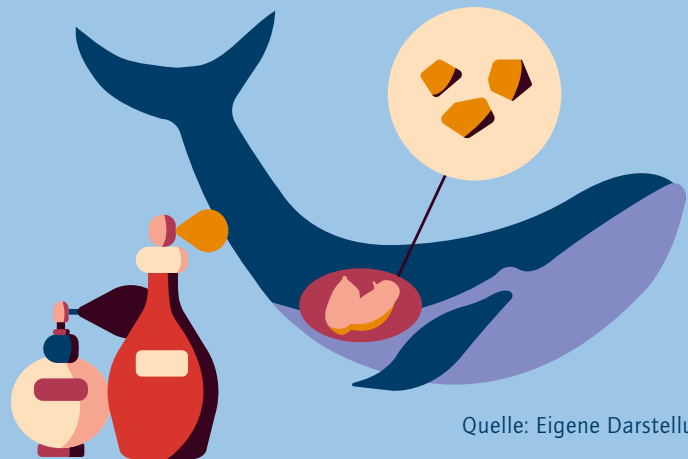
Kosmetik

Anti-Aging-Cremes und Hautpflegeprodukte wären ohne Biotechnologie nicht denkbar. Viele Cremes enthalten das Coenzym Ubiquinol, auch bekannt als Coenzym Q10. Dieses Coenzym fungiert als Antioxidans und sorgt dafür, dass unsere Zellen gesund bleiben. Früher musste es umständlich und teuer aus Rinderherzen gewonnen werden. Heute stellt man es mithilfe von Hefe-Ubiquinol im Labor her. Das Endergebnis: ein Q10, das identisch ist mit dem, das in Organen von Tieren vorkommt.



Parfümzusatz

Auch Parfüm enthält biotechnologisches Know-how. Die Parfümingredienz Ambra entwickelt sich aus Ambrein, einem Stoffwechselprodukt aus Verdauungsrückständen von Pottwalen. Der Duft ist sehr begehrt und kostet mehrere Tausend Euro pro Kilogramm! Forschenden ist es gelungen, mithilfe von genetisch veränderten Hefezellen den Ambraduft synthetisch herzustellen. Diese Reaktion, die in der Natur durch Salzwasser, Luft und Sonne vonstattengeht, funktioniert also auch im Labor.



Quelle: Eigene Darstellung

Leder

Leder wird meistens aus tierischen Bestandteilen oder synthetischen Kunststoffen hergestellt. Diese Produktionsverfahren sind ressourcenintensiv und häufig wenig nachhaltig. Pilze, zum Beispiel Champignons, schaffen hier Abhilfe: Pilzmyzel (fadenförmige Zellen der Pilze) lässt sich in Bioreaktoren in großem Maßstab günstig züchten und zu einem „Pilz-Leder“ weiterverarbeiten, das eine Alternative zu herkömmlichem Leder darstellt.

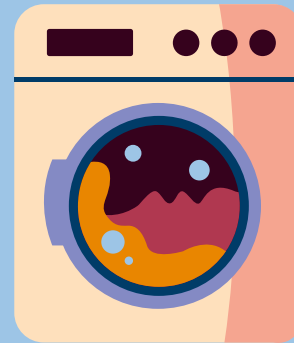
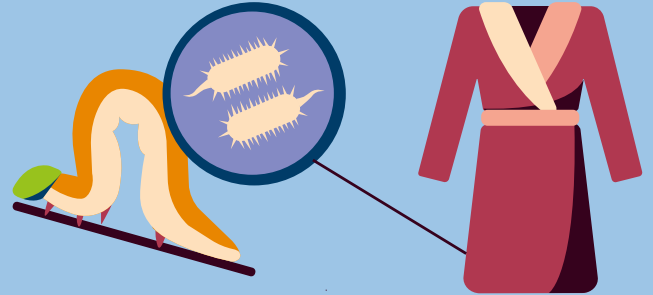


Waschmittel

Biotechnologie hat in den siebziger Jahren das Waschen revolutioniert. Waschmittel enthalten Enzyme – das sind Stoffe, die chemische Reaktionen beschleunigen. So spalten Lipasen Fettmoleküle von Ölflecken, Proteasen entfernen Blutflecken. Dadurch braucht man weniger Wasser und Waschmittel und kann bei niedrigeren Temperaturen waschen. Das spart bis zu fünfzig Prozent Energie pro Waschgang!

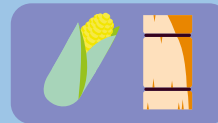
Seide aus Bakterien

Traditionelle Seide wird von Seidenraupen produziert und ist deshalb aufwendig und teuer in der Herstellung. Heute ist es jedoch möglich, Spinnenseide durch genetisch veränderte *E.-coli*-Bakterien in großem Maßstab herzustellen. Diese Seidenfäden sind sogar robuster als die traditionelle Raupenseide und werden für Textilien verwendet. Die Bakterienseide wird auch in der Medizin für Implantate eingesetzt.



Biokraftstoffe

Die neueste Generation der Biokraftstoffe wird anstelle von Mais oder Zuckerrohr aus Stroh hergestellt. Stroh ist ein Reststoff und steht somit nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion. Zuckerbausteine aus dem Stroh werden durch genetisch veränderte Hefezellen zu Bioethanol fermentiert. Diese biotechnologische Produktionsweise wird noch erforscht, gilt aber als mögliche Alternative zu fossilen Brennstoffen.



Biotechnologie im Bioreaktor

Biotechnologische Produktion findet in sogenannten Bioreaktoren (auch Fermenter genannt) statt. Das sind Behälter, in denen perfekte Bedingungen herrschen für Mikroorganismen wie Bakterien, Hefen oder Pilze, die dort die gewünschten Stoffe herstellen. Im Forschungslabor sind diese Bioreaktoren klein und fassen wenige Milliliter bis hin zu ein paar Litern; in großen industriellen Anlagen sind es riesige Behälter mit bis zu einer Million Liter Fassungsvermögen. Die Lebensmittelbranche sowie die Pharma- und Kosmetikindustrie nutzen Bioreaktoren.



Zucker



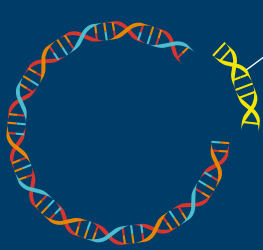
**Alkohol
+
CO₂**



**Der älteste Bioreaktor der Welt:
der Bierbraukessel**

Im Bierbraukessel wird seit mehreren Jahrtausenden Biotechnologie angewendet. Bei der alkoholischen Gärung wandeln Hefen den Zucker aus der Maische (geschrotetes Getreide und Wasser) in Alkohol und Kohlenstoffdioxid um.

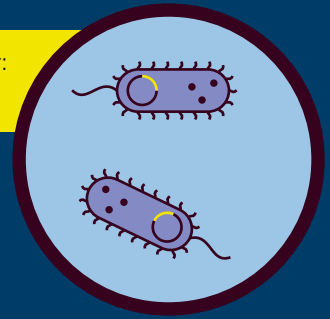
Der Bioreaktor heute: Hightech in der Pharmaindustrie



Gen für gewünschtes Produkt (zum Beispiel Insulin)

Die genetisch veränderte, kreisförmige Bakterien-DNA trägt das Gen für das gewünschte Produkt. Die Bakterien werden im Bioreaktor kultiviert und produzieren zum Beispiel Insulin.

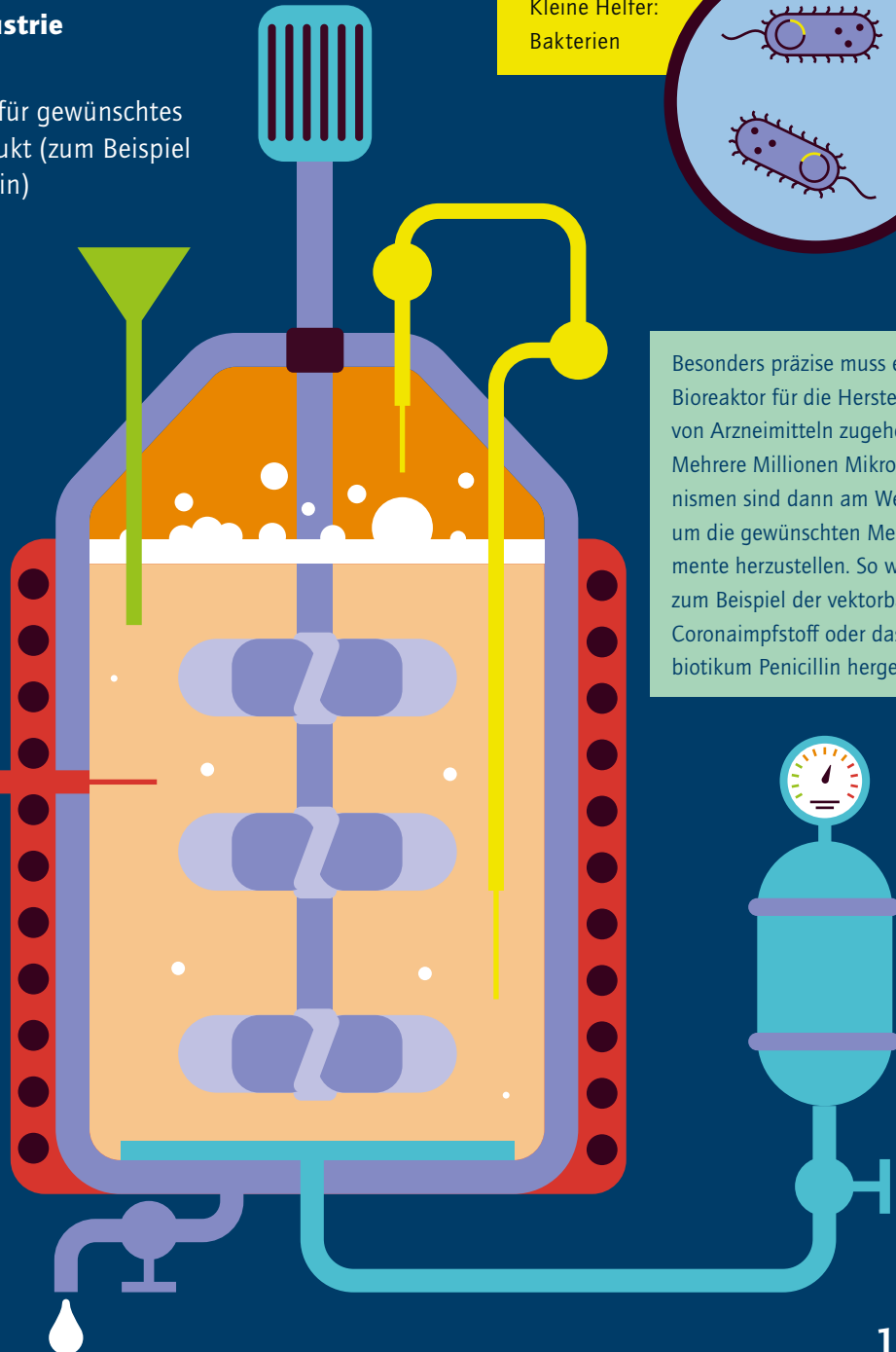
Kleine Helfer:
Bakterien



Besonders präzise muss es im Bioreaktor für die Herstellung von Arzneimitteln zugehen. Mehrere Millionen Mikroorganismen sind dann am Werk, um die gewünschten Medikamente herzustellen. So werden zum Beispiel der vektorbasierte Coronaimpfstoff oder das Antibiotikum Penicillin hergestellt.



In Hightech-Bioreaktoren herrschen ideale Wachstumsbedingungen für Bakterien. Temperatur und Druck können genau eingestellt werden.



Wie Biotechnologie zu gesunder Ernährung beitragen kann

Bis zu 35 Zuckerwürfel – so viel Zucker enthalten einige Getränke. Damit könnte in etwa drei Jahren Schluss sein, denn Forschende haben einen Proteinsüßstoff entwickelt, der aufgrund seines intensiven Geschmacks und seiner guten Wasserlöslichkeit ideal als Zuckerersatz für Getränke geeignet ist. Das sogenannte **Brazzein** stammt ursprünglich aus einer afrikanischen Beere, lässt sich aber ressourcenschonender biotechnologisch herstellen. Es ist in großen Mengen und in standardisierter Qualität viel einfacher und effizienter biotechnologisch zu produzieren und aufzuarbeiten als bei der Isolation aus der Pflanze. Mikroorganismen wandeln hierbei Zucker in das süße Protein um. Somit könnte Brazzein die Getränkeindustrie, die etwa siebzig Prozent des weltweit konsumierten Zuckers bereitstellt, revolutionieren und entscheidend zur Gesundheit der Bevölkerung beitragen. Denn insbesondere der übermäßige Zuckerkonsum erhöht das Risiko, an Typ-2-Diabetes zu erkranken. Die biotechnologische Herstellung des Proteinsüßstoffs könnte daher helfen, den weltweit starken Anstieg an Diabetesfällen aufzuhalten.⁷



2.2 Tradition und Innovation: Biotechnologie zum Essen und Trinken

Biotechnologie orientiert sich an der Natur: Diese hat im Laufe der Evolution Prozesse optimiert, wie zum Beispiel die Herstellung von Zuckern, Aminosäuren, Proteinen und Fetten. Dabei wurden die Systeme der Natur im Durchschnitt immer effizienter: Sie verbrauchen immer weniger Energie und produzieren nur Abfälle und Reststoffe, die sich wieder nutzen lassen. Damit ist der Kreislauf geschlossen. Der Mensch hat dies früh erkannt; seit Jahrtausenden nutzt er biotechnologische Methoden, um Nahrungsmittel wie Brot, Sauerkraut und Wein herzustellen, zu veredeln oder haltbar zu machen. Die Biotechnologie entwickelte sich aus der Beobachtung natürlicher Vorgänge: Milch kippert um, wird sauer; Obstsaft wird zu Essig oder zu Wein, je nachdem, ob zuerst Essigbakterien oder Hefen die Oberhand gewinnen. Diese Beobachtungen haben sich Menschen zunutze gemacht und in optimierte Produktionsverfahren überführt. So hat die Biotechnologie unsere Küchen erobert.

„Biotechnologie ist keine neue Idee, wir verwenden sie bereits seit mehreren Jahrtausenden bei der Herstellung von Lebensmitteln.“

Natürlich hat sich das Wissen über Biotechnologie mit den Menschen weiterentwickelt. Bei der **modernen Aromaherstellung** zum Beispiel setzt die Industrie auf biotechnologische Methoden, da diese oft besonders effizient sind und die natürlichen Ressourcen schonen. Unsere nächsten Schaubilder zeigen, hinter welchen Produkten in unserem Kühlschrank biotechnologisches Know-how steckt und was es mit künstlichem und natürlichem Vanillinaroma auf sich hat (Seite 20 und 22).

Fleischkonsum reduzieren

Die Biotechnologie bietet auch in Sachen Ernährung innovative, nachhaltige Möglichkeiten, um neue Produkte hervorzubringen und gleichzeitig dem **Klimawandel** entgegenzuwirken. So trägt der hohe, stetig wachsende Fleischkonsum signifikant zur globalen Erwärmung bei: **Industrielle Fleischproduktion und Massentierhaltung** sind für **14 Prozent der weltweiten Treibhausgasemissionen** verantwortlich.⁸ Dazu zählen indirekte CO₂-Emissionen durch Futtererzeugung und Energieverbrauch, aber auch direkt freigesetztes Methangas aus dem Magen der Rinder. Auch der Wasser- und Flächenverbrauch bei der Tierzucht ist enorm. Mehr dazu können Sie in **acatech HORIZONTE „Nachhaltige Landwirtschaft“**⁹ lesen. Viele Menschen wollen trotzdem nicht auf Fleisch verzichten, während andere versuchen, ihren Fleischkonsum zu reduzieren, und nach Alternativen suchen.

Alternativen bietet auch hier die Biotechnologie: Eine Möglichkeit der Zukunft ist im Labor hergestelltes Fleisch, sogenanntes **In-vitro-Fleisch oder Cultured Meat**. Laut aktuellen Studien verbraucht In-vitro-Fleisch weniger Wasser und Flächen als konventionell hergestelltes Fleisch aus der Tierzucht. Allerdings benötigt die Herstellung von Laborfleisch mehr Energie, da es momentan nur zu Forschungszwecken produziert wird.¹⁰ Die Prozesse sind noch nicht für die industrielle Herstellung optimiert, weswegen es noch keine verlässliche endgültige Ökobilanz gibt. In-vitro-Fleisch könnte außerdem den Einsatz von Antibiotika in der Tierzucht verringern, was wiederum der Entstehung resistenter Bakterienstämme vorbeugt. Im letzten Schaubild dieses Abschnitts auf Seite 24 sehen Sie, wie es gelingt, Fleisch in der Petrischale und im Bioreaktor zu züchten.

Es gibt auch zahlreiche andere Tierersatzprodukte, die als Proteinquelle dienen und aus pflanzlichen Stoffen hergestellt werden. Dazu zählen traditionelle Fleischersatz-

produkte wie Tofu oder Tempeh, die aus Sojabohnen produziert werden und in vielen asiatischen Küchen schon lange ihren festen Platz haben. Die moderne Biotechnologie bringt auch ständig neue, innovative Tierersatzprodukte hervor. In den USA schreibt gerade ein veganer Burger aus rein pflanzlichen Inhaltsstoffen Erfolgsgeschichte. Neben Weizen-, Kartoffel- und Sojaproteinen sowie Kokosnussöl sorgt eine „magische Zutat“ für den Fleischgeschmack: Leghämoglobin – das pflanzliche Pendant zum Hämoglobin, das bei Menschen und Tieren als roter Blutfarbstoff Sauerstoff bindet. Das pflanzliche Leghämoglobin hingegen wird von Bakterien in den Wurzelknöllchen von Hülsenfrüchten produziert. Forschende haben Bakterien im Labor genetisch so verändert, dass sie Leghämoglobin in biotechnologischen Anlagen produzieren können. Dieser Stoff macht nur 1 Prozent des Burgers aus, trägt aber zu 100 Prozent des „fleischigen“ Geschmacks bei, so die Meinung der Hersteller.¹¹ In Großbritannien werden vegetarische „Fleisch- und Wurstwaren“ aus Pilzmyzel hergestellt.¹² Das feine Pilzgeflecht eines Schlauchpilzes wird fermentiert, und dabei entsteht sogenanntes Mykoprotein, das in den Produkten verarbeitet wird. Geforscht wird auch an der industriellen Produktion von Insekten zur Proteingewinnung. Noch ist das Verfahren zur Extraktion aus Insekten nicht wirtschaftlich und wird weiter erprobt.¹⁰ Prognosen lassen erwarten, dass bis zum Jahr 2030 Fleischalternativen 28 Prozent des globalen Markts für Fleischprodukte ausmachen werden. Bis 2040 sollen es sogar 60 Prozent sein.¹³

„Irgendwann könnte man es schaffen, Fleisch in großen Mengen günstig im Reaktor herzustellen.“

Biotechnologie zum Naschen

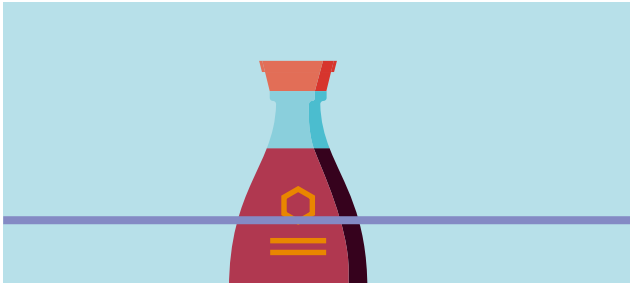
Beim Essen und Trinken begleitet uns Biotechnologie seit Jahrtausenden. Dabei hat der Mensch die Fähigkeiten von Mikroorganismen und deren Enzymen mehr oder weniger bewusst genutzt, um Lebensmittel herzustellen und diese sicherer, verträglicher und schmackhafter zu machen. Egal ob Wein, Käse, Kuchen oder gedämpfte Dumplings: Ohne Biotechnologie gäbe es diese Genüsse nicht.

Das Wort **Joghurt** stammt aus dem Türkischen (yoğurt) und bedeutet „gegorene Milch“. Joghurt gibt es seit Jahrtausenden, und es ist ein klassisches Produkt der Biotechnologie: Bakterienkulturen wandeln Milchzucker in Milchsäure um. Das gibt dem Joghurt eine dickflüssige Konsistenz und macht ihn länger haltbar. Auch die Aromen im Joghurt, etwa Erdbeere oder Vanille, stellt man heute überwiegend biotechnologisch her.

Vor über 4.000 Jahren wurde im Alten Ägypten Hefe zum **Brotbacken** genutzt. Noch heute backen wir unser Brot so: Hefe zersetzt den Zucker im Mehl, und dabei entsteht das Gas Kohlenstoffdioxid, das den Teig „aufgehen“ lässt. In der modernen Biotechnologie spielt Hefe darüber hinaus eine wichtige Rolle, um beispielsweise Medikamente oder Enzyme herzustellen.

Auch **Kimchi** wird durch Fermentationsprozesse, vor allem durch Milchsäurebakterien, gewonnen. In der koreanischen Küche ist Kimchi auf Basis von Chinakohl verbreitet; das Gericht kann aber auch andere Gemüsesorten als Grundlage haben. Das deutsche Pendant ist Sauerkraut, das ebenfalls durch Fermentation länger haltbar und leichter verdaulich wird.

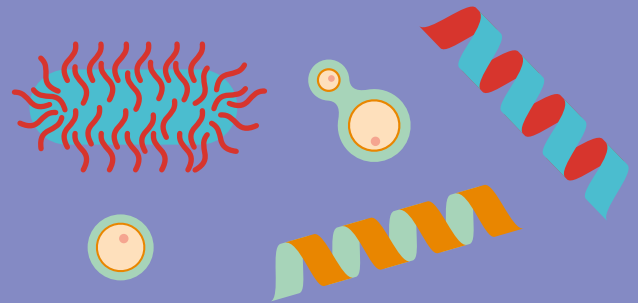




Sojasauce wird seit Jahrhunderten in einem biotechnologischen Prozess mithilfe eines Pilzes aus Sojabohnen und Weizen gewonnen. Erst ab 1950 modernisierten Firmen den Produktionsprozess, der vor allem in Japan in vielen kleinen Manufakturen stattfand. Heute ist die Produktion auf große Mengen ausgerichtet.



Archäologische Funde in Israel deuten darauf hin, dass Menschen bereits vor 13.000 Jahren bierähnliche Getränke herstellten. Im antiken Mesopotamien gab es schon etwa 4.000 v. Chr. eine ausgereifte Bierkultur mit verschiedenen Sorten. **Bier** wird mithilfe von Malz, Wasser, Hopfen und Hefen gebraut. Bei der alkoholischen Gärung wandelt Hefe Zucker in Alkohol um. Diese biochemische Veränderung ist nichts anderes als Biotechnologie.



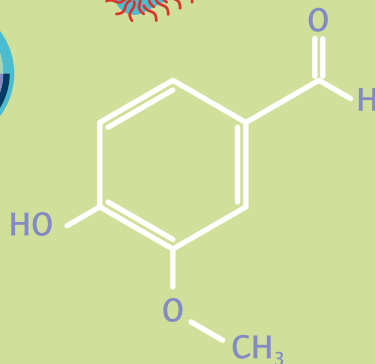
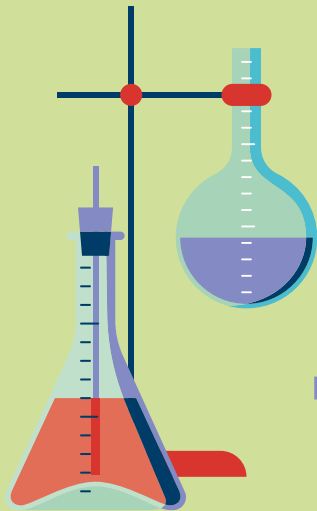
Soll der **Apfelsaft** klar und nicht trüb sein, ist ebenfalls Biotechnologie nötig: Die Enzyme Xylanasen und Pectinasen bauen die pflanzlichen Faserstoffe ab – ohne diese Fasern wird der Saft klar.

Vanillin – das weiße Gold

Schon der Aztekenherrscher Moctezuma würzte im 16. Jahrhundert sein Schokoladengetränk mit Vanille aus Vanille-Orchideen. Bis heute konsumieren wir gerne Süßes und würzen es häufig mit Vanillegeschmack. Dabei legen wir immer mehr Wert auf natürliche, nachhaltige Produkte. Aber was bedeutet „natürlich“? Welche Formen von Vanillegeschmack gibt es?

Vanillegeschmack setzt sich aus vielen Aromastoffen zusammen. Einer davon ist Vanillin. Vanillin lässt sich traditionell chemisch oder biotechnologisch herstellen. Am Ende kommt immer das gleiche **Vanillinmolekül** heraus.

Die Gewürzvanille ist sehr begehrt und nach Safran das zweit teuerste Gewürz der Welt, sogar teurer als Silber!



Was ist natürliches Aroma?

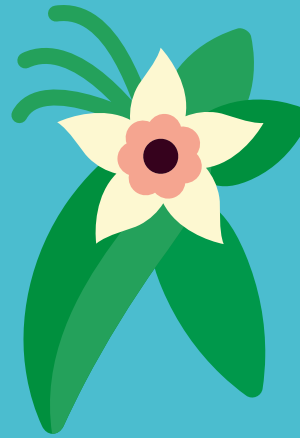
In der EU-Verordnung 1334/2008 ist gesetzlich festgelegt: Als natürlich kann nur deklariert werden, was bereits in der Natur vorkommt und aus natürlichen Rohstoffen in einem natürlichen Prozess hergestellt wird. Alle anderen Aromen dürfen nicht als „natürlich“ bezeichnet werden. Vanillin zum Beispiel, das aus Pflanzenbestandteilen biotechnologisch mithilfe von Bakterien hergestellt wird, gilt als natürlicher Aromastoff.

Vanille

Aus der Vanilleschote



Vanilleschoten sind die Früchte der **Vanille-Orchidee**. Der größte Teil der weltweit angebauten Vanille-Orchideen stammt aus Madagaskar. Nur Vanille von Orchideen aus **Madagaskar und La Réunion** („Île de Bourbon“) darf **Bourbon-Vanille** genannt werden. Der Anbau auf den beiden Inseln ist sehr arbeitsintensiv und kann den weltweiten Bedarf nicht decken.



Vanillezucker darf sich nur so nennen, wenn er echtes Vanilleextrakt aus der Vanilleschote enthält.

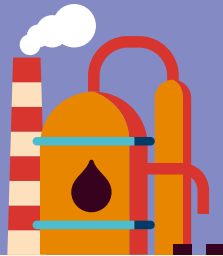
„Bourbon
Vanille-
extrakt“

Vanille
Zucker

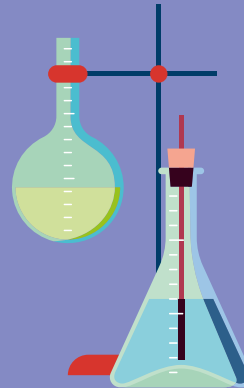


Vanillin:

Chemische Produktion



Traditionell wird Vanillin synthetisch aus **Erdölchemikalien** hergestellt. Es lässt sich auch technisch in einer Oxidation aus Eugenol, einem Bestandteil von Nelkenöl, herstellen.



Vanillinzucker enthält künstlich hergestelltes Vanillin, genauer gesagt „Vanillin-Aroma“, wenn es chemisch produziert wurde.

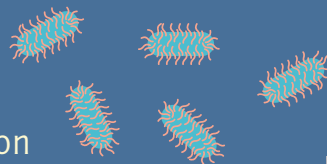
„Vanillin“

Vanillin
Zucker

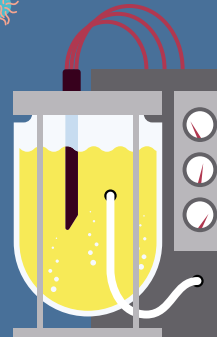


Natürliches Vanillin:

Biotechnologische Produktion



Es gibt verschiedene Wege, Vanillin biotechnologisch herzustellen: Zum Beispiel können natürlich vorkommende Bakterien Ferulasäure aus Reisabfällen durch Fermentation in Vanillin umwandeln. Eine weitere Möglichkeit bieten genetisch veränderte **E.-coli-Bakterien**, die aus Zucker (aus Reis oder Mais) durch Fermentation Vanillin produzieren.



„Natürliches“ Vanillin im Vanillinzucker darf so bezeichnet werden, wenn es mit biotechnologischen Methoden produziert wurde.

„Natürliches
Vanillin“

Vanillin
Zucker



Fleisch aus dem Labor

Schon im Jahr 1932 prophezeite Winston Churchill: „Wir werden von dem Aberwitz abkommen, ein ganzes Huhn zu züchten, um die Brust oder den Flügel zu essen, und diese stattdessen in einem geeigneten Medium züchten.“ Churchills Idee ist heute Realität: Eifrig wird in der Wissenschaft erforscht, wie sich Fleisch im Labor züchten lässt.

2013 stellte Mark Post aus den Niederlanden den ersten In-vitro-Burger, also einen Burger aus dem Labor, vor – er kostete 300.000 Euro! Die niederländische Regierung hatte zuvor 2 Millionen Euro in die Forschung investiert.

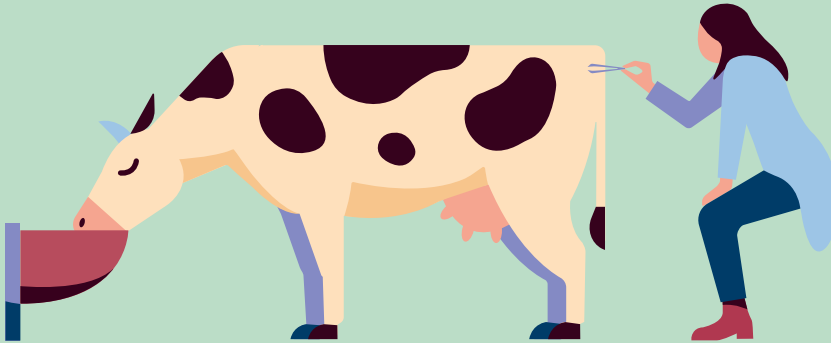
Singapur ist bisher das einzige Land der Welt, das Laborfleisch behördlich genehmigt hat. Daraufhin servierte ein Restaurant im Jahr 2020 knuspriges Sesamhähnchen aus dem Labor für 23 Dollar – eine weltweite Premiere!



Im Vergleich zur konventionellen Fleisch-erzeugung verbraucht In-vitro-Fleisch weniger Wasser und Fläche, und stößt weniger Schadstoffe aus. Um auch bei den Energiekosten zu punkten, muss die Produktionsweise noch optimiert werden.

In-vitro-Fleisch kann Teil der Lösung sein, um die Umwelt- und Klimaprobleme, die mit der heutigen Massentierhaltung verbunden sind, zu minimieren.

Momentan konzentrieren sich Forschende darauf, die Herstellungskosten zu minimieren und den Kaufpreis zu senken. Es kann daher noch einige Jahre dauern, bis Fleisch aus dem Labor in unseren Supermarktregalen liegt.



Dahinter steckt wieder die Biotechnologie:
Eine Forscherin entnimmt einem lebenden
Rind oder Schwein eine kleine Gewebeprobe.
Das tut dem Tier nicht weh.



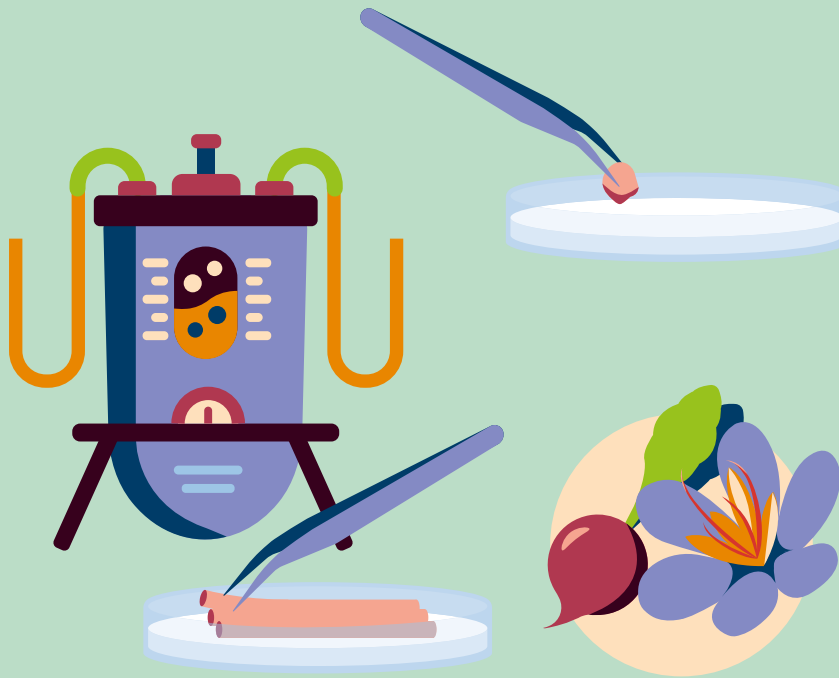
Mit dieser Probe legt sie eine Zellkultur an,
die sich in einem Bioreaktor vermehrt.



Die vermehrten Zellhaufen fügt die For-
scherin zu mehreren Muskelstreifen zu-
sammen. Schicht für Schicht entsteht das
Fleisch in einer Petrischale. Geschmack
und Konsistenz gleichen dem herkömmlich
produzierten Fleisch.



Safran oder rote Bete geben dem In-vitro-
Fleisch die typische rötliche Färbung.



Heute wird an der Hochskalierung dieser
Produktionsweise geforscht. Die Züchtung
von Laborfleisch in größeren Mengen in
Bioreaktoren ist bereits möglich. Dadurch
ließen sich die Produktionskosten seit dem
ersten Prototyp um 99 Prozent senken.



2.3 (Grüne) Biotechnologie in der Landwirtschaft

Pflanzenzüchtung und Gentechnik

Seit die Menschen sesshaft sind, züchten sie Pflanzen, um sich zu ernähren. Sie wählen die größten und stärksten Weizen- oder die schmackhaftesten Tomatenpflanzen aus und verwenden nur diese Samen für die nächste Generation. Um den Prozess zu beschleunigen, setzen Züchter seit Jahrzehnten physikalische oder chemische **Mutagenese** ein. Dazu werden Pflanzen mit ionisierender Strahlung (Radioaktivität) oder Chemikalien behandelt, die zufällige Mutationen im Genom hervorrufen, die wiederum die Größe oder den Geschmack der Pflanze ungezielt verändern können. Nur durch diese Selektion und **Züchtung** verfügen wir heute über einen so ertragreichen Weizen und aromatische Tomaten. Dabei war uns lange Zeit gar nicht bewusst, wie das genau funktioniert. Erst im Jahr 1865 postulierte Mendel seine Theorie zur Vererbung von genbasierten Merkmalen; 1953 entschlüsselten Watson und Crick die Struktur der DNA (siehe erstes Schaubild auf Seite 8). Heute ist das Genom vieler Pflanzen und Tiere vollständig entschlüsselt, und die Wissenschaft kann im Labor gezielt das Genom verändern. Die **Gentechnik bei Pflanzen**, die vor allem in der Landwirtschaft zum Einsatz kommen soll, zählt zur **grünen Biotechnologie**.

„Neunzig Prozent unserer Lebensmittel sind schon mit Gentechnik in Berührung gekommen.“

Wachsende Bevölkerung – wie werden alle satt?

Aufgrund weltweit steigender Bevölkerungszahlen muss auch die Landwirtschaft über neue Wege der Nahrungsmittelbeschaffung nachdenken. Die Vereinten Nationen erwarten, dass bis **zum Jahr 2050** 2,1 Milliarden mehr Menschen auf der Erde leben werden, also insgesamt etwa **9,7 Milliarden Menschen**. Heute schon leiden rund 11 Prozent der Weltbevölkerung, also mehr als 800 Millionen Menschen, an Hunger, vor allem in Afrika und Südasien. Es besteht außerdem bei 2 Milliarden Menschen ein Mangel an lebenswichtigen Nährstoffen wie Eisen, Jod, Zink und Vitamin A. Allerdings stehen nur 11 Prozent der Gesamtfläche unseres Planeten für die Lebensmittelproduktion zur Verfügung. Mit der immer weiter wachsenden Weltbevölkerung und der zusätzlichen Bedrohung durch die Klimakrise wird es zur Herausforderung für die Landwirtschaft, künftig alle Menschen zu versorgen.^{16, 17}

„Es ist fraglich, ob wir zehn Milliarden Menschen ohne Biotechnologie ernähren können.“

Hier könnte die grüne Biotechnologie helfen. Fachleute sind der Meinung, dass **gentechnische Veränderungen Nahrungspflanzen** wie Reis, Mais oder Getreide gehaltvoller, robuster und resistenter machen können. Somit kann der biotechnologische Fortschritt dazu beitragen weltweit genug Nahrung bereitzustellen, obwohl die Landwirtschaft immer mehr Flächen an den Klimawandel verliert und die Weltbevölkerung stetig weiter wächst. In den folgenden Schaubildern auf Seite 30 und 28 erklären wir, wie Forschende eine Pflanze im Labor gentechnisch verändern und warum das sinnvoll sein könnte.

In Deutschland setzt das Gentechnikgesetz den rechtlichen Rahmen für die Anwendung gentechnischer Verfahren. Das Gesetz dient der Förderung der Technologie und erfüllt auch Schutz- und Präventionszwecke. Es regelt das Arbeiten mit gentechnisch veränderten Organismen (GVO), das gezielte Freisetzen von GMO in die Umwelt sowie das Inverkehrbringen von GMO. Die Zentrale Kommission für die Biologische Sicherheit (ZKBS) prüft sicherheitsrelevante Fragen und berät Bund und Länder durch fachliche Stellungnahmen. Zudem beobachten verschiedene Gremien aus Wissenschaft und Gesellschaft, wie zum Beispiel der Deutsche Ethikrat, die Deutsche Forschungsgemeinschaft, die Leopoldina oder die Kirchen die ethischen und gesellschaftlichen Auswirkungen biotechnologischer Anwendungen, wie etwa der Gentechnik.

CRISPR/Cas – die präzise Genschere

Den Nobelpreis für Chemie erhielten im Jahr 2020 Emmanuelle Charpentier und Jennifer A. Doudna für ihre Entdeckung der Genschere CRISPR/Cas. Diese neue gentechnische Methode erlaubt es Forschenden, das Erbgut zielgenau zu schneiden und zu verändern (Genom-Editierung) – und das noch effizienter, schneller und kostengünstiger als mit älteren Methoden. Ursprünglich wurde CRISPR/Cas als

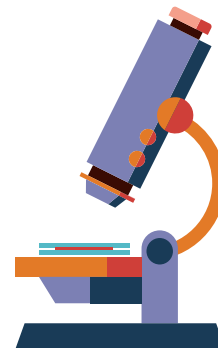
„Immunsystem“ der Bakterien beschrieben, das integrierte Viren-DNA erkennt und entfernt. Forschende nutzen diese Beobachtung, indem sie kleine mRNA-Stränge, sogenannte „guide RNAs“, herstellen, die präzise festlegen, wo im Genom geschnitten wird (siehe Schaubilder auf Seite 30 und 32 und Glossar). Das Cas-Enzym dockt dann an diese guide RNAs an und schneidet den DNA-Doppelstrang. So können Gene entfernt, eingefügt oder verändert werden. CRISPR/Cas ist nicht die erste Methode der Genom-Editierung, zählt aber zu den präzise- und effektivsten. Bei älteren Methoden ist die Anpassung zum Schneiden von unterschiedlichen Genen aufwendiger und dauert länger.

CRISPR/Cas – komplizierte Gesetzgebung frustriert die Pflanzenforschung

Der Europäische Gerichtshof hat entschieden, dass mit CRISPR/Cas veränderte Pflanzen unter das Gentechnikrecht fallen, während Pflanzen, die beispielsweise durch physikalische Mutagenese entstanden sind, davon ausgenommen sind. In der Forschung und Entwicklung wird die Methode deswegen oft nur in den Anfangsphasen eingesetzt, um Pflanzeigenschaften zu verbessern. Die Forschenden wissen dadurch, auf welche Genabschnitte sie einen besonderen Blick werfen müssen. Da der Einsatz dieser Pflanzen verboten ist, wird anschließend versucht, diese Eigenschaften durch erlaubte Verfahren, etwa die Mutagenese der Pflanzen durch ionisierende Strahlung (Radioaktivität), zu erreichen. Das Verfahren wird so lange angewendet, bis per Zufallsprinzip genau die gewünschten Eigenschaften entstehen, die in der Anfangsphase durch CRISPR/Cas erreicht wurden. Genetikerinnen und Genetiker kritisieren dieses Vorgehen, da die Mutagenese zu ungewollten Mutationen im gesamten Genom führt, wohingegen mit CRISPR/Cas gezielte Änderungen möglich sind. Im Mai 2021 hat die EU-Kommission bekannt gegeben, dass das umstrittene europäische Gentechnikrecht überarbeitet werden soll.¹⁸

Wie gesunde Böden unser Überleben sichern

Die Klimakrise soll unter anderem durch die Bioökonomie, ein Wirtschaftssystem, das auf nachwachsenden Rohstoffen basiert, überwunden werden (siehe Seite 7). Diese Transformation beruht also auf Pflanzen, die gesunden Boden zum Gedeihen brauchen. Der Boden, die Erde auf den Feldern und Wiesen, spielt eine zentrale Rolle für die Nahrungsmittelsicherheit, die Biomasseproduktion und die Kohlenstoffspeicherung. Kurz gesagt: Er ist entscheidend für unser Überleben und das des Planeten! Wir brauchen gesunden Boden, um Lebensmittel anzubauen und das Klima zu regulieren, indem CO₂ im Boden gebunden und somit der Atmosphäre entzogen wird. Weltweit werden jedoch immer mehr Flächen durch zu intensive Nutzung unfruchtbar; sie erodieren, trocknen aus und sind nicht mehr für die Landwirtschaft nutzbar. Fachleute rufen dazu auf, die Gesundheit der Böden durch regenerative Landwirtschaft zu sichern. Dabei soll etwa auf den Einsatz von Pestiziden und Kunstdüngern sowie Monokulturen verzichtet werden. Auch innovative biotechnologische Strategien bieten Lösungswege (siehe nächstes Schaubild, „Kleine Helfer im Boden“). Die Bodengesundheit ist das Fundament eines gesunden Klimas: Sie ermöglicht die sichere Beschaffung von Lebensmitteln für die wachsende Weltbevölkerung.



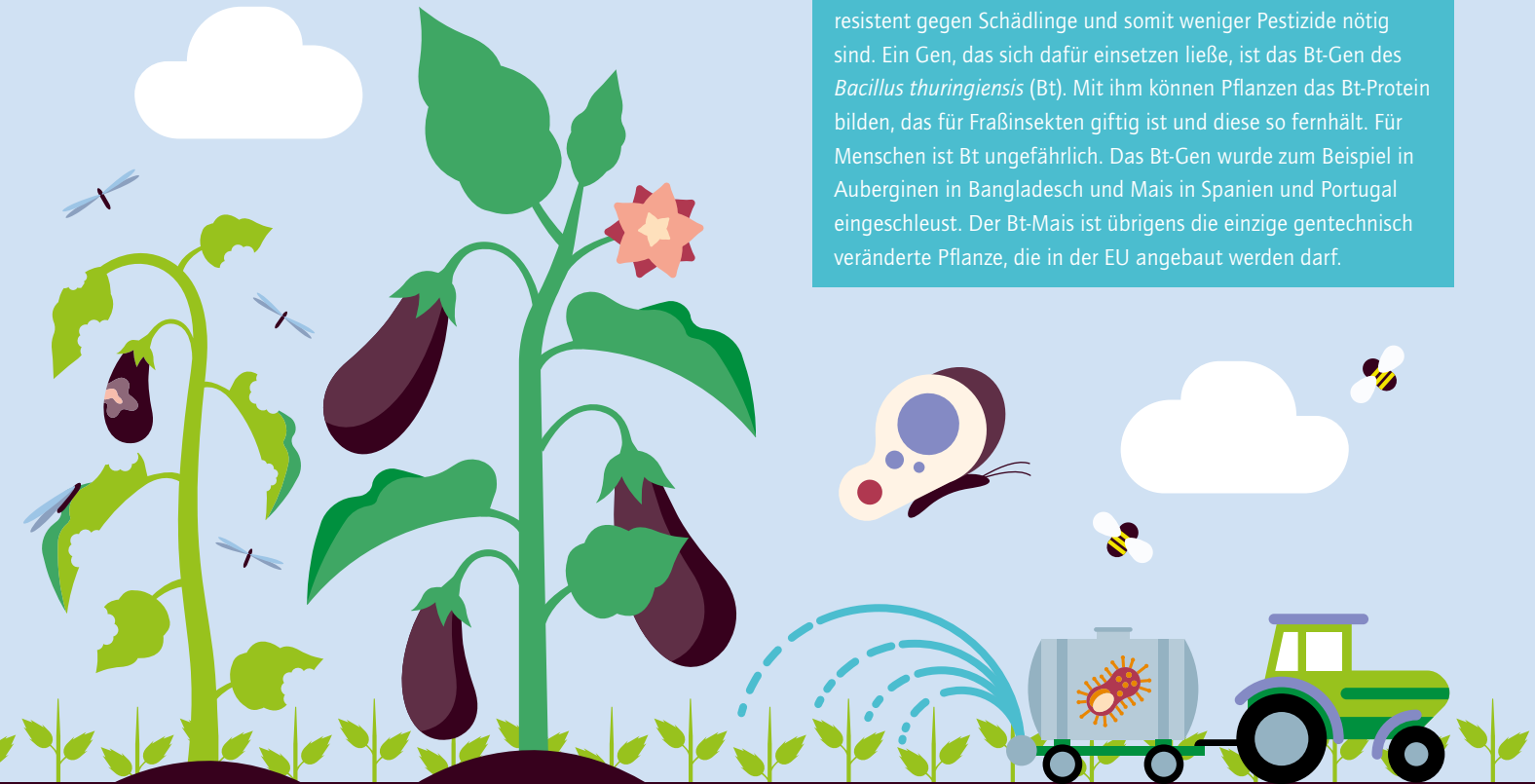
Biotechnologie in der Landwirtschaft

Die Weltbevölkerung wächst stetig; Schätzungen zufolge werden im Jahr 2050 etwa zehn Milliarden Menschen auf der Erde leben. Es gibt also immer mehr Menschen auf unserem Planeten, die Nahrung brauchen. Gleichzeitig sind die Ressourcen endlich. Wie könnten Biotechnologie und Gentechnik dazu beitragen, dieses Problem zu lösen?

Weniger Pestizide dank resistenter Pflanzen?

Um ihre Ernte vor Pflanzenschädlingen zu schützen, setzen Landwirtinnen und Landwirte oft Pestizide ein. Diese sind allerdings schädlich für Mensch und Umwelt: Sie töten nützliche Insekten wie Bienen, verschmutzen Boden und Wasser und sind zum Teil Auslöser von Krankheiten wie Krebs.

Pflanzen könnten gentechnisch so verändert werden, dass sie resistent gegen Schädlinge und somit weniger Pestizide nötig sind. Ein Gen, das sich dafür einsetzen ließe, ist das Bt-Gen des *Bacillus thuringiensis* (Bt). Mit ihm können Pflanzen das Bt-Protein bilden, das für Fraßinsekten giftig ist und diese so fernhält. Für Menschen ist Bt ungefährlich. Das Bt-Gen wurde zum Beispiel in Auberginen in Bangladesch und Mais in Spanien und Portugal eingeschleust. Der Bt-Mais ist übrigens die einzige gentechnisch veränderte Pflanze, die in der EU angebaut werden darf.



Kleine Helfer im Boden

Pflanzen brauchen Nitrat zum Überleben, das in der Landwirtschaft über Gülle oder Dünger zugeführt wird. Zu viel Nitrat ist aber schlecht für Klima, Boden und Grundwasser. Ein US-Biotech-Unternehmen hat einen Dünger entwickelt, der anstelle von Nitrat Bodenbakterien enthält, die auf natürliche Weise Stickstoff aus der Luft in Nitrat umwandeln. Dies verhindert die Überdüngung mit Nitrat.



Pflanzen, die besser mit Hitze klarkommen

Durch die Klimaerwärmung müssen Pflanzen in vielen Teilen der Welt mit höheren Temperaturen und weniger Wasser auskommen. Forschende züchten deshalb resistenterer Nahrungspflanzen, die trotz Hitze und Trockenheit gut wachsen. Klassische Züchtungen dauern sehr lange (oft mehr als zehn Jahre), was als Reaktion auf den Klimawandel zu langsam ist. Methode der Wahl wäre die Genom-Editierung, da sie schnellere und gezieltere Veränderungen an Genen erlaubt, die wichtig sind für die Hitzeresistenz (siehe Kasten S.27 „CRISPR/Cas – komplizierte Gesetzgebung frustriert die Pflanzenforschung“).



Wie werden alle satt?

Vor allem in Entwicklungs- und Schwellenländern haben Menschen oft zu wenig zu essen oder sind nicht ausreichend mit lebenswichtigen Nährstoffen versorgt. Forschende versuchen hier, mithilfe von Bio- und Gentechnologie Lösungen zu finden.

So könnte Reis (Golden Rice) oder Mais mit zusätzlichem Vitamin-A-Gen die Mangelernährung in den betroffenen Ländern bekämpfen. In den USA und Teilen Asiens ist Golden Rice bereits erlaubt.



Wie stellt man eine gentechnisch veränderte Pflanze im Labor her?

Neben der zufälligen Mutagenese gibt es verschiedene moderne Techniken, um eine Pflanze zielgerichtet gentechnisch zu verändern. Mithilfe von Enzymen, die wie Schere oder Kleber wirken, lassen sich Gene austauschen, einfügen oder ausschneiden. So lässt sich theoretisch zum Beispiel das Vitamin-A-Gen in eine Maispflanze einfügen.



1. Eine Maispflanze besteht aus zahlreichen Zellen, von denen jede im Zellkern die Erbinformation in Form von DNA speichert.

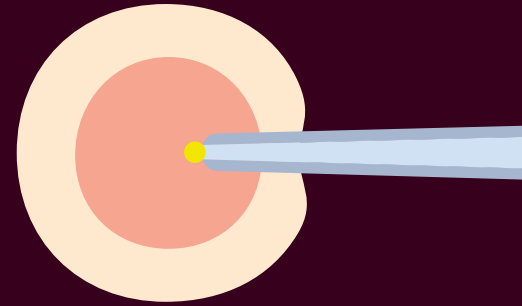
2. Mithilfe von Scherenzymen, sogenannten **Restriktionsenzymen**, können Forschende ein Stück aus der Mais-DNA ausschneiden.

Aktuell verwenden Forschende vermehrt die **CRISPR/Cas-Methode**, um Gene in Pflanzen zielgenauer und effizienter zu verändern (siehe Seite 26). Dabei schneidet das **Restriktionsenzym Cas9** die DNA und kurze RNA-Stücke legen präzise fest, wo genau im Genom dies geschieht.

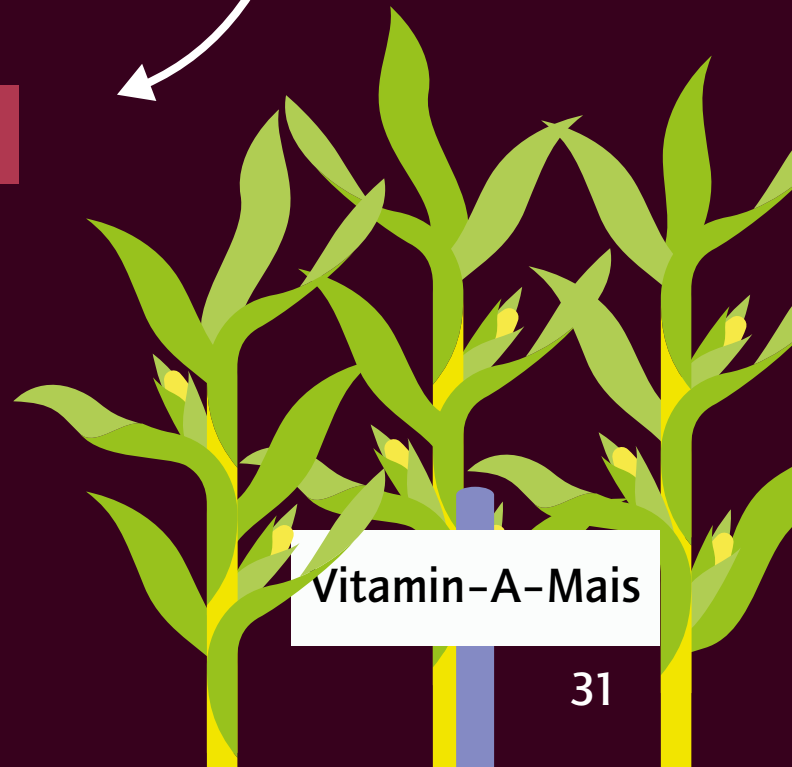
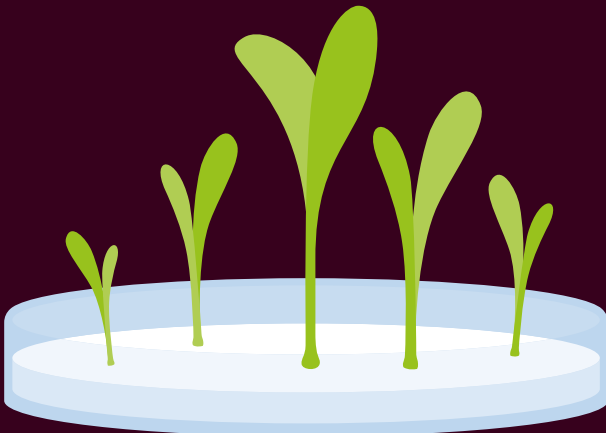
3. Kleberenzyme, sogenannte **Ligasen**, erlauben das Einfügen eines fremden Gens, zum Beispiel des Vitamin-A-Gens (in Gelb).



4. Die veränderte DNA wird in Pflanzenzellen in Gewebekultur eingebracht.



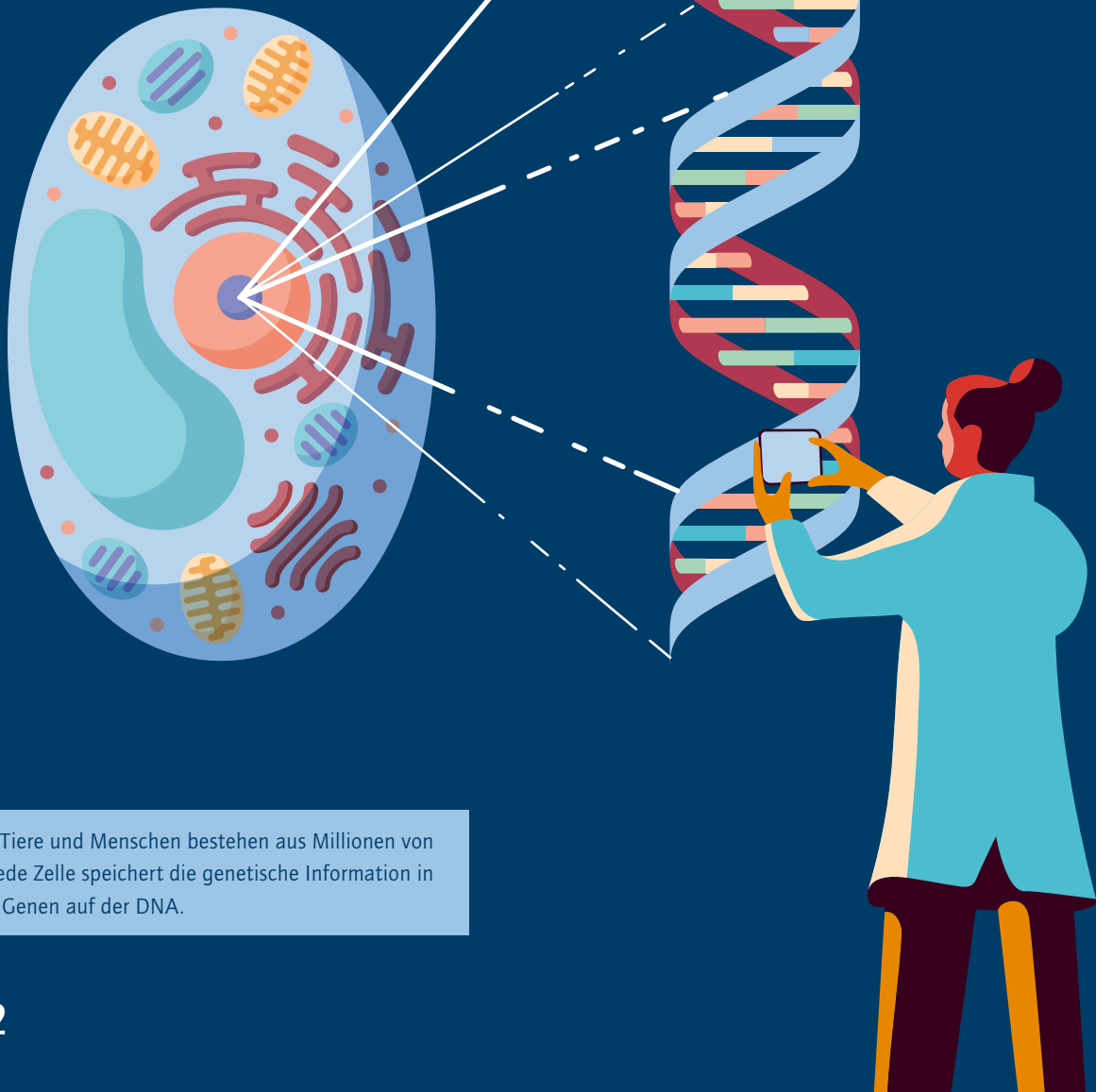
5. Aus diesen Zellen werden dann kleine Pflänzchen gezogen, und der Vitamin-A-Mais ist fertig.



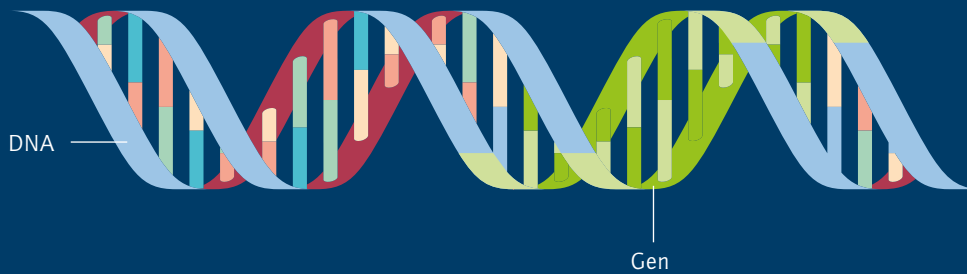
Vitamin-A-Mais

Die Proteinbiosynthese: DNA, mRNA und Proteine

Im Zusammenhang mit der Gentechnik, aber auch im Kontext des Coronaimpfstoffes ist immer wieder von DNA oder mRNA die Rede. Die folgende Abbildung zeigt, was das ist.

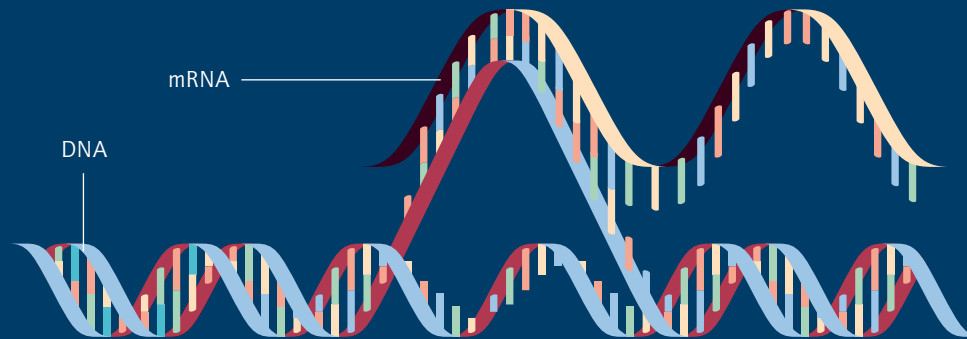


Pflanzen, Tiere und Menschen bestehen aus Millionen von **Zellen**. Jede Zelle speichert die genetische Information in Form von Genen auf der DNA.



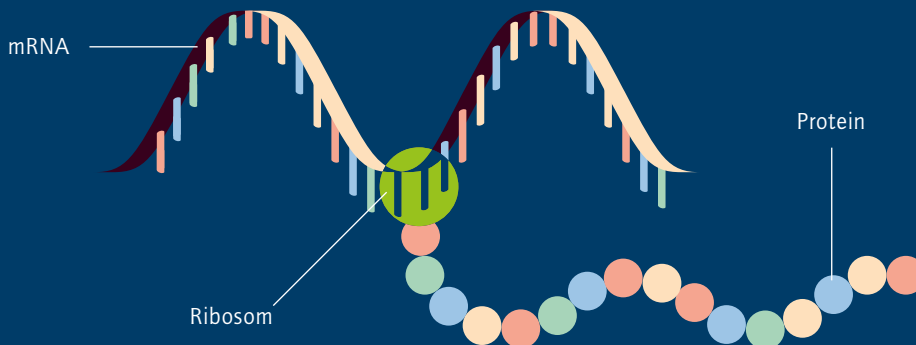
DNA

DNA (Desoxyribonukleinsäure) speichert die genetische Information in unseren Zellen wie ein Bauplan. Bestimmte Abschnitte auf der DNA werden als Gene bezeichnet. Die Gesamtheit aller Gene ist das sogenannte Genom.



mRNA

Vom Bauplan, der DNA, wird die mRNA, eine Arbeitskopie, erzeugt. Die mRNA agiert als Botenmolekül auf dem Weg zum fertigen Protein.



Protein

Die mRNA wird zum Schluss abgelesen, um ein Protein herzustellen, das Zielprodukt. Proteine erfüllen zahlreiche Aufgaben in unserem Körper: zum Beispiel Zellen bewegen, Ionen pumpen oder chemische Reaktionen beschleunigen. Sogenannte Strukturproteine bilden Haut, Haar und Nägel.

2.4. Medizinischer Fortschritt durch biotechnologische Ideen

In der Medizin spielt die Biotechnologie heute eine tragende Rolle in der **Diagnostik und Therapie von Krankheiten**. So sind biotechnologische Methoden an der Entstehung nahezu aller Arzneimittel beteiligt, die heute auf den Markt kommen. Das betrifft alle Stufen der Medikamentenentwicklung: von der Erforschung der Krankheitsursachen über zugrunde liegende Gene bis hin zur Produktion der Medikamente mithilfe von Enzymen oder Bakterien. Auch die Gentechnik zählt zu den biotechnologischen Methoden der Medizin; sie ist zum Beispiel unabdingbar bei der Herstellung von Coronaimpfstoffen oder in der Krebstherapie (siehe Kasten Seite 35).

Eines der ältesten Beispiele für medizinische Biotechnologie ist die **Herstellung des Antibiotikums** Penicillin durch einen Schimmelpilz. Diese Errungenschaft geht auf eine zufällige wissenschaftliche Entdeckung im Jahr 1928 zurück: Alexander Fleming, ein schottischer Mediziner und Mikrobiologe, ließ damals eine Bakterienkultur offen in seinem Labor stehen. Später stellte er fest, dass sich ein Schimmelpilz darauf gebildet hatte. Der Schimmelpilz *Penicillium notatum* produzierte das Antibiotikum Penicillin, das dort Bakterien auf der Platte abtötete, wo er wuchs. Im Zweiten Weltkrieg rettete das Antibiotikum Millionen Menschen das Leben. Heute wird der Penicillin-Schimmelpilz in riesigen Bioreaktoren industriell gezüchtet, um das Antibiotikum in großen Mengen für medizinische Anwendungen zu isolieren. Auch die moderne Herstellung von **Insulin**, dem Hormon, das den Blutzuckerspiegel senkt und das für die Behandlung von Diabetes nötig ist, findet biotechnologisch statt. Früher wurde tierisches Insulin aus der Bauchspeicheldrüse von Schweinen und Rindern gewonnen. Heute wird menschliches Insulin biotechnologisch mithilfe von *E.-coli*-Bakterien in Bioreaktoren hergestellt (siehe Schaubild auf Seite 16); auf den Einsatz tierischer Produkte kann somit verzichtet werden.¹⁹

Das Beispiel der **Entwicklung von Impfstoffen gegen das Coronavirus** zeigt die Vorteile der medizinischen Biotechnologie: Mithilfe modernster Methoden gelang es in äußerst kurzer Zeit, einen effektiven Impfstoff zu entwickeln. Normalerweise dauert die Entwicklung von Impfstoffen mehrere Jahre bis Jahrzehnte. Hier kommt der transdisziplinäre Charakter der Biotechnologie zum Tragen: Die mRNA-Technologie ent-

wickelten Uğur Şahin and Özlem Türeci zunächst mit dem Ziel, Krebszellen an ihrer ungehemmten Teilung zu hindern. Nun veränderten sie den Wirkungsort: Zielmolekül war jetzt das Coronavirus. Unterschiedliche Technologien wirkten zusammen; schnelle Zulassungsverfahren und entsprechende Finanzierung ebneten den Weg weiter. Die Entwicklung der Impfstoffe in dieser Geschwindigkeit war nur mit Biotechnologie und Gentechnik möglich. Das nächste Schaubild auf Seite 36 zeigt, wie Biotechnologie hilft, Coronaimpfstoffe herzustellen.

„Ohne Biotechnologie und Gentechnik gäbe es heute keine Coronaimpfstoffe.“

In der Medizin unterscheidet man grob zwei Einsatzgebiete der Gentechnik: Auf der einen Seite gibt es genetische Veränderungen an sogenannten **somatischen Zellen (Körperzellen)**, wobei nur bestimmte Zellen eines Menschen individuell gentechnisch verändert werden. Ein Beispiel dafür ist die Genterapie, die bei Krebskranken zum Einsatz kommt (siehe Kasten Seite 35). Auf der anderen Seite besteht die Möglichkeit der gentechnischen Veränderung von sogenannten **Keimbahnzellen** (Eizellen oder Spermienzellen): die Keimbahnzellen-Therapie. Hierfür repariert fachärztliches Personal ein defektes Gen in den Keimzellen, bevor diese miteinander verschmelzen und eine befruchtete Zygote hervorbringen. Dadurch lässt sich verhindern, dass vererbte Krankheiten, verursacht durch einen Gendefekt, an die nächste Generation weitergegeben werden. Da die Veränderung vererbbar wird, ist diese Form der Gentechnik am Menschen in Deutschland verboten – so wie in den meisten anderen Ländern.²⁰

„Mit der Genterapie wird ein Großteil der bisher nicht heilbaren Krebsarten therapierbar.“

Genetisch veränderte Immunzellen im Kampf gegen Krebs

Bei der CAR-T-Zell-Therapie werden T-Zellen (Immunzellen) aus dem Blut krebserkrankter Patientinnen und Patienten entnommen und gentechnisch so verändert, dass sie Krebszellen erkennen und zerstören können. Die T-Zellen werden mit einem Gen für den künstlichen Rezeptor CAR (Chimeric Antigen Receptor) ausgestattet; dies geschieht durch die CRISPR/Cas-Methode (siehe Kapitel 2.3). Die Zellen bilden diesen Rezeptor und präsentieren ihn an ihrer Außenhülle, wodurch sie Krebszellen erkennen können. Die Immunzellen mit CAR-Rezeptor heißen CAR-T-Zellen. Im Labor werden diese gentechnisch veränderten CAR-T-Zellen millionenfach gezüchtet, und anschließend werden die Zellen über eine Infusion in den Blutkreislauf der Krebspatienten und -patientinnen zurückgeführt. Nun suchen die CAR-T-Zellen im Körper nach Krebszellen und zerstören diese.²¹



Die vergessenen Pionierinnen der Biotechnologie

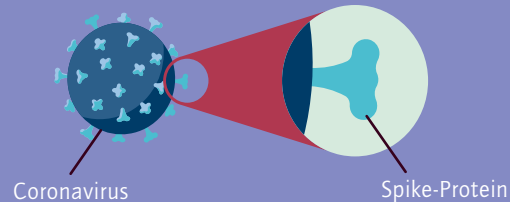
Frauen haben in allen Bereichen der Biotechnologie echte Pionierinnenarbeit geleistet.²² Zum Beispiel geht die Entdeckung und Visualisierung des Coronavirus in den sechziger Jahren auf die schottische Virologin **June Almeida** zurück.²³ In der historischen Betrachtung werden wissenschaftliche Errungenschaften von Frauen aber häufig nicht in gleichem Maße gewürdigt wie die ihrer männlichen Kollegen. So wird die Entdeckung der DNA-Doppelhelixstruktur im Jahr 1953 bis heute überwiegend James Watson und Francis Crick zugeschrieben. Dabei trug die Arbeit der britischen Wissenschaftlerin **Rosalind Franklin** maßgeblich zu den Erkenntnissen der beiden Männer bei. Dennoch erhielt sie für ihre Leistungen – im Gegensatz zu Crick und Watson – keinen Nobelpreis, und auch in Biologiebüchern wird sie häufig ignoriert.²⁴ Auch wenn heute die Studienfächer Biologie und Biotechnologie mit einem Frauenanteil von jeweils rund sechzig Prozent in Deutschland zu den Naturwissenschaften gehören, in denen Frauen am stärksten vertreten sind,²⁵ sind Frauen mit einem Anteil von nur 27% der Biologieprofessuren an deutschen Universitäten in führenden Wissenschaftspositionen noch immer unterrepräsentiert.²⁶ Das gleiche Muster lässt sich in der Wirtschaft, zum Beispiel bei den Unternehmensgründungen in der Biotechbranche in Deutschland erkennen. Der "Female Founders Report", der für seine Studie Gründungsteams von 150.000 Unternehmensgründungen betrachtet, kommt im Bereich "Biotechnologie und Medizin" für das Jahr 2020 auf einen Frauenanteil von 14,8%.³⁹ Es gibt also noch viel zu tun, damit die Errungenschaften von Wissenschaftlerinnen und deren Innovationsgeist die Biotech-Branche erobern – besonders in den Führungsetagen.

Mit Biotechnologie zur Coronaimpfung

Was passiert im Labor? – der Weg zur Coronaimpfung

Die Idee

Die Coronaimpfung trainiert unser Immunsystem, das Coronavirus zu erkennen und zu bekämpfen. Hier kommt das Spike-Protein, ein Protein in der Hülle des Virus, als Wiedererkennungsmerkmal ins Spiel.



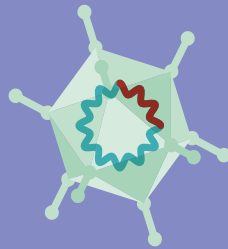
Die Impfstoffe

Am weitesten verbreitet sind zwei Arten von Coronaimpfstoffen – **Vektorimpfstoff** und **mRNA-Impfstoff** – die die genetische Information des Spike-Proteins unterschiedlich verpackt in unseren Körper bringen.

Schon gewusst?

Neben den mRNA- und Vektorimpfstoffen gibt es mittlerweile auch einen proteinbasierten Impfstoff, der das Spike-Protein in Nanopartikel verpackt enthält.

Im **Vektorimpfstoff** steckt **DNA**, die die Information für das Spike-Protein kodiert. Das Ganze wird in einen harmlosen **Vektorvirus** verpackt.



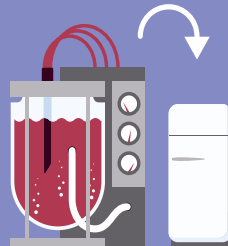
Im **mRNA-Impfstoff** steckt **mRNA**, die die Information für das Spike-Protein kodiert. **Lipid-Nanopartikel** „verpacken“ die mRNA und sorgen dafür, dass die mRNA die Zellmembran passieren kann.



Die Herstellung

mRNA- und Vektorimpfstoffe werden unterschiedlich produziert, jedoch spielen bei beiden Prozessen die **Biotechnologie und Gentechnik** eine zentrale Rolle.

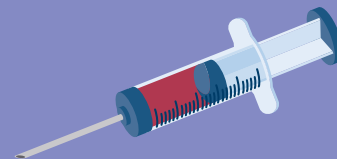
Vektorimpfstoff wird in Zellkulturen in großen Mengen im Bioreaktor gezüchtet. Der Impfstoff ist stabil und kann daher über einen längeren Zeitraum in normalen Kühlschränken gelagert werden.



mRNA-Impfstoff kann man unkompliziert in jedem Labor herstellen. Das geht schnell, günstig und flexibel, wodurch der Impfstoff einfacher an eine Mutation angepasst werden kann. Dafür ist die Kühlung bei -80°C problematisch.

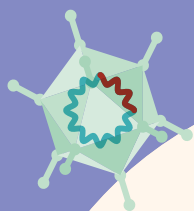


Was passiert in unserem Körper nach der Impfung? – Training für unser Immunsystem



Der **Vektorvirus** mit der Spike-DNA gelangt in unsere Zellen.

Unsere Zellmaschinerie stellt aus der DNA die Spike-mRNA her und daraus wiederum das Spike-Protein.



Das **Lipid-Nanopartikel** mit der Spike-mRNA gelangt in unsere Zellen.

Die Spike-mRNA steht direkt zur Verfügung. Daraus stellt unsere Zellmaschinerie das Spike-Protein her.

Protein-biosynthese:
Unsere Körperzellen stellen selbst das Corona Spike-Protein her!

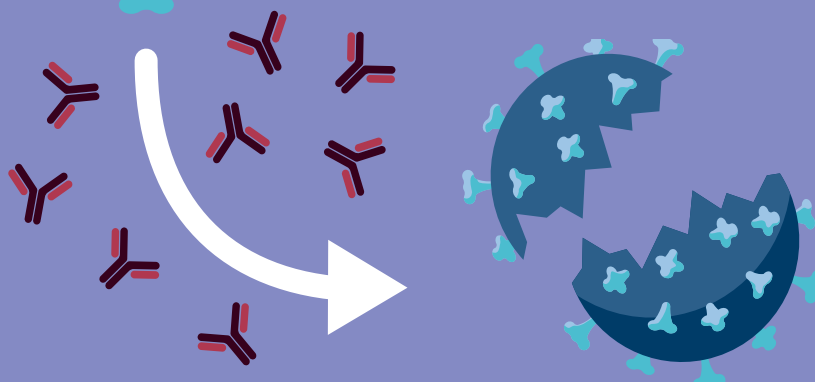
Menschliche Zelle

Spike-Protein

Antikörper

Die Immunantwort

Die Spike-Proteine werden an der Außenseite der Zelle präsentiert und lösen eine Immunreaktion aus. Verschiedene Immunzellen stellen die **Antikörper** gegen das Spike-Protein, und damit gegen das Coronavirus, her. Sollten wir uns mit dem Corona-Virus infizieren, erkennen die Antikörper den Erreger und bekämpfen ihn innerhalb kurzer Zeit.



3

Biotechnologie in Deutschland und anderswo



Dank der Biotechnologie werden wir nach Meinung von Fachleuten im Umgang mit den globalen Herausforderungen wie Gesundheit, Ernährung sowie Umwelt- und Klimaschutz immer größere Fortschritte erzielen. Wie schneidet Deutschlands Biotechbranche im internationalen Vergleich ab? Wie gehen andere Länder mit biotechnologischen Innovationen um? Das folgende Kapitel stellt die deutsche Biotechnologie-Landschaft im internationalen Vergleich vor und zeigt auch interessante Biotech-Projekte aus dem Ausland.

Biotechnologie erlaubt oft eine energieeffizientere Produktionsweise, hilft in manchen Fällen, Flächen und Wasser einzusparen, und bietet Alternativen zu konventionellen Industrien mit hohen CO₂-Emissionen. Im Sinne der Bioökonomie trägt sie dazu bei, durch ein **nachhaltiges Wirtschaften** die Klimaziele zu erreichen. Zudem hat Biotechnologie das Potenzial, unsere Lebensmittel und deren Produktion zu revolutionieren, um das Wohl der Tiere, der Menschen und des Planeten zu sichern. Auch die rasche Coronaimpfstoffentwicklung war nur aufgrund der jahrzehntelangen biotechnologischen Forschung vorab und der fortgeschrittenen Technologien zu dem Zeitpunkt, an dem sie dann wirklich benötigt wurden, möglich. Klimakrise, Ernährung und Coronapandemie sind globale Herausforderungen, die wir aufgrund unserer engen Einbindung in globale Zusammenhänge gemeinsam mit anderen Gesellschaften bewältigen müssen. Dabei hat jedes Land andere gesetzliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen, welche die Entwicklung und Umsetzung biotechnologischer Lösungen beeinflussen.

„Biotechnologie ist neben Künstlicher Intelligenz die zentrale Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts.“

Deutschlands Biotechnologie-Sektor im internationalen Vergleich

Die Coronapandemie verdeutlicht, wie Deutschlands Biotechnologiesektor im internationalen Vergleich dasteht. Fachleute sind sich einig, dass Deutschland wie in den meisten Forschungsgebieten auch in der Biotechnologie zu den Vorreitern zählt.²⁸ Innerhalb kürzester Zeit konnten deutsche Unternehmen aufgrund ihrer Erkenntnisse aus jahrelanger exzellenter Forschung Coronaimpfstoffe entwickeln und auf den Markt bringen. Das Problem hierzulande ist eher die Unternehmensfinanzierung, vor allem beim Sprung vom Start-up zum Unternehmen mit einer auf große Ausbringungsmengen skalierten Produktion. Die Coronapandemie hat zwar zu Rekordwerten bei innerdeutschen Investitionen in der Biotech-

finanzierung geführt, im Ländervergleich sind sie jedoch nach wie vor auf niedrigem Niveau. Zudem erschwert die verschärfte Außenwirtschaftsverordnung Investitionen aus dem Ausland.²⁹ Wegen eines fehlenden Ökosystems für die Wachstumsfinanzierung mit Eigenkapital kann die deutsche Biotechnologiebranche nur schwer ihr volles Potenzial ausschöpfen. Generell werden in Deutschland Start-ups mit riskanten neuen Ideen weniger gefördert als große etablierte Unternehmen. Im Vergleich dazu fließen in den USA mehr Gelder in innovative Start-ups.

Außerdem kritisieren Fachleute die rechtlichen Rahmenbedingungen in Deutschland und Europa, die die biotechnologische Forschung und Unternehmen oft weit hinter dem Möglichen zurücklassen. Firmen, die beispielsweise Gentechnik wie die CRISPR/Cas-Methode an Pflanzen anwenden, stehen vor juristischen Hürden, die die Umsetzungen zu zeitintensiv und kostspielig machen. Für den Anbau von Nahrungspflanzen, die mit CRISPR/Cas genetisch verändert wurden, ist in der EU eine Genehmigung erforderlich, die bis zu ihrer Anwendung etwa 6 Jahre in Anspruch nimmt und Kosten von bis zu 16 Millionen Euro verursacht.³⁰ Dieser gesetzliche Rahmen erschwert und behindert indirekt die wirtschaftliche Skalierung, obwohl CRISPR/Cas Anwendungen per se nicht verboten sind.

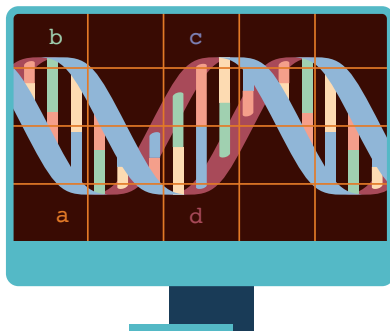
Die Zukunft der medizinischen Biotechnologie: digitale Datenbanken

In der Medizin, etwa bei der Forschung an Covid-19, Krebs oder anderen lebensbedrohlichen Krankheiten, ist die Biotechnologie wichtiger Treiber des Fortschritts. Aktuell arbeiten Forschende an digitalisierten Datenbanken, in denen sie die medizinischen Daten von Patientinnen und Patienten sammeln. Fachleute sehen darin die Grundlage der Medizin von morgen, bei der Krankheiten schon vor ihrem Ausbruch entdeckt werden und personalisierte Therapien standardmäßig zum Einsatz kommen.

Best-Practice-Beispiele sind einige biologisch-medizinische Datenbanken aus anderen europäischen Ländern.³¹⁻³⁴ Die unabhängigen digitalen Datenbanken aus Großbritannien und Finnland speichern medizinische Daten von jeweils ca. 500.000 Menschen und stellen diese für die Forschung zur Verfügung.^{31, 32} Dazu gehören allgemeine medizinische Fakten wie Größe, Gewicht und Blutdruck, aber auch genetische Sequenzen der Personen. Im Sinne des Datenschutzes erfolgt die Datenspende bei diesen Datenbanken freiwillig und pseudonymisiert. Die Datenbanken wachsen

ständig und stellen der Wissenschaft diese Daten zur Verfügung, um an lebensbedrohlichen Krankheiten wie Krebs zu forschen. Die vorhandene Menge an biomedizinischen Daten bietet den Forschenden neue Möglichkeiten, Zusammenhänge zu erkennen und damit die Gesundheit der Menschheit nachhaltig zu verbessern. Dies hat bereits zu zahlreichen wissenschaftlichen Entdeckungen geführt, die wiederum die Grundlage für medizinische Anwendungen in der biotechnologischen Medikamentenherstellung bilden. Somit gehen Digitalisierung, Big Data,^b Forschung und Biotechnologie Hand in Hand, um für die Gesundheit der Menschen weltweit zu sorgen.

Um in Zukunft personalisierte Medizin für den Einzelnen zu ermöglichen, bedarf es ebendieser „Medizin der Vielen“, also digitalisierter Datenbanken, die medizinische Datenspenden von vielen Teilnehmenden zusammentragen. Nur so ist es möglich, Krankheiten frühzeitig zu erkennen und zu behandeln, anstatt erst im fortgeschrittenen Stadium dagegen vorzugehen. Der Plan **genomDE** des Bundesministeriums für Gesundheit verfolgt das Ziel, Genomsequenzierungsdaten in Deutschland zu verwenden und in großem Stil für die Forschung bereitzustellen.³⁷ Dies soll zu einer besseren, gezielteren Gesundheitsversorgung führen, natürlich stets mit Einwilligung der Patientinnen und Patienten. Die Analyse großer Datenmengen wird weltweit den Weg für neue, moderne Diagnostik und Therapien ebnen. Das kann nur durch internationale, transdisziplinäre Zusammenarbeit gelingen.



^b Big Data (englisch für „große Daten“) steht für Datenmengen, die zu groß oder komplex sind, um sie mit herkömmlichen Methoden zu analysieren.

Der Algorithmus im weißen Kittel

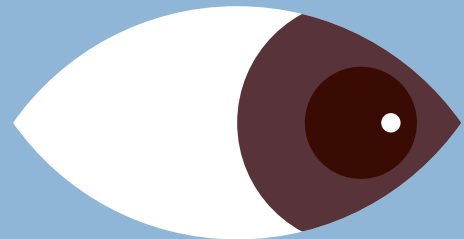
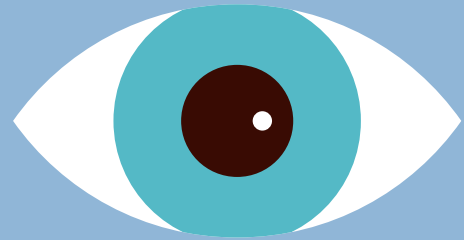
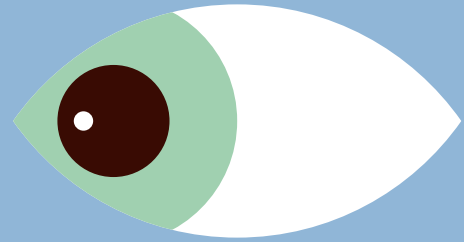
Mehrere Faktoren tragen dazu bei, dass sich die medizinische Biotechnologie sehr dynamisch entwickelt. Grundlage sind die immer besseren Methoden zur Analyse biologischer Prozesse und Systeme; die so generierten Daten müssen digitalisiert zusammengetragen werden. In der darauffolgenden Auswertung und Verknüpfung der dabei anfallenden, sehr großen Datenmengen (Stichwort „Big Data“) kommt der Informatik eine entscheidende Bedeutung zu. Mehr und mehr **KI-Algorithmen** (Künstliche Intelligenz) werden eingesetzt, um Muster und Zusammenhänge zu erkennen, die das menschliche Auffassungsvermögen übersteigen. So arbeiten Forschende zum Beispiel an KI-Algorithmen, die Tumore in Mammografie-Bildern zuverlässiger erkennen als erfahrene Ärzteaugen. Generell wäre die Analyse genetischer Sequenzen von Tausenden von Menschen ohne die Kniffe der Informatik gar nicht möglich.

Daneben werden auch immer mehr medizinische Daten in **Computermodellen** analysiert. So lassen sich die biologischen Prozesse einer Krankheit am Computer simulieren, um etwa den Verlauf dieser Krankheit oder das Ansprechen auf eine Therapie bei Erkrankten besser beurteilen zu können. Ein sogenannter „Digitaler Zwilling“, also ein virtuelles Abbild der Person am Computer, wird erzeugt. An diesem lassen sich individuelle Behandlungsmethoden testen. Der Vorteil der Simulation: Durch virtuelle Experimente werden schnell neue Erkenntnisse gewonnen und damit bessere Therapieansätze ermöglicht.

Beispiel: Vereint gegen den Grünen Star

Weltweit sind fast achtzig Millionen Menschen am Grünen Star erkrankt, einer Augenkrankheit, die zu Erblindung führen kann. Erhöhter Druck im Auginneren löst den Grünen Star aus, der optische Nerv wird geschädigt und das Sehen beeinträchtigt. Obwohl bereits einige Gene entdeckt wurden, die bei verändertem Augeninnendruck und Grünem Star eine Rolle spielen, gibt es bisher keinerlei klinische Ergebnisse, die zu einer neuen Therapieform geführt hätten.

Eine aktuelle Studie nutzte genetische Daten von mehr als 500.000 Patientinnen und Patienten aus finnischen und britischen Datenbanken, um die genetische Grundlage der Augenkrankheit weiter zu erforschen. Aufgrund der Datenfülle entdeckten die Forschenden eine bis dahin unbekannte, seltene Variante eines Gens. Personen, die diese Genvariante tragen, hatten einen niedrigeren Augeninnendruck und ein vermindertes Risiko, an Grünem Star zu erkranken. Dieses Wissen nutzen jetzt Pharmaunternehmen, um mit biotechnologischen Methoden Medikamente zu entwickeln, die auf dieses neu entdeckte Gen abzielen. Die Ergebnisse dieser Studie konnten nur dank der Demokratisierung großer medizinischer Datenmengen durch diese Datenbanken erreicht werden. Dieses Beispiel zeigt, wie Forschung, Digitalisierung und biotechnologisches Know-how Hand in Hand gehen, um über nationale Grenzen hinweg für das Wohlbefinden der Menschen zu sorgen.^{35, 36}



4

Was sollte jetzt noch passieren ?



Wie geht es weiter? Was sollte jetzt passieren, damit die Potenziale der Biotechnologie voll ausgeschöpft werden und Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt gleichermaßen von ihr profitieren? Was müssen wir tun, damit die Biotechnologie uns hilft, Probleme der Menschheit wie Ernährung und Klimawandel in den Griff zu bekommen? Und welche Rolle spielen dabei Staat, Unternehmen, Forschung und Gesellschaft?

Die Politik kann über Fördergelder und Gesetzgebung den Spielraum der Biotechnologie mitgestalten. Vor allem bei der Förderung von Start-ups und mittelständischen Unternehmen wäre mehr Risikobereitschaft und die vermehrte Unterstützung junger, agiler Akteure wünschenswert. Die Betrachtung der rechtlichen Regularien der Gentechnik zeigt: Langwierige, kostenintensive Genehmigungsprozesse behindern Innovationen. Wissenschaft und Forschung sind Motor und Fundament des biotechnologischen Fortschritts. Studierende der Fächer Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT) sollten schon im Studium die Prinzipien des Unternehmertums kennenlernen, damit sie Forschungsergebnisse in die Anwendung bringen.

Transparente Wissenschaftskommunikation nimmt in dem Kreislauf aus Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft eine immer bedeutendere Rolle ein. Abstrakte wissenschaftliche Konzepte sind verständlich aufzuarbeiten und in alle Richtungen zu kommunizieren: an die Laien in der Gesellschaft, um einen Dialog zu ermöglichen, und an die Verantwortlichen in der Politik, damit diese die richtige Richtung vorgeben. Dabei sind wissenschaftliche Informationen zwar wichtig, sie müssen aber nicht zwangsweise zu einer gesellschaftlichen Akzeptanz gegenüber neuen biotechnologischen Anwendungen führen. Vielmehr braucht es einen offenen Dialog zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit, in dem Meinungen, Erwartungen und Befürchtungen der Öffentlichkeit berücksichtigt werden können.³⁸ Auch wenn es wichtig ist, solche Diskurse ohne ein vorab festgelegtes Meinungsbild zu führen, ist es wünschenswert, dass die Gesellschaft die Vorteile dieser Technologien für die eigene Lebenswirklichkeit erkennt. Das ist nötig, damit Konsumierende ihre Marktmacht nutzen und durch ihre Kaufentscheidungen die Wirtschaft mitlenken.

Von der Politik über Wirtschaft und Forschung bis hin zur Gesellschaft schließt sich der Kreis. Ziehen alle Akteure an einem Strang, bietet die Biotechnologie enorme Chancen, unsere Zukunft nachhaltig, gesund und modern zu gestalten.

„Eine Aufgabe der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ist es auch, besser zu kommunizieren, um Verständnis in Politik und Gesellschaft zu schaffen.“

Dialog der Akteure

Politik als Rahmengestalterin



Rahmenbedingungen und Gesetze flexibler und agiler gestalten, um Tempo mit dem technischen Fortschritt zu halten.

Wirtschaft

Potenzial der Biotechnologie für die Wirtschaft erkennen und nutzen.

Heterogene Teams: Komplexe Systeme der Natur können nur transdisziplinär verstanden werden.

Investitionen und Partnerschaften zwischen kleinen und mittleren Unternehmen sowie Start-ups fördern.

Akteure außerhalb der Unternehmenswelt als Investierende besser einbinden. Offenheit für neue **Finanzierungsmodelle** wie Crowd-Funding und genossenschaftliche Konzepte fördern.



Das Fundament: Wissenschaft und Forschung



Unternehmertum in MINT-Studiengänge integrieren. Interdisziplinarität verstärken.



Verzahnung mit Unternehmen: Forschung in die Anwendung bringen.



Nicht nur auf Platzhirsche, sondern auch auf **Start-ups** setzen.



Dialog mit der Wissenschaft stärken. Über Vorbehalte gegenüber Biotechnologie reden und die Gesellschaft aufklären.



EU Green Deal Investment Plan: nachhaltige Investitionen fördern.

Gesellschaft

Chancen erkennen: Biotechnologie als Beitrag zu Nachhaltigkeit, Gesundheit, Umwelt und Tierwohl.

Bereitschaft zum Dialog: Die aufgeklärte Gesellschaft kann sich durch den Dialog mit Wissenschaft und Politik frei eine Meinung bilden zu biotechnologischen Themen.

Marktmacht als Konsumierende: Vor allem die jüngere Generation ist sensibilisiert für das Thema Nachhaltigkeit und kann durch ihr Konsumverhalten einen positiven Beitrag leisten.



Ethische Aspekte proaktiv aufgreifen und den Dialog mit anderen Stakeholdern gestalten.



Transparente Wissenschaftskommunikation: Mit neuen Formaten, sozialen Medien und Podcasts der Gesellschaft wissenschaftliche Konzepte erklären.

Glossar

Aminosäuren: Aminosäuren sind die Bausteine der Proteine (Eiweiße). Insgesamt gibt es 21 Aminosäuren, wobei der menschliche Körper auf 9 davon angewiesen ist. Diese kann er nicht selbst herstellen, sondern muss sie über die Nahrung aufnehmen.

Antibiotikum: Antibiotika sind natürliche Stoffwechselprodukte von bestimmten Bakterien oder Pilzen (z.B. Penicillin). Antibiotika können Bakterien abtöten oder das Wachstum von Bakterien hemmen. Daher werden sie heutzutage als Arzneimittel für bakterielle Krankheiten verwendet und hierzu häufig auch synthetisch oder gentechnisch hergestellt.

Antigen: Antigene sind Stoffe, die der menschliche Körper als fremdartig erkennt und daraufhin die erworbene Immunantwort zur Abwehr aktiviert. Antigene können Eiweiße, Kohlenhydrate oder andere Stoffe sein. Das Wort Antigen ist abgeleitet vom englischen Begriff Antibody Generator, zu Deutsch Antikörper-Erzeuger.

Antikörper: Antikörper sind Proteine, die der Körper nutzt, um Krankheitserreger zu bekämpfen. Sie werden von den weißen Blutzellen hergestellt und ausgeschüttet, wenn der Organismus mit einem Antigen in Kontakt gekommen ist.

Bakterien: Bakterien sind die kleinste Lebensform auf unserem Planeten und zählen zu den Mikroorganismen. Sie sind Einzeller und besitzen nur wenige Zellorganellen. Außerdem haben sie keinen Zellkern, weshalb sie zu den Prokaryoten gehören. Häufig hängen Bakterien zwar physisch in einem Verbund zusammen, sind aber dennoch meistens vollkommen unabhängige Organismen.

Desoxyribonukleinsäure (DNA): Die DNA ist der Träger der Erbinformation in jedem Lebewesen. Sie besteht aus zwei Strängen, die sich je aus Phosphat und einem bestimmten Zucker (Desoxyribose) zusammensetzen und sich gegenseitig umschlingen. Zwischen den Strängen befinden sich die Nukleobasen, welche über molekulare Wechselwirkungen miteinander verbunden sind. Die DNA dient als Bauplan für die Bildung von entsprechender RNA, die zur Synthese von Proteinen genutzt wird.

Enzyme: Enzyme sind Eiweiße, die als Biokatalysatoren fungieren. Sie beschleunigen biochemische Reaktionen, indem sie die Energiebarriere für den Start einer Reaktion herabsetzen. Viele wichtige Stoffwechselprozesse wären ohne Enzyme nicht denkbar. Enzyme arbeiten sehr spezifisch: Ein bestimmtes Enzym katalysiert nur eine bestimmte Reaktion (Schlüssel-Schloss-Prinzip).

Escherichia coli (E. coli): Das Bakterium *E. coli* kommt natürlicherweise im Darm von Vögeln, Säugetieren und Menschen vor. Es spaltet Nährstoffe oder wehrt Krankheitserreger ab. *E. coli* umfasst viele verschiedene Bakterienstämme, von denen einige auch Krankheiten und Infektionen auslösen können. Da das Bakterium schon sehr gut erforscht ist, kommt es in der Gen- und in der Biotechnologie für Forschung und Produktion häufig zum Einsatz.

Fermentation: Fermentation bezeichnet alle Prozesse, in denen in der Regel Mikroorganismen oder einzelne Enzyme einen organischen Ausgangsstoff in seiner chemischen Zusammensetzung verändern. Ob bei der Lebensmittelherstellung, der Produktion von Medikamenten oder in der Kläranlage – Fermentation ist der zugrundeliegende Prozess nahezu aller Anwendungen der Biotechnologie und findet in großem industriellem Maßstab in sogenannten Bioreaktoren (Fermentern) statt.

Fette: Fette sind organische Moleküle, die als Grundgerüst das Molekül Glycerin besitzen, an das verschiedene Fettsäuren angebunden sind. Je nach Eigenschaften sind Fette bei Raumtemperatur fest oder flüssig (Öl). In der Natur vorkommende Fette werden Lipide genannt. Aufgrund ihres hohen Brennwertes sind sie der wichtigste Energiespeicher für den menschlichen Körper.

Gen: Als Gen wird ein Abschnitt der DNA bezeichnet, auf dem sich die Information zur Herstellung eines mRNA-Strangs befindet, der dann zum Protein umgesetzt wird. Somit bestimmen Gene sämtliche Merkmale eines Lebewesens. Dabei legt meist die Kombination aus mehreren Genen ein bestimmtes Merkmal eines Lebewesens fest.

Genom: Das Genom, auch als Erbgut bekannt, bezeichnet die Gesamtheit der Erbinformation einer Zelle.

Hefe: Hefen sind einzellige Pilze; sie zählen zu den Mikroorganismen und vermehren sich durch Sprossung oder Teilung. Hefen werden schon seit Jahrtausenden in biotechnologischen Prozessen, insbesondere bei der Lebensmittelproduktion, verwendet. In der Biologie spielen sie als Modellorganismen eine wichtige Rolle, weil sie zu den kleinsten eukaryotischen Organismen gehören und daher leicht kultiviert und untersucht werden können.

Ligase: Ligasen sind Enzyme, die den Prozess der Verknüpfung zweier Moleküle durch eine chemische Bindung beschleunigen können. Hierzu benötigen sie externe Energie, die sie beispielsweise durch die Spaltung energiereicher Moleküle gewinnen.

Messenger-RNA (mRNA): Im Gegensatz zur DNA ist die mRNA ein einzelner Strang, dessen Gerüst auf dem Zucker mit dem Namen Ribose basiert (bei DNA: Desoxyribose). Die mRNA dient als Bauplan für die Synthese eines bestimmten Proteins. Zuerst wird der DNA-Strang mittels eines Enzyms aufgetrennt, damit dann ein entsprechender mRNA-Strang synthetisiert wird. Die mRNA wird anschließend aus dem Zellkern hinaus zu den Ribosomen transportiert, wo dann die Information zur Bildung des Proteins abgelesen und das Protein im nächsten Schritt gebildet wird.

Molekül: Ein Molekül besteht aus mindestens zwei Atomen, die durch chemische Bindungen vereint sind. Es gibt sehr einfache Moleküle, die nur aus zwei gleichartigen Atomen bestehen (Sauerstoffmolekül O_2), und sehr viel komplexere Makromoleküle wie die DNA.

Mutagenese: Mutagenese beschreibt die bewusste Erzeugung von Mutationen in Lebewesen mithilfe chemischer oder ionisierender Stoffe. Meist ist die Mutagenese ungerichtet, das heißt, dass kein bestimmtes Gen verändert, sondern primär die Mutationsrate im Erbgut eines Lebewesens erhöht wird. Die moderne Gentechnik ermöglicht allerdings auch gezielte Mutationen; dies nennt man Genom-Editierung.

Mutation: Eine Mutation beschreibt die spontane, irreversible Veränderung der Erbinformation eines Lebewesens. Dabei lassen sich Mutationen in verschiedene Kategorien klassifizieren – je nachdem, welche Zellen von der Mutation betroffen sind, wieso diese eingetreten ist oder welche Folgen sie hat.

Nitrat: Nitrate sind Stickstoffverbindungen, die von Natur aus in Böden vorkommen. Sie sind wichtige Nährstoffe für Pflanzen und werden daher in der Landwirtschaft als Bestandteil von Düngemitteln eingesetzt. Übergroße Mengen an Nitrat können für den menschlichen Organismus, insbesondere für Säuglinge, schädlich sein.

Organismus: Organismen sind komplexe Lebewesen, bei denen sich aus verschiedenen Organen eine funktionale Einheit zusammensetzt. Es gibt auch mikroskopisch kleine Organismen, die aus einzelnen Zellen oder Zellaggregaten bestehen. Das sind die Mikroorganismen, zu denen Bakterien, Viren, Pilze und Einzeller gehören.

PCR: Die Polymerase-Kettenreaktion (englisch Polymerase Chain Reaction) ist eine molekularbiologische Methode zur Vervielfältigung von DNA. Das Enzym, das die DNA kopiert, heißt Polymerase.

Pestizide: Der Begriff Pestizide umfasst Pflanzenschutzmittel, welche im Agrar-, Forst- und Gartenbereich angewendet werden, und Biozide, die zur Bekämpfung von Schädlingen und Krankheitsüberträgern im Haushalt eingesetzt werden. Die Stoffe werden chemisch hergestellt und sind für die jeweils unerwünschten Organismen giftig.

Pilz: Pilze bilden in der Biologie ihr eigenes, sehr vielfältiges Reich. Es gibt etwa 100.000 Pilzarten, die sich in ihrer Größe stark unterscheiden – vom mikroskopisch kleinen Schimmelpilz bis hin zum Speisepilz auf unserem Teller. In Abgrenzung zu Pflanzen können sie nicht organische Substanz aus Lichtenergie aufbauen, sondern ernähren sich von lebenden oder toten Organismen.

Proteine: Proteine (auch Eiweiße genannt) sind die wichtigsten biochemischen Funktionsträger; sie machen 15 bis 17 Prozent der menschlichen Körpermasse aus. Chemisch betrachtet sind Proteine Makromoleküle, die aus Aminosäuren bestehen, die mittels sogenannter Peptidbindungen miteinander verknüpft sind. Der Bauplan aller Proteine ist in der DNA gespeichert. Proteine sind äußerlich für alle sichtbar, so zum Beispiel Haare, sie befinden sich aber auch innerhalb des menschlichen Körpers, etwa das Hämoglobin.

Restriktionsenzym: Restriktionsenzyme sind Enzyme, die bestimmte Positionen an der DNA-Doppelhelix erkennen und diese „schneiden“ können. Sie kommen ursprünglich in bestimmten Bakterien vor und dienen dort der Abwehr von Viren. Seit den siebziger Jahren kommen sie auch im Labor bei bestimmten gentechnischen Prozessen zum Einsatz.

Spike-Protein: Spike-Proteine sind Proteine, die sich auf der Virushülle befinden und wie Stacheln nach außen ragen (englisch Spike). Sie erfüllen eine wichtige Funktion, wenn das Virus an eine Wirtszelle andockt. Nur durch das Binden der Spike-Proteine an Rezeptoren der Wirtszelle kann das Virus seine Erbinformation ins Zellinnere einbringen.

Viraler Vektor: Medizin und Gentechnik verwenden virale Vektoren, um Erbinformationen in eine Zelle zu schleusen. Als Vektoren werden dafür meist inaktivierte Viren genutzt, die sich nicht mehr vermehren können. Der Transportprozess wird als Transduktion bezeichnet.

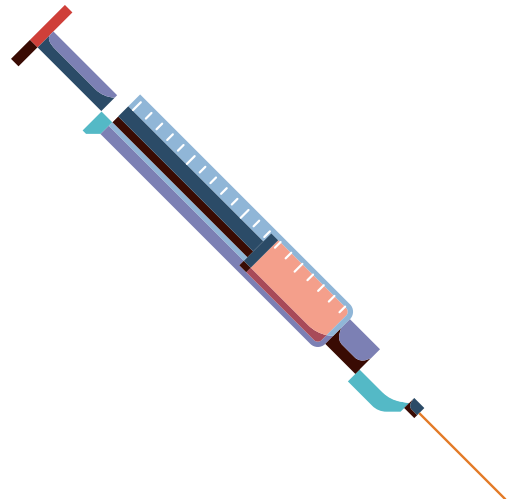
Viren: Viren sind infektiöse Partikel, die keinen eigenen Stoffwechsel haben und sich nur durch eine geeignete Zelle (Wirt) vermehren können, indem sie dafür sorgen, dass der Wirt neue Viren herstellt. Per biologische Definition gelten sie somit nicht als Lebewesen. Sie sind deutlich kleiner als Bakterien und nur unter einem Elektronenmikroskop sichtbar. Manche Viren können ihre Erbinformation auch als RNA speichern.

Zelle: Die Zelle ist die kleinste lebendige Einheit aller Organismen. Bei Lebewesen unterscheidet man zwischen solchen, die aus einer einzigen Zelle bestehen (Einzeller), und solchen, die aus mehreren Zellen bestehen (Vielzeller). Zellen lassen sich in Prokaryoten und

Eukaryoten kategorisieren. Prokaryotische Zellen besitzen keinen Zellkern, die DNA bewegt sich frei im Zellplasma. Eukaryoten hingegen haben einen Zellkern, in dem sich die DNA befindet, und sind deutlich komplexer aufgebaut als Prokaryoten.

Zucker: Zucker ist chemisch gesehen ein sogenanntes Kohlenhydrat (Saccharid) und besteht aus Wasserstoff-, Kohlenstoff- und Sauerstoffatomen. Manche Zuckerarten wie Glukose (Traubenzucker) bestehen nur aus einem Molekül; diese bezeichnet man als Monosaccharide. Zuckerarten, die aus mehreren, miteinander verbundenen Molekülen bestehen, heißen Polysaccharide. Bekanntestes Beispiel ist die Saccharose, der gewöhnliche Haushaltszucker.

Zygote: Zygote nennt man die Zelle, die sich bei der Verschmelzung zweier Geschlechtszellen (Keimzellen) bildet. Bei diesem Vorgang vereinigen sich die Zellkerne der beiden Keimzellen, sodass ein vollständiger Chromosomensatz entsteht.



Literaturverzeichnis

- 1** Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2020): *Nationale Bioökonomiestrategie*. Online verfügbar unter <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/bioeconomie-nachwachsende-rohstoffe/nationale-bioeekonomiestrategie.html>, zuletzt geprüft am 25.01.2022.
- 2** Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie (2009): *BIOTECHNOLOGIE – kleinste Helfer – große Chancen*. Online verfügbar unter <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/biotech-brosch-2aufl-02.pdf>, zuletzt geprüft am 25.01.2022.
- 3** BIO Deutschland (2019): *100 Jahre Biotechnologie – Meilensteine der Biotechnologie*. Online verfügbar unter <https://www.102jahre-biotech.de/>, zuletzt geprüft am 25.01.2022.
- 4** Amgen Deutschland (2019): *Der Begriff Biotechnologie ist in der Bevölkerung positiv besetzt, Gentechnik weniger*. Online verfügbar unter <https://www.amgen.de/medien/news/436/fortschritt-biotechnologie-und-gentechnik/>, zuletzt geprüft am 16.09.2021.
- 5** Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech) (2021): *Urban Mining (acatech HORIZONTE)*. Online verfügbar unter <https://www.acatech.de/publikation/acatech-horizonte-urban-mining/>, zuletzt geprüft am 16.09.2021.
- 6** DECHEMA-Forschungsinstitut (2019): *Natürliche Aromen und Düfte dank Biotechnologie*. Online verfügbar unter https://dechema-dfi.de/nat%C3%BCrliche_Aromen.html, zuletzt geprüft am 16.09.2021.
- 7** Wissenschaftsjahr 2020/21 Bioökonomie, eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (2021): *Natürlich süßen mit einem Protein - Biotechnologie macht's möglich*. Online verfügbar unter <https://www.wissenschaftsjahr.de/2020-21/aktuelles-aus-der-bioeconomie/koepfe-des-wandels/natuerlich-suessen-mit-einem-protein-biotechnologie-machts-moeglich>, zuletzt geprüft am 25.01.2022.
- 8** Food and Agriculture Organization of the United States (FAO) (2013): *Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Online verfügbar unter <https://www.fao.org/3/i3437e/i3437e.pdf>, zuletzt geprüft am 25.01.2022.
- 9** Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech) (2019): *Nachhaltige Landwirtschaft (acatech HORIZONTE)*. Online verfügbar unter <https://www.acatech.de/publikation/acatech-horizonte-nachhaltige-landwirtschaft/>, zuletzt geprüft am 16.09.2021.
- 10** Umweltbundesamt (2020): *Die Zukunft im Blick: Fleisch der Zukunft*. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/die-zukunft-im-blick-fleisch-der-zukunft>, zuletzt geprüft am 16.09.2021.
- 11** Mittler, H. (2016): *Burger Impossible Foods – Ist das Fleisch?* Online verfügbar unter <https://lebensmittelpraxis.de/fleisch/15917-burger-impossible-foods-ist-das-fleisch.html?web=1&wdLOR=cDA0A3AC2-C737-44DE-B9CF-D8F0104A891A>, zuletzt geprüft am 16.09.2021.
- 12** Quorn (2021): *Quorn's mycoprotein*. Online verfügbar unter <https://www.quorn.co.uk/mycoprotein>, zuletzt geprüft am 16.09.2021.
- 13** Chemnitz, C., Wenz, K. (2021): *Fleischatlas. Daten und Fakten über Tiere als Nahrungsmittel / 1. Auflage*. Heinrich-Böll-Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland. Online Verfügbar unter <https://www.boell.de/de/de/fleischatlas-2021-jugend-klima-ernaehrung>, zuletzt geprüft am 26.01.2022.
- 14** Schadwinkel, A. (Zeit Online) (2013): *Einmal Kunstfleisch-Burger für 300.000 Euro, bitte!* Online verfügbar unter <https://www.zeit.de/wissen/2013-08/kuenstliches-rindfleisch-in-vitro-burger/komplettansicht>, zuletzt geprüft am 25.01.2022.

- 15** Brennan, T., Katz, J., Quint, Y., Spencer, B. (McKinsey & Company) (2021): *Cultivated meat: Out of the lab, into the frying pan*. Online verfügbar unter <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/cultivated-meat-out-of-the-lab-into-the-frying-pan?cid=eml-web>, zuletzt geprüft am 25.01.2022.
- 16** Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2018): *Welternährung verstehen – Fakten und Hintergründe*. Online verfügbar unter <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Welternaehrung-verstehen.html>, zuletzt geprüft am 16.09.2021.
- 17** Welthungerhilfe (2021): *Hunger: Verbreitung, Ursachen & Folgen*. Online verfügbar unter <https://www.welthungerhilfe.de/hunger/>, zuletzt geprüft am 16.09.2021.
- 18** Europäisches Informations-Zentrum Niedersachsen (EIZ) (2021): *Studie der EU-Kommission zu Gentechnik: Für neue Verfahren braucht es neue Regeln*. Online verfügbar unter <https://www.eiz-niedersachsen.de/studie-der-eu-kommission-zu-gentechnik-fuer-neue-verfahren-braucht-es-neue-regeln/>, zuletzt geprüft am 16.09.2021.
- 19** Pieroth, I. (1992): *Penicillinherstellung: Von den Anfängen bis zur Großproduktion*. Wiss. Verl.-Ges, Stuttgart.
- 20** Heescher, W. (2019): *Deutscher Ethikrat. Gentechnik: Alles machen, was man kann?* Online verfügbar unter <https://www.zdf.de/nachrichten/heute/gentechnik-ethikrat-legt-stellungnahme-vor-100.html>, zuletzt geprüft am 16.09.2021.
- 21** Deutscher Ärzteverlag GmbH, Redaktion Deutsches Ärzteblatt (2018): *CAR-T-Zell-Therapie: Aussichten und Risiken*. Online verfügbar unter <https://www.aerzteblatt.de/archiv/196295/CAR-T-Zell-Therapie-Aussichten-und-Risiken>, zuletzt geprüft am 16.09.2021.
- 22** Good Day BIO (2021): *Women's History Month: 28 pioneering women in science and biotechnology to know*. Online verfügbar unter <https://www.bio.org/blogs/womens-history-month-28-pioneering-women-science-and-biotechnology-know>, zuletzt geprüft am 13.10.2021.
- 23** Fieber, T. (2020): *June Almeida – die vergessene Coronavirus-Entdeckerin*. Online verfügbar unter <https://www.br.de/nachrichten/wissen/june-almeida-die-vergessene-coronavirus-entdeckerin>, zuletzt geprüft am 05.11.2021.
- 24** Abrell, A. (2021): *"Solange Frauen in Leitungsfunktionen fehlen, fehlen auch Rollenvorbilder"*. Online verfügbar unter <https://www.mpg.de/11968981/rosalind-franklin>, zuletzt geprüft am 14.10.2021.
- 25** GENESIS-Online, Statistisches Bundesamt (2021): *Studierende: Deutschland, Semester, Nationalität, Geschlecht, Studienfach*. Online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=21311-0003&bypass=true&levelindex=0&levelid=1634537349481#abreadcrumb>, zuletzt geprüft am 03.11.2021.
- 26** Statistisches Bundesamt, Fachserie 11, Reihe 4.4 (2020): *Personal an Hochschulen*. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bildung-Forschung-Kultur/Hochschulen/Publikationen/Downloads-Hochschulen/personal-hochschulen-2110440207004.html>, zuletzt geprüft am 31.01.2022.
- 27** ZDFheute (2021): *mRNA- und Vektorimpfstoffe*. Online verfügbar unter https://zdfheute-stories-scroll.zdf.de/mRNA_Vektor_Impfstoffe_Mutation/index.html, zuletzt geprüft am 26.01.2022.
- 28** Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech) (2018): *Innovationspotenziale der Biotechnologie*. Online verfügbar unter <https://www.acatech.de/publikation/innovationspotenziale-der-biotechnologie/>, zuletzt geprüft am 16.09.2021.

29 Ernst & Young GmbH (2021): *Deutscher Biotechnologie-Report 2021. Biotech am Tipping Point. In welche Richtung entwickelt sich der Sektor nach der Pandemie?* Online verfügbar unter https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/de_de/news/2021/04/ey-deutscher-biotechnologie-report-april-2021.pdf, zuletzt geprüft am 14.01.2022.

30 Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech) (2020): *Resiliente und nachhaltige Lebensmittelversorgung. Die Coronakrise und weitere Herausforderungen (acatech IMPULS)*. Online verfügbar unter <https://www.acatech.de/publikation/resiliente-und-nachhaltige-lebensmittelversorgung/>, zuletzt geprüft am 16.09.2021.

31 UK Biobank (2021): *Enabling scientific discoveries that improve human health*. Online verfügbar unter <https://www.ukbiobank.ac.uk/>, zuletzt geprüft am 16.09.2021.

32 FinnGen (2021): *FinnGen research project is an expedition to the frontier of genomics and medicine*. Online verfügbar unter <https://www.finnngen.fi/en>, zuletzt geprüft am 16.09.2021.

33 deCODE genetics (2021). Online verfügbar unter <https://www.decode.com/>, zuletzt geprüft am 16.09.2021.

34 Estonian Biobank (2021). Online verfügbar unter <https://www.eithealth-scandinavia.eu/biobanks/the-estonian-biobank/>, zuletzt geprüft am 16.09.2021.

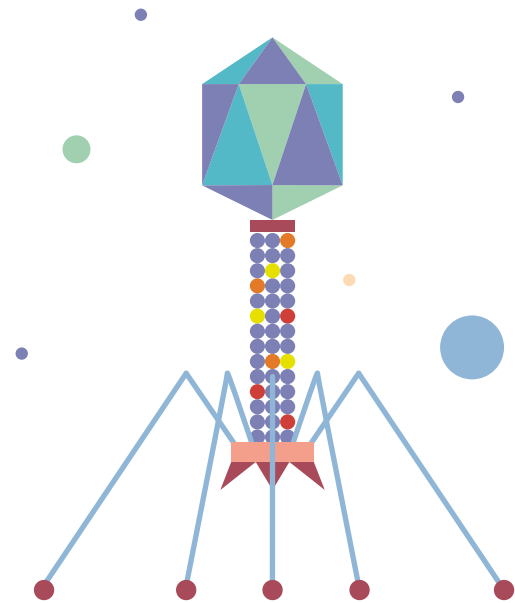
35 FinnGen (2020): *Gene variants that protect against glaucoma identified, opening therapeutic possibilities*. Online verfügbar unter <https://www.finnngen.fi/en/news/gene-variants-protect-against-glaucoma-identified-opening-therapeutic-possibilities>, zuletzt geprüft am 16.09.2021.

36 Tanigawa, Y., Wainberg, M., Karjalainen, J., Kiiskinen, T., Venkataraman, G., Lemmelä, S., Turunen, J. A., Graham, R. R., Havulinna, A. S., Perola, M., Palotie, A., Daly, M. J., Rivas, M. A. (2020): *Rare protein-altering variants in ANGPTL7 lower intraocular pressure and protect against glaucoma*. PLOS Genetics, 16(5):e1008682.

37 Bundesgesundheitsministerium (2021): *Die deutsche Genom-Initiative – genomDE*. Online verfügbar unter <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/themen/gesundheitswesen/personalisierte-medicin/genomde-de.html>, zuletzt geprüft am 16.09.2021.

38 Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech) (2012): *Perspektiven der Biotechnologie-Kommunikation (acatech POSITION)*. Online verfügbar unter <https://www.acatech.de/publikation/perspektiven-der-biotechnologie-kommunikation-kontroversen-randbedingungen-formate/>, zuletzt geprüft am 11.01.2022.

39 Startbase Female Founders Report (2021): *Frauen in der deutschen Start-up Szene: Antiquierte Rollenbilder oder neuer Schwung?* Online verfügbar unter <https://www.startbase.de/downloads/female-founder-report/2021/female-founder-report.min.pdf>, zuletzt geprüft am 31.01.2022.



Interviewpartnerinnen und Interviewpartner

Die auf Seite 54 vorgestellte Projektgruppe legt die Inhalte dieser Publikation fest. Die Mitarbeitenden der acatech Geschäftsstelle haben dafür Experteninterviews mit Vertreterinnen und Vertretern aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft geführt. Die Gespräche fanden zwischen Februar und September 2021 statt. Einige ausgewählte Kerngedanken der Befragten sind im Text als anonymisierte Zitate aufgeführt.

Das acatech Präsidium dankt allen Expertinnen und Experten sehr herzlich für ihre Teilnahme an den Interviews! Im Einzelnen waren das:

Prof. Dr. Thomas Bley, Seniorprofessor für Bioverfahrenstechnik, Technische Universität Dresden

Dr. Markus Brandt, Leiter Forschung, Entwicklung, Qualität, Ernst BÖCKER GmbH & Co. KG

Dr. Viola Bronsema, Geschäftsführerin BIO Deutschland

Prof. Dr. Christian Buchholz, Senior Vice President, Research, Development & Innovation – Nutrition & Care, Evonik Operations GmbH

Klaus Budde, Leiter Gruppe 32: Forschung und Innovation, Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung

Prof. Dr. Andrea Büttner, (Projektgruppenleiterin)
Geschäftsführende Institutsleiterin, Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV)

Dr. Hanns-Christoph Eiden, Präsident der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung

Dr. Jon Falk, Managing Director, Saaten-Union Biotec GmbH

Prof. Dr. Charles Franz, Institutsleiter, Max-Rubner-Institut

Prof. Dr. Stefanie Heiden, Institutsleiterin und Lehrstuhlinhaberin
Institut für Innovations-Forschung, Technologie-Management und Entrepreneurship ITE, Leibniz Universität Hannover

Prof. Dr. Klaus-Dieter Jany, 1. Vorsitzender, Wissenschaftlerkreis Grüne Gentechnik e.V.

Dr. Jakob Ley, Direktor Research Biobased Ingredients, Flavor & Nutrition, Symrise AG

Prof. Dr. Peter Liggesmeyer, Lehrstuhlinhaber für Software Engineering: Dependability, Technische Universität Kaiserslautern

Dr. Guido Meurer, Mitglied der Geschäftsführung, Brain Biotech AG

Prof. Dr. Vera Meyer, Professorin für Angewandte und Molekulare Mikrobiologie, Technische Universität Berlin

Dr. Aarno Palotie, Research Director of the Human Genomics Program, Institute for Molecular Medicine Finland

Prof. Dr. Anant Patel, Vizepräsident für Forschung, Entwicklung, Transfer, Fachhochschule Bielefeld

Dr. Yvonne Pfeifer, Leitung Digitales und Innovation, Tentamus Group GmbH

Prof. Dr. Oscar-Werner Reif, Chief Technology Officer, Corporate Research, Sartorius AG

Prof. Dr. Klaus Peter Rippe, Rektor und Professor für Praktische Philosophie, Pädagogische Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr. Thomas Scheper, Professor und Geschäftsführender Leiter Institut für Technische Chemie, Leibniz Universität Hannover

Prof. Dr. Heike Walles, Professorin und Leitung Core Facility Tissue Engineering, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Dr. Volker Weber, Co-CEO und Chief Sustainability Officer (CSO), NIXDORF Kapital AG

Dr. Petra Wicklandt, Leiterin Corporate Affairs und Senior Vice President, Merck Gruppe

Prof. Dr. Haralabos Zorbas, Geschäftsführer Industrielle Biotechnologie Bayern Netzwerk GmbH



Mitwirkende

Gesamtleitung acatech HORIZONTE:

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Vizepräsident acatech, Seniorprofessor
Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn

Leitung Innovationsforum:

Patrick Tomczak, Chief Program Officer, acatech

Begleitung dieser HORIZONTE-Ausgabe:

Prof. Dr. Martina Schraudner, Leiterin Fraunhofer Center for
Responsible Research and Innovation (Leitung Innovationsforum bis
Ende 2021)

Projektgruppe Biotechnologie:

Das acatech Präsidium hat für diese HORIZONTE-Ausgabe eine unabhängige Projektgruppe aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft berufen. Die Inhalte der Publikation wurden durch die Projektgruppe festgelegt und spiegeln nicht die Meinung des acatech Präsidiums wider. acatech dankt der Projektgruppe sehr herzlich für ihre Mitarbeit und für die geführten Interviews! Im Einzelnen waren dies:

Dr. Viola Bronsema, Geschäftsführerin BIO Deutschland

Prof. Dr. Andrea Büttner, (**Projektgruppenleiterin**) Geschäftsführende
Institutsleiterin, Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und
Verpackung (IVV)

Prof. Dr. Stefanie Heiden, Institutsleiterin und Lehrstuhlinhaberin
Institut für Innovations-Forschung, Technologie-Management und
Entrepreneurship ITE, Leibniz Universität Hannover

Prof. Dr. Peter Liggesmeyer, Lehrstuhlinhaber für Software Engineering:
Dependability, Technische Universität Kaiserslautern

Dr. Guido Meurer, Mitglied der Geschäftsführung, Brain Biotech AG

Prof. Dr. Thomas Scheper, Professor und Geschäftsführender Leiter
Institut für Technische Chemie, Leibniz Universität Hannover

Dr. Petra Wicklandt, Leiterin Corporate Affairs und Senior Vice
President, Merck Gruppe

Inhaltliche Konzeption, Text, Grafiken und Interviews:

Dr. Sandra Fendl, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE
(federführende Autorin)

Dr. Alexandra Heimisch-Röcker, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE

Dr. Martin Schwarz, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE

Violeta Helling, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE

Mit Unterstützung durch:

Christina Müller-Markus, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE

Laura Grewe, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE

Radoje Kresoja, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE

Ana Draghici, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE

Nardine Abdelmessih, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE

Iris Michalik, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE

Dr. Doerthe Winter-Berke, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE

Annette Wiedemann, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE
(Kommunikation)

acatech –

Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

acatech berät Politik und Gesellschaft, unterstützt die innovationspolitische Willensbildung und vertritt die Technikwissenschaften international. Ihren von Bund und Ländern erteilten Beratungsauftrag erfüllt die Akademie unabhängig, wissenschaftsbasiert und gemeinwohlorientiert. acatech verdeutlicht Chancen und Risiken technologischer Entwicklungen und setzt sich dafür ein, dass aus Ideen Innovationen und aus Innovationen Wohlstand, Wohlfahrt und Lebensqualität erwachsen. acatech bringt Wissenschaft und Wirtschaft zusammen. Die Mitglieder der Akademie sind herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Ingenieur- und den Naturwissenschaften, der Medizin sowie aus den Geistes- und Sozialwissenschaften. Die Senatorinnen und Senatoren sind Persönlichkeiten aus technologieorientierten Unternehmen und Vereinigungen sowie den großen Wissenschaftsorganisationen. Neben dem acatech FORUM in München als Hauptsitz unterhält acatech Büros in Berlin und Brüssel.

Weitere Informationen unter www.acatech.de.

HERAUSGEBER:

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

ADRESSEN STANDORTE**Geschäftsstelle**

Karolinenplatz 4

80333 München

T +49(0)89 / 520309-0

F +49(0)89 / 520309-900

Hauptstadtbüro

Pariser Platz 4a

10117 Berlin

T +49(0)30 / 2063096-0

F +49(0)30 / 2063096-11

Brüssel-Büro

Rue d'Egmont / Egmontstraat 13

B-1000 Brüssel

T +32(0)2 / 2 13 81-80

F +32(0)2 / 2 1381-89

horizonte@acatech.de

<https://www.acatech.de/horizonte>

Empfohlene Zitierweise:

acatech (Hrsg.): Biotechnologie (acatech HORIZONTE), München 2022

Redaktionelle Bearbeitung:

Elisabeth Grenzebach

Lektorat:

Lektorat Berlin

Layout, Satz, Illustrationen:

Joseph & Sebastian – Grafikdesign, München

Druck:

Joh. Walch, Augsburg

Vorstand i. S. v. § 26 BGB:

Karl-Heinz Streibich, Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner, Prof. Dr. Ann-Kristin Achleitner, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Dr. Stefan Oschmann, Dr.-Ing. Reinhard Ploss, Prof. Dr. Christoph M. Schmidt, Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, Manfred Rauhmeier

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

• 2022

Mehr zu acatech HORIZONTE Biotechnologie, inklusive Grafiken, finden Sie unter:

<https://www.acatech.de/projekt/acatech-horizonte-biotechnologie>

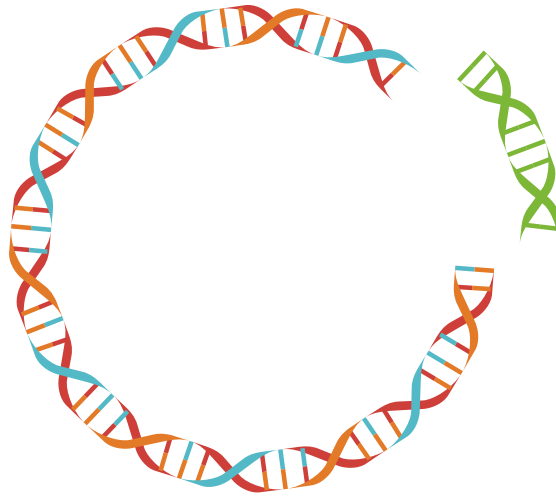
München 2022

acatech HORIZONTE

ISSN 2625-9605

DOI 10.48669/horizonte_2022-1





Was haben Vanilleeis und Coronaimpfstoff gemeinsam? In beiden Produkten steckt Biotechnologie, wie auch in vielen weiteren Begleitern unseres Alltags – in Brot, Wein, Apfelsaft, Medikamenten, Shampoo oder sogar in Turnschuhen. Aber was ist Biotechnologie eigentlich genau? Sie umfasst alle technischen Anwendungen, bei denen der Mensch sich biologische Prozesse für die Herstellung eines Produkts zunutze macht. Wie hat sich die Biotechnologie über die Jahrhunderte entwickelt und wo begegnen wir ihr heute überall? Und vor allem: Wie kann sie uns helfen, die Herausforderungen der Gegenwart und der Zukunft zu bewältigen? Die neue acatech HORIZONTE Biotechnologie gibt einen Überblick über diese und weitere spannende Fragen.