



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

 **DIE NEUE
HIGHTECH
STRATEGIE**
Innovationen für Deutschland

BIOTechnikum

Erlebnis Forschung – Gesundheit, Ernährung, Umwelt



Leitbild eines innovativen Deutschlands

Es sind die guten Ideen, aus denen in Deutschland neue Produkte und Dienstleistungen entwickelt werden. Sie sind weltweit gefragt und sichern unseren Wohlstand und unsere Lebensqualität. Auf viele drängende Fragen und Herausforderungen der Zukunft wurden bereits innovative Lösungen gefunden. In anderen Bereichen muss weiter geforscht und experimentiert werden. Hier setzt die neue Hightech-Strategie an: Sie betrachtet systematisch den ganzen Innovationsprozess – von der kreativen Idee bis zur Umsetzung in neue Produkte und Dienstleistungen. Die neue Hightech-Strategie konzentriert sich auf Forschungsthemen, die von besonderer Relevanz für die Gesellschaft sowie für Wachstum und Wohlstand sind:

- Informations- und Kommunikationstechnologien prägen nahezu alle unsere Lebens- und Wirtschaftsbereiche. Doch wie wollen wir in einer digitalen Welt leben, lernen und arbeiten?
- Wie gestalten wir Produktion und Konsum ressourcenschonender, umweltfreundlicher, sozialverträglicher und damit nachhaltiger?
- Wie sieht die Zukunft der Arbeit aus?
- Wie können wir Fortschritte für Gesundheit und Wohlbefinden erzielen?
- Wie verhindern wir Störungen oder Engpässe bei Energieversorgung, IT-Kommunikation, Mobilität oder Logistik?

Die neue Hightech-Strategie bringt alle Akteure des Innovationsgeschehens zusammen, um Kräfte zu bündeln und den Weg von der Idee in die Anwendung zu verbessern. Sie sorgt auch dafür, dass die Bedingungen in Deutschland innovationsfreudig bleiben. Dafür sind qualifizierte Fachkräfte ebenso notwendig wie eine bessere Finanzierung von Innovationen oder ein forschungsfreundliches Urheberrecht.

Mehr erfahren Sie auch unter
www.hightech-strategie.de



Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Vorwort | 2 |
| 1. Willkommen | 3 |
| 2. Biotechnologie | 6 |
| 2.1 Grundlagen | 7 |
| 2.2 Technologie mit Geschichte | 7 |
| 2.3 Bedeutung der Biotechnologie | 8 |
| 2.4 Wirtschaftliches Potenzial | 9 |
| 3. Beiträge der Biotechnologie in den Bereichen Gesundheitsforschung – Gesundheitswirtschaft – Bioökonomie | 10 |
| 3.1 Gesundheitsforschung | 11 |
| 3.2 Gesundheitswirtschaft | 17 |
| 3.3 Bioökonomie | 21 |
| 4. Die Farben der Biotechnologie | 26 |
| 4.1 Rote Biotechnologie in Gesundheit und Ernährung – Impulse fürs Leben | 27 |
| 4.2 Grüne Biotechnologie in der Landwirtschaft – Erträge für morgen | 29 |
| 4.3 Weiße Biotechnologie in Produktion und Umweltschutz – Schonen von Ressourcen | 30 |
| 5. Perspektiven der Biotechnologie | 32 |
| 6. Ausbildung, Studium und Beruf | 36 |
| Glossar | 40 |
| Literaturempfehlungen | 42 |
| Webadressen | 43 |
| Impressum | 45 |



Vorwort

Biotechnologie ist aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Sie ermöglicht technologischen Fortschritt, höhere Lebensqualität und nachhaltige Produktionsverfahren. Deshalb ist die biobasierte Wirtschaft auch ein zentraler Zukunftsbereich.

Biotechnologie finden wir nicht nur in den wissenschaftlichen Laboren. Insbesondere die Industrie setzt auf nachhaltige Nutzung biologischer Ressourcen und

umweltverträgliche Herstellungsverfahren. Deutschland hat sich in der biobasierten Wirtschaft in den vergangenen Jahren weltweit eine Spitzenposition erarbeitet, die wir künftig weiter ausbauen wollen. Dieses Ziel unterstützt die Bundesregierung mit dem Rahmenprogramm „Gesundheitsforschung“ und der Umsetzung der „Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“.

Die Initiative „BIOTechnikum: Erlebnis Forschung – Gesundheit, Ernährung, Umwelt“ des BMBF präsentiert Biotechnologie aktuell und anschaulich. Ihre mobile Ausstellung ist außerschulischer Lernort und Dialogzentrum.

Ich lade Sie herzlich in das BIOTechnikum ein. Sprechen Sie mit Fachleuten und machen Sie sich selbst ein Bild von der Welt der Biotechnologie!

Johanna Wanka

Prof. Dr. Johanna Wanka
Bundesministerin für Bildung und Forschung



1. Willkommen

Bei der Herstellung von Insulin, der Diagnose von Krebserkrankungen oder der Überführung von Straftätern, beim Umweltschutz, Wäschewaschen oder Brotbacken nutzen wir Biotechnologie – meist ohne uns dessen bewusst zu sein.

Über die immense Bedeutung dieser Schlüsseltechnologie für unser tägliches Leben und die Forschung in der modernen Biotechnologie in Deutschland informiert die Initiative „BIOTechnikum: Erlebnis Forschung – Gesundheit, Ernährung, Umwelt“. Im Rahmen der Hightech-Strategie der Bundesregierung möchte die Kampagne des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) als Informations- und Dialogplattform zur Auseinandersetzung mit und zum Austausch über die Biotechnologie und ihre Bedeutung für Gesundheit, Ernährung und Umwelt anregen.

Labor, multimediale Ausstellung, Kino und Dialogforum zugleich: das ist das BiotTechnikum.

Bereits seit 2008 ist die Initiative „BIOTechnikum“ auf Tour durch ganz Deutschland. Ging es in der ersten Phase vor allem darum, die Ziele und Inhalte des BMBF-

Rahmenprogramms „Biotechnologie – Chancen nutzen und gestalten“ zu vermitteln, so sind die Themen nun noch breiter gefasst und orientieren sich an den Rahmenprogrammen Gesundheitsforschung und Bioökonomie der Bundesregierung. Dabei liegt ein Schwerpunkt auf dem Zusammenhang von Forschung einerseits und der Entwicklung innovativer Produkte und Verfahren andererseits: in den Bereichen Medizin, Nahrungsmittelproduktion sowie Umwelt- und Klimaschutz. Wie beispielsweise die biotechnologische Forschung dazu beitragen kann, Volkskrankheiten in Zukunft zu heilen oder welche Perspektiven in der wirtschaftlichen Nutzung biologischer Rohstoffe stecken, wird in interaktiven Informationstafeln, Multimedia-Terminals und anhand spannender, bedienbarer Exponate dargestellt. Mit der Initiative „BIOTechnikum: Erlebnis Forschung – Gesundheit, Ernährung, Umwelt“ wird die Biotechnologie so im wahrsten Sinne des Wortes „(be)greifbar“.



„BIOTechnikum: Erlebnis Forschung – Gesundheit, Ernährung, Umwelt“ richtet sich besonders an:

- Schülerinnen und Schüler weiterführender Schulen sowie Studierende naturwissenschaftlicher Disziplinen,
- die breite Öffentlichkeit,
- Unternehmen, vorrangig kleine und mittlere Betriebe (KMU) sowie
- Schul- und Hochschullehrkräfte, Eltern, Verbände und Kammern der gewerblichen Wirtschaft.

Die mobile Erlebniswelt Biottechnikum umfasst:

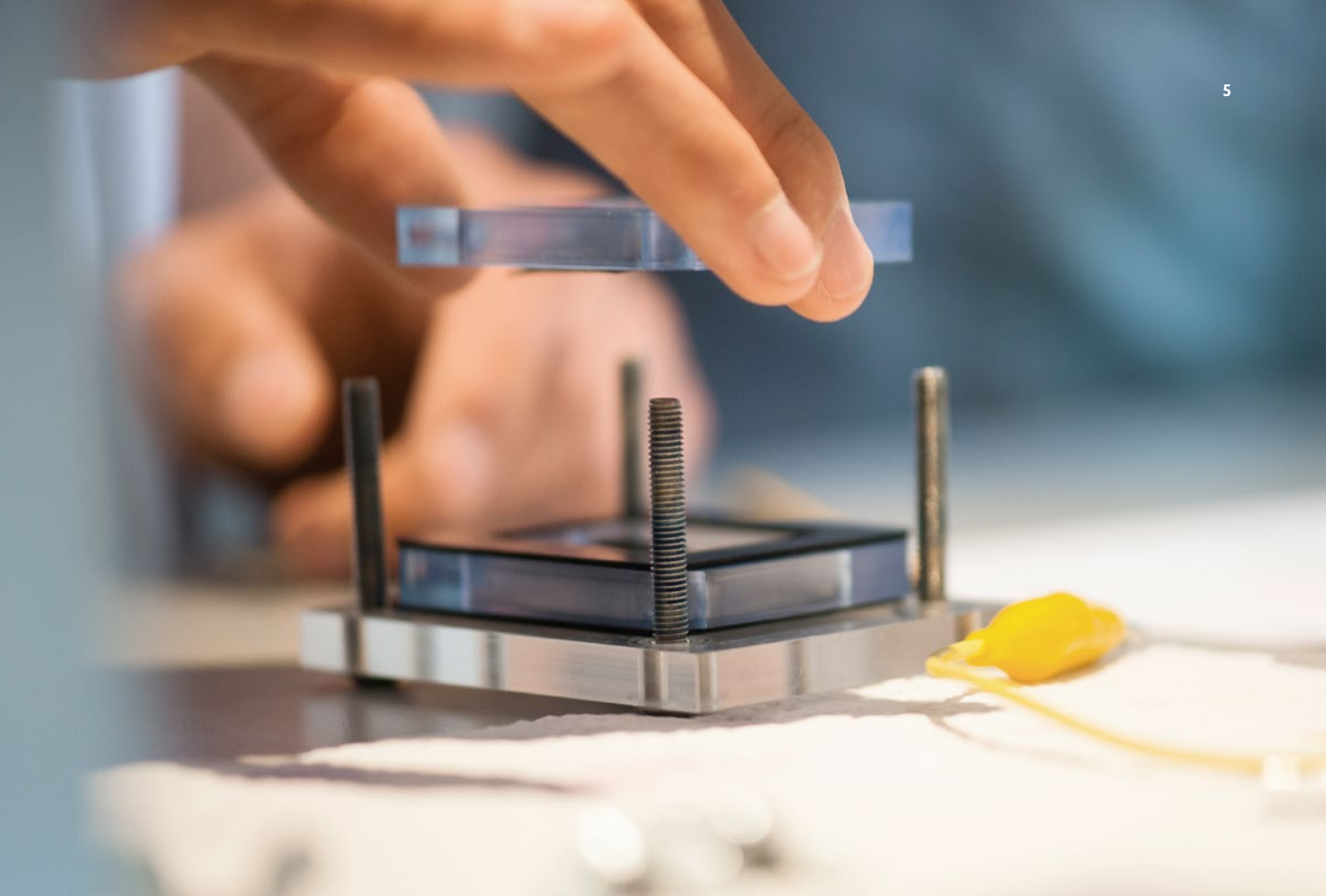
- ein rollendes Labor, in dem unter Anleitung der projektbegleitenden Wissenschaftler selbst experimentiert werden kann,
- eine begleitende multimediale Ausstellung, die „Wissenschaft zum Anfassen“ präsentiert,
- ein Biotech-Kino mit Filmen zu verschiedenen Aspekten der Biotechnologie und
- ein Forum, das dem vertiefenden Gespräch rund um das Thema Biotechnologie im wahrsten Sinne des Wortes Platz einräumt.

Unmittelbar erreicht und individuell betreut werden können die unterschiedlichen Interessenten dank der mobilen Erlebniswelt Biottechnikum. Das doppelstöckige Ausstellungsfahrzeug bietet Raum für Information, Interaktion und Dialog und lädt die Besucher vor Ort ein, dessen Angebote je nach Interessenschwerpunkten und Vorkenntnissen individuell zu nutzen.

Den vielfältigen Möglichkeiten der mobilen Erlebniswelt und den Zielen der Initiative entsprechend, beinhaltet diese verschiedene Veranstaltungen, darunter „Offene Türen“, geführte Ausstellungsrundgänge, Praktika, Filmvorführungen und Vorträge.

Mit diesem breiten Informations- und Dialogangebot macht das Biottechnikum auf seiner Tour unter anderem an Schulen und Hochschulen, Forschungsinstituten und Unternehmen, bei Messen und Wissenschaftsnächten sowie auf öffentlichen Plätzen Station.

Wie Sie das Biottechnikum an Ihre Schule oder Institution holen können, erfahren Sie auf der Kampagnenwebsite www.biotechnikum.eu in der Rubrik „Tour“.





2. Biotechnologie

Biotechnologie steht als Sammelbegriff für eine nahezu unüberschaubare Vielzahl von Verfahren, Produkten und Methoden. Nach der Definition der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) ist Biotechnologie „die Anwendung von Wissenschaft und Technik auf lebende Organismen, Teile von ihnen, ihre Produkte oder Modelle von ihnen zwecks Veränderung von lebender oder nichtlebender Materie zur Erweiterung des Wissensstandes, zur Herstellung von Gütern und zur Bereitstellung von Dienstleistungen“.

2.1 Grundlagen

Die Breite ihrer Anwendungsfelder und Einsatzmöglichkeiten macht die Biotechnologie zu einer Querschnittstechnologie. Sie stützt sich nicht nur auf die Biologie und Biochemie, sondern auf eine Vielzahl weiterer wissenschaftlicher Disziplinen, etwa Physik, Chemie, Verfahrenstechnik, Materialwissenschaften und Informatik.

Dabei erforscht die Biotechnologie keineswegs nur ganze Organismen wie Bakterien, Pflanzen, Tiere oder den Menschen. Auch einzelne Zellen und Enzyme oder andere Teile und Produkte des Organismus sind Gegenstand von Forschung und Anwendung.

Als Modelle dienen einerseits Lebewesen oder Zellkulturen, andererseits technische Systeme und Werkzeuge der Informatik. Durch die biotechnologische Forschung erweitert der Mensch sein Wissen über die Bausteine und Vorgänge des Lebens und entwickelt neue Medikamente, landwirtschaftliche Produkte oder Verfahren, die unter anderem industrielle Prozesse effizienter oder umweltfreundlicher machen. Darüber hinaus haben sich in der Biotechnologie zahlreiche Dienstleister etabliert, die beispielsweise für ihre Kunden die Strukturen von Biomolekülen entschlüsseln oder medizinisch-diagnostische Leistungen erbringen.

2.2 Technologie mit Geschichte

Die Wurzeln der Biotechnologie lassen sich auf Verfahren wie Weinherstellung, Essiggewinnung oder Brotbacken zurückführen, die der Mensch seit alters her nutzt. So wird bereits im Codex Hammurabi der Babylonier aus dem 17. Jahrhundert vor Christus das Bier explizit erwähnt. Schon seit langem profitiert die Menschheit also von den segensreichen Eigenschaften der Mikroorganismen wie *Saccharomyces cerevisiae* (Bäckerhefe) oder *Lactobacillus bulgaricus* (Milchsäurebakterium),

ohne etwas über diese Mikroorganismen zu wissen. Dies begann sich erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts grundlegend zu ändern, als Pioniere wie Louis Pasteur die Zusammenhänge zwischen dem Wirken von Mikroorganismen auf der einen und den für uns wahrnehmbaren Stoffveränderungen auf der anderen Seite aufzuklären begannen.

Die Entwicklung der modernen Biotechnologie – der Begriff wurde 1919 von dem ungarischen Gelehrten Karl Ereky erstmals verwandt – vollzog sich in den vergangenen Jahrzehnten mit einer enormen Geschwindigkeit. Dadurch sind wir heute in der Lage, die „Werkzeuge“ der Natur zu verstehen, sie gezielt zu verändern und an unsere Bedürfnisse anzupassen.

Heute ist die Gesamtheit aller Erbinformationen, das sogenannte Genom, zahlreicher Arten bekannt – vom einfachen Bakterium bis hin zum Menschen. Dieses grundlegende Wissen um den Bauplan des Lebens wird dazu beitragen, dass die Biotechnologie unverändert rasant ihre Position als eine der Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts ausbauen wird.



Die Erbinformation des Menschen ist in der Abfolge von drei Milliarden „Buchstaben“ A, C, T, G enthalten.

Einige beispielhafte Meilensteine der modernen Biotechnologie:

- 1940er Jahre: Die DNA (englische Abkürzung für Desoxyribonukleinsäure) wird als Trägerin der Erbinformation erkannt.
- Beginn der 1950er Jahre: Erkenntnis der Struktur des Erbmoleküls DNA
- 1960er Jahre: Entschlüsselung des genetischen Codes
- Ab 1973: Entwicklung der Methoden der Gentechnik, also der gezielten Übertragung von Erbmaterial auch über Artgrenzen hinweg
- 1982: Markteinführung von Humaninsulin als erstes gentechnisch hergestelltes Medikament
- 1983: Kary Mullis und Mitarbeiter entwickeln die Polymerase-Kettenreaktion zur zielgerichteten Vervielfältigung von DNA-Molekülen.
- 2003: Die Entschlüsselung von 99,9 Prozent des menschlichen Genoms wird bekannt gegeben.
- 2006: Die ersten induzierten pluripotenten Stammzellen werden mithilfe der Gentechnik erzeugt.

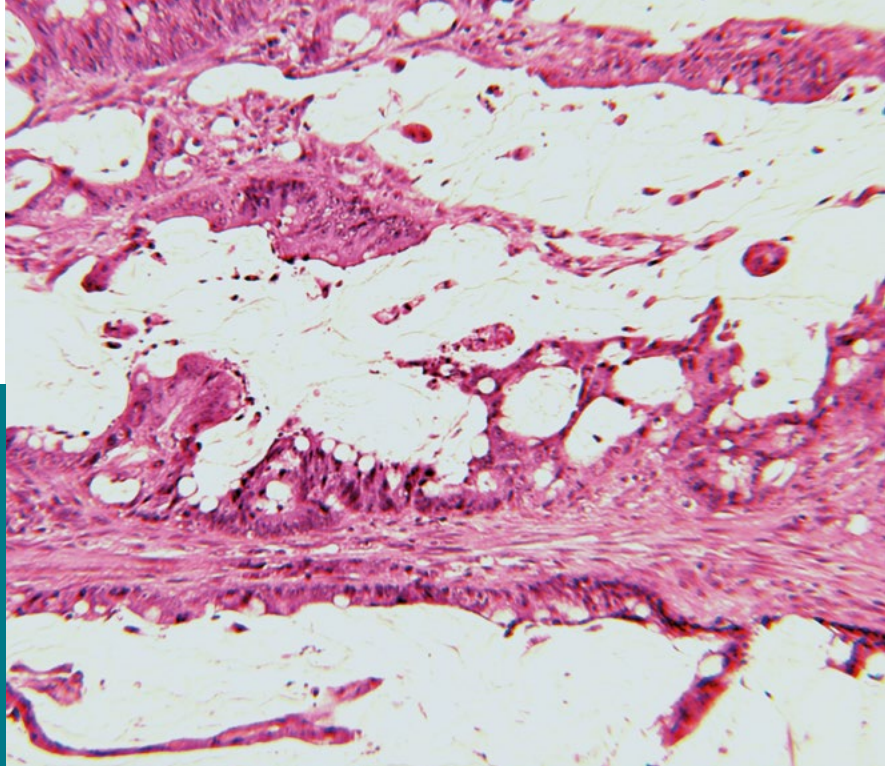
2.3 Bedeutung der Biotechnologie

Die moderne Biotechnologie ist eine der Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. In fast allen Bereichen des Alltagslebens spielen biotechnologische Verfahren, Produkte und Dienstleistungen eine Rolle – sei es in modernen Waschmitteln, bei der Lebensmittelproduktion oder der Behandlung von Diabetes.

Gesundheit

Nicht mehr wegzudenken ist die Biotechnologie aus dem medizinischen Bereich, hier spricht man auch von „roter“ Biotechnologie.

Noch immer kann nur ein Bruchteil der bekannten Krankheiten therapiert werden. Entsprechend groß ist das Potenzial für diese rote Biotechnologie. Mit ihrer Hilfe lassen sich diagnostische Verfahren entwickeln, Fortschritte in der regenerativen Medizin erzielen und Wirkstoffe gewinnen, die sonst nur in sehr geringer Menge oder unzureichender Reinheit herstellbar wären. Daneben zählen die gezielte Züchtung beispielsweise



Krebszellen unter dem Mikroskop: ein angefärbtes Präparat aus einem Dickdarmtumor.

von Knorpelgewebe in der Kulturschale oder die Gentherapie etwa schwerer erblicher Stoffwechselerkrankungen zu wichtigen Anwendungen für den Menschen. Durch die Entwicklung neuer Verfahren trägt die Biotechnologie zudem dazu bei, Alternativen zu Tierversuchen zu finden.

Landwirtschaft

In der Landwirtschaft dient die Biotechnologie zum einen als Instrument, um Nutzpflanzen widerstandsfähiger gegen Schädlinge oder extreme Wetterbedingungen zu machen und damit höhere Erträge zu ermöglichen. Zum anderen lassen sich mit ihrer Hilfe Pflanzen derart verändern, dass sie mehr oder andere wertvolle Inhaltsstoffe produzieren als konventionelle Pflanzen. Die sogenannte „grüne“ Biotechnologie wird nicht nur eingesetzt, um den Bedarf an nachwachsenden Rohstoffen und Energieträgern zu decken, sondern auch, um in naher Zukunft Arzneimittel zu gewinnen.

Die Erforschung genetischer Variationen in der einfachen Modellpflanze Ackerschmalwand liefert wertvolle Erkenntnisse für die Züchtung neuer Nutzpflanzen.





Blick in eine biotechnologische Produktionsanlage zur Herstellung von Arzneimittelwirkstoffen.

Umweltschutz und Ressourcenschonung

Doch Biotechnologie kann noch viel mehr: Sie leistet einen wichtigen Beitrag zu Umweltschutz und Ressourcenschonung. Dank der industriellen, der „weißen“ Biotechnologie ist es möglich, Grundchemikalien oder Vorläuferprodukte energie- und kostensparender herzustellen – unter milden Bedingungen, bei Umgebungsdruck, unter geringer Produktion von Neben- und Abfallprodukten und häufig sogar auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Im Gegensatz dazu erfordern klassische chemisch-technische Verfahren oft hohe Temperaturen und Drücke und damit sehr viel Energie. Sie produzieren vielfach Nebenprodukte und benötigen fossile Rohstoffe als Ausgangsmaterial.

2.4 Wirtschaftliches Potenzial

Über den direkten Anwendungsnutzen hinaus birgt die Biotechnologie für Deutschland erhebliches wirtschaftliches Potenzial. Der Umsatz der börsennotierten Biotechnologie-Unternehmen in den Regionen Nordamerika, Europa und Australien betrug 2012 knapp 90 Milliarden US-Dollar. Ein Blick nach Deutschland: Hier gibt es gegenwärtig 565 „reine“ (dedizierte) Biotechnologie-Unternehmen mit einem Jahresumsatz von 2,9 Milliarden Euro im Jahr 2012. Daneben sind etwa 130 Firmen zumindest teilweise auf dem Gebiet der Biotechnologie tätig. All diese Unternehmen und biotechnologisch ausgerichteten Sparten anderer Firmen beschäftigen derzeit zusammen gut 35.000 Mitarbeiter. Zwar mögen diese Zahlen im Vergleich zu anderen Branchen auf den ersten Blick klein erscheinen – doch die Wachstumsraten zeigen ein ganz anderes Bild:

Von 2011 auf 2012 steigerten die dedizierten deutschen Biotechnologie-Unternehmen ihren Umsatz um elf Prozent; im gleichen Zeitraum stieg die Anzahl der industriellen Arbeitsplätze in der Biotechnologiebranche insgesamt um vier Prozent.

Verteilung deutscher Biotechnologie-Cluster und Unternehmen





3. Beiträge der Biotechnologie in den Bereichen Gesundheitsforschung – Gesundheitswirtschaft – Bioökonomie

3.1 Gesundheitsforschung

Viele Forschungsfelder liefern Erkenntnisse für die menschliche Gesundheit und Ernährung. Die Bedeutung der Biotechnologie auf diesem Gebiet kann gar nicht hoch genug eingeschätzt werden, denn sie leistet unter anderem einen wesentlichen Beitrag zur Aufklärung der molekularen Grundlagen von Krankheiten. Ein immer tiefergehendes Verständnis der Entstehungsmechanismen von Erkrankungen und der in ihrem Verlauf stattfindenden Prozesse bietet die Chance, neue und bessere Diagnoseverfahren und Behandlungen zu entwickeln. Dies betrifft sowohl die Verbesserung bereits bestehender Therapiemöglichkeiten als auch die Entwicklung von Therapien für solche Krankheiten, die heute noch gar nicht behandelt werden können. Das ist eine große Herausforderung darstellt, verdeutlichen die folgenden Zahlen: Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) listet fast 30.000 Krankheiten des Menschen. Nur für ein Drittel davon existiert bis heute eine Therapieoption (siehe hierzu auch Abschnitt 4.1 „Rote Biotechnologie in Gesundheit und Ernährung – Impulse fürs Leben“).

Individualisierte Medizin

Jeder Mensch ist einzigartig. Diese Besonderheit bis ins Detail zu verstehen ist auch für die Vorbeugung, Erkennung und Behandlung von Krankheiten von großer Bedeutung – allerdings ist vielfach noch unklar, welche biologischen Faktoren hierfür ausschlaggebend sind. Ziel der Individualisierten Medizin ist es, diese Faktoren zu entschlüsseln, ihre oft sehr komplexen Wechselwirkungen im Organismus besser zu verstehen und darauf aufbauend für den Einzelnen „maßgeschneiderte“ Vorbeugungs- und Therapieverfahren zu entwickeln.

Hand in Hand damit gehen Bemühungen, unerwünschte Arzneimittelwirkungen zu reduzieren und den Therapieerfolg insgesamt zu verbessern. Durch die vollständige Entzifferung des menschlichen Genoms und die immer größere Leistungsfähigkeit von Verfahren der DNA-Sequenzierung bei gleichzeitig sinkenden Kosten werden medizinisch relevante genetische Daten immer besser

zugänglich. Auch andere biologische Analyseverfahren, beispielsweise für die Untersuchung von Blut, Zellen oder Tumorgewebe, werden beständig leistungsfähiger. Die Bioinformatik sorgt dafür, dass die so gewonnenen, oft gewaltigen Datenmengen medizinisch nutzbar werden. Insbesondere im Bereich der Behandlung von Krebserkrankungen ist die Entwicklung individualisierter Therapien schon weit fortgeschritten.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert im Rahmen seines „Aktionsplans Individualisierte Medizin“ zahlreiche Forschungsprojekte. Darunter fallen grundlegende Forschungen an den Einrichtungen der Max-Planck-Gesellschaft sowie fachübergreifende Forschungsanstrengungen der Helmholtz-Zentren, Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft oder der Leibniz-Gemeinschaft.

Exkurs: Genomforschung – Lesen im Code des Lebens

Die Erbinformation von Organismen, das Genom, ist der Bauplan für alle Lebensvorgänge. Um Leben zu erforschen, versucht die Wissenschaft daher diesen Bauplan und seine Funktionen zu verstehen. Je besser dies der Genomforschung gelingt, desto umfassender können biologische Vorgänge – beispielsweise zu Diagnose- oder Therapie Zwecken – biotechnologisch verändert oder angewendet werden. Die Genomforschung stellt daher eine der sogenannten Plattformtechnologien der modernen Biotechnologie dar.

Abbildung rechts: Hoch effiziente Sequenziergeräte wie dieses sind unerlässlich für die moderne Genomforschung. Mit ihrer Hilfe lassen sich in wenigen Stunden automatisiert DNA-Sequenzdaten ermitteln – eine Arbeit, für die noch vor wenigen Jahren viele Monate und sehr viel „Handarbeit“ erforderlich waren.



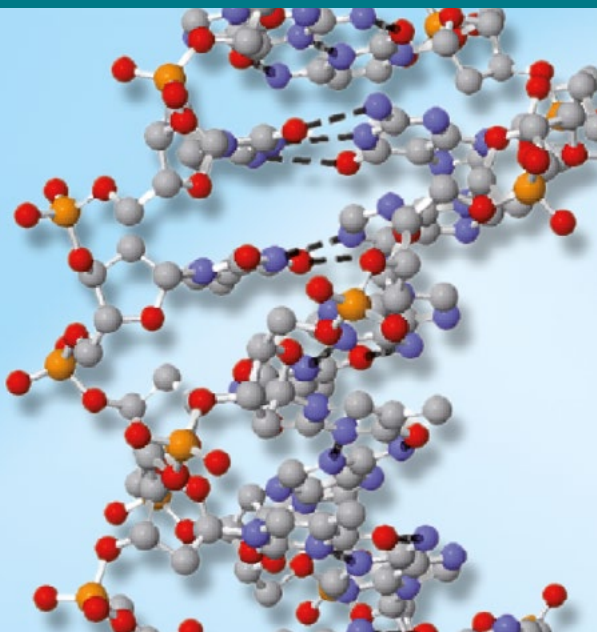
Ein Arbeitsschwerpunkt liegt hierbei in der Identifizierung, Charakterisierung und Nutzbarmachung von Biomarkern, also von Gensequenzen, Proteinen, Stoffwechselprodukten oder anderen Molekülen. Ihr besseres Verständnis könnte zukünftig einen wesentlichen Beitrag zu einer individualisierten Abschätzung des Krankheitsrisikos, des Bestehens einer Erkrankung oder ihres voraussichtlichen Verlaufs leisten.

Präventionsforschung

Wir Deutschen werden heute im Schnitt fast 30 Jahre älter als noch vor 100 Jahren. Neben allgemein verbesserten Lebensbedingungen leistete die bessere medizinische Versorgung hierzu einen entscheidenden Beitrag. Mit steigendem Durchschnittsalter nehmen jedoch viele chronische Erkrankungen, oft auch in Kombination, stark zu. Neben genetischen Faktoren spielen hierbei auch

Exkurs: Humangenomforschung

Eine der bedeutendsten und aufsehenerregendsten Leistungen der Genomforschung ist die vollständige Entzifferung der menschlichen Erbinformation im Rahmen des internationalen Humangenomprojektes (Human Genome Project). Den grundlegenden genetischen Bauplan des Menschen zu kennen ist jedoch erst der Anfang. Der nächste Schritt zielt darauf ab, die Funktion und das komplizierte Zusammenspiel der Gene zu verstehen und die genetischen Ursachen verschiedener Erkrankungen zu identifizieren. Auf diese Weise können die Erkenntnisse aus der Genomforschung zu besseren Diagnosesystemen und neuen Therapien führen. Erkrankungen können früher erkannt und besser behandelt werden.



Ob Mensch oder Bakterium: Die Erbinformation ist in langen Fäden des Erb moleküls DNA enthalten – abgebildet ist hier ein sehr kurzer Abschnitt.



der individuelle Lebensstil, Ernährungsgewohnheiten und Umweltfaktoren eine große Rolle. Hinzu kommen Einflüsse wie Krankheitserreger, Allergene, Feinstaub und viele andere.

Hier ergeben sich zahlreiche Ansatzpunkte, der Entstehung von Erkrankungen vorzubeugen und die Lebensqualität zu steigern. Grundvoraussetzung dafür ist eine gesicherte Wissensbasis über die Entstehung von Krank-

heiten, die leider vielfach noch nicht vorhanden ist. In verschiedenen Bereichen der Gesundheitsforschung sollen hierzu Erkenntnisse gewonnen werden, die als Grundlage für neue und zielgruppenspezifische Ansätze der Prävention (Vorbeugung) dienen können.

Das BMBF unterstützt diese Forschungsanstrengungen in vielfältiger Weise: Zum Beispiel in der Epidemiologie, also der Forschungsrichtung, die sich mit der Untersuchung von gesundheitlichen Eigenschaften einer Bevölkerung oder Bevölkerungsgruppe befasst. Hierbei ist der Aufbau einer sogenannten „Nationalen Kohorte“ besonders wichtig und dient als Grundlage für verschiedene nationale und internationale Projekte der Gesundheitsforschung. Mit ihrer Hilfe sollen Risiko- und Präventionsfaktoren für diverse Volkskrankheiten sowie Früherkennungsmöglichkeiten anderer Erkrankungen identifiziert werden. In einer Zusammenarbeit zwischen Helmholtz- und Leibniz-Gemeinschaft (Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz e. V.) sowie anderer Forschungseinrichtungen sollen 200.000 Menschen zwischen 20 und 69 Jahren medizinisch untersucht werden, wobei ein besonderes Augenmerk auf deren Lebensgewohnheiten und Umfeld liegt. Ein langer Beobachtungszeitraum von etwa 20 Jahren soll sicherstellen, dass möglichst aussagekräftige Daten gewonnen werden.

Als besonders wichtig für eine erfolgreiche Präventionsforschung wird auch die Zusammenarbeit zwischen unterschiedlichen Fachdisziplinen und Forschungseinrichtungen angesehen. Um diese Vernetzung voranzubringen fördert das BMBF den Aufbau von Forschungsverbünden. In diesen regionalen und /oder thematischen Verbünden sollen die bisherigen Einzelprojekte gebündelt und der Erkenntnistransfer der Präventionsforschung in den Alltag verbessert werden.



Neben biologischen Faktoren hängt das Auftreten zum Beispiel von Herz-Kreislauf-Krankheiten auch von der Lebensweise ab.



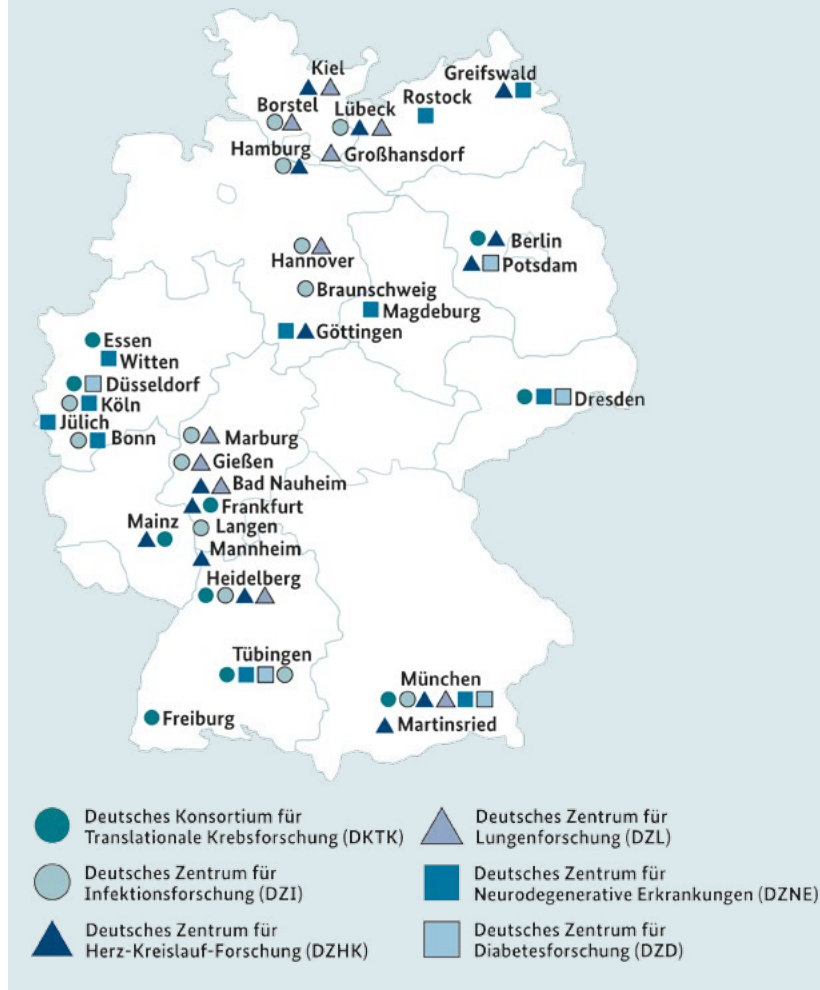
Erforschung von Volkskrankheiten

Unter dem Begriff Volkskrankheiten werden solche Erkrankungen zusammengefasst, die sehr verbreitet sind und an denen zahlreiche Menschen leiden und oft auch sterben. Bei vielen dieser Krankheiten wird der demographische Wandel eine weitere Zunahme bewirken. Mit Blick auf Deutschland stehen hier die Herz-Kreislauf-Erkrankungen als häufigste Todesursache an erster Stelle, also beispielsweise Bluthochdruck, Arteriosklerose oder koronare Herzkrankheit und der oft daraus resultierende Herzinfarkt. An zweiter Stelle folgen die Krebserkrankungen mit ihren zahlreichen Formen.

Doch auch Stoffwechsel-, Infektions-, Lungen- oder neurodegenerative Erkrankungen sowie psychische, muskuloskelettale oder allergische Erkrankungen werden hierzu gerechnet. Sie beeinträchtigen erheblich das Leben der Betroffenen und stellen eine hohe finanzielle Belastung für die Gesellschaft dar. Vielfach wird das Entstehen dieser Krankheiten durch falsche Ernährung, mangelnde Bewegung oder ungünstige Umweltbedingungen beeinflusst.

Für eine verbesserte Behandlung von Volkskrankheiten ist es sehr wichtig, das große Potenzial bei der Erforschung dieser Krankheiten in Deutschland noch besser zu nutzen und neue Erkenntnisse schneller in Patienten nutzen zu „übersetzen“. Diese „translationale Forschung“ (oder einfach „Translation“) erfordert das langfristige, vernetzte und interdisziplinäre Zusammenwirken zahlreicher Wissenschaftler und Mediziner in unterschiedlichen Forschungseinrichtungen und Kliniken. Zu diesem Zweck wurden seit 2009 sechs Deutsche Zentren für Gesundheitsforschung gegründet, die sich schwerpunktmäßig mit einer Gruppe von Volkskrankheiten befassen. Diese Zentren bestehen aus mehreren Partnerstandorten und werden zu 90 Prozent aus Bundesmitteln gefördert.

Die deutschen Zentren der Gesundheitsforschung



Systembiologie

Über einen langen Zeitraum haben die Lebenswissenschaften einen Ansatz verfolgt, bei dem die zu untersuchenden Fragen auf der Ebene der Komponenten der Zelle, der Organellen oder sogar der isolierten Moleküle bearbeitet wurden. Diese Vorgehensweise der Wissenschaft hat in den vergangenen Jahrzehnten zu riesigen Fortschritten beim Verständnis der Lebensvorgänge geführt. Es zeigt sich aber zunehmend, dass für ein wirklich tiefgreifendes und umfassendes Verständnis – beispielsweise einer Leberzelle – diese reduktionistische Betrachtungsweise nicht ausreichend ist. Vielmehr muss das sehr komplexe System aus tausenden unterschiedlichen Reaktionen und Wechselwirkungen, die zu jedem gegebenen Zeitpunkt in einer Zelle stattfinden, in den Blick genommen werden.



Diesen Ansatz verfolgt die Systembiologie und bedient sich dabei der neuesten Methoden der Informationstechnologie und der biotechnologischen Analytik. Nur mithilfe komplexer mathematischer Modelle ist es möglich, die Vielzahl an Einzelinformationen zu einem Gesamtbild zusammenzuführen.

Neue Verfahren, die zahlreiche Analysen sehr schnell und parallel ausführen, ermöglichen es beispielsweise, die in einer Zelle vorliegenden RNA-Transkripte (in ihrer Gesamtheit auch als Transkriptom bezeichnet) zu entschlüsseln (RNA ist die englische Abkürzung für RiboNuklein-Säure). Diese „Blaupausen“ dienen gewissermaßen als Zwischenstufe bei der Umsetzung der in der DNA gespeicherten Baupläne in die zahlreichen Eiweißstoffe, welche für die Funktion einer Zelle

grundlegend sind. Da nie alle Abschnitte der DNA gleichzeitig in RNA übersetzt werden, kann man aus solchen Analysen unter anderem Rückschlüsse darauf ziehen, welche Gene unter verschiedenen Bedingungen in einer Zelle aktiviert werden.

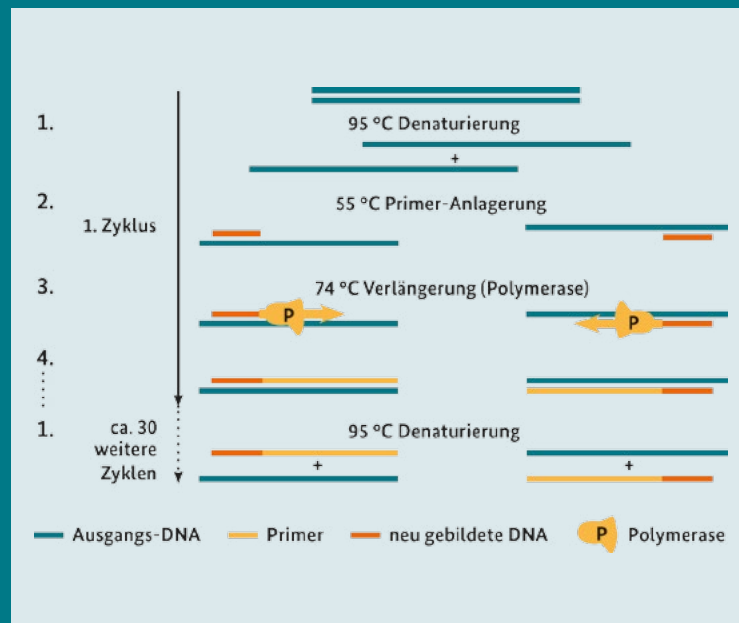
Enorme technologische Fortschritte liefern der Systembiologie wichtige Impulse: Während die zu Beginn des Jahrtausends abgeschlossene Entschlüsselung der Sequenz des menschlichen Genoms noch ein internationales Milliarden-Euro-Projekt darstellte, ermöglicht das „Next-Generation-Sequencing“ die parallele Sequenzierung von Millionen von Nukleinsäureabschnitten und ihre automatische, computergestützte Anordnung zu einer Gesamtsequenz in kürzester Zeit und zu einem Bruchteil dieser Kosten.

Exkurs: Polymerase-Kettenreaktion

Sie war im letzten Vierteljahrhundert eine der wichtigsten Entwicklungen auf dem Gebiet der Molekularbiologie: die Polymerase-Kettenreaktion oder PCR (polymerase chain reaction). Aus Forschung, Diagnostik und Forensik ist diese Methode in all ihren Abwandlungen nicht mehr wegzudenken. Sie erlaubt es, aus einem einzigen DNA-Molekül beliebig viele identische Kopien herzustellen und so beispielsweise Verbrecher durch winzigste Spuren zu überführen.

Das Funktionsprinzip der PCR:

1. Wird der DNA-Doppelstrang (petrol) auf die sogenannte Schmelztemperatur erhitzt, lösen sich die beiden Stränge voneinander.
2. Sinkt die Temperatur wieder, können sich die zueinander komplementären DNA-Einzelstränge wieder zusammenlagern – sie können aber auch an kurze, chemisch synthetisierte DNA-Abschnitte, die „Primer“ (orange), binden.
3. Ist das Enzym DNA-Polymerase (P) vorhanden (das nur an doppelsträngige DNA-Abschnitte binden kann), verlängert dieses nun den Primer (gelb). Es erzeugt so – mit einer Hälfte des ursprünglichen Doppelstrangs als Vorlage – aus vorhandenen DNA-Bausteinen (Nucleotide) einen neuen, vollständigen Doppelstrang (gelb-orange/blau).
4. Aus einem DNA-Doppelstrang sind zwei identische Doppelstränge entstanden.



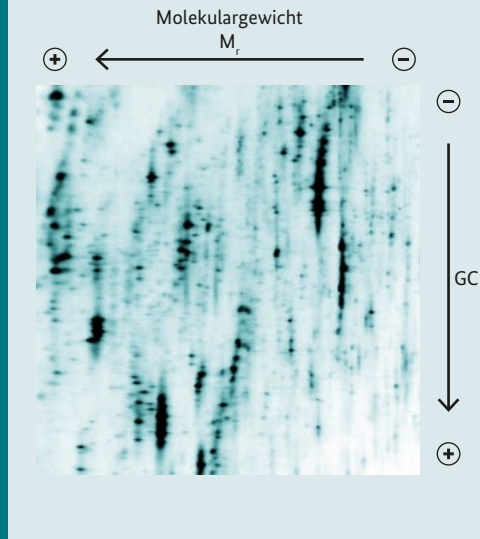
Um diesen Vorgang erneut zu durchlaufen, müsste bei der Verwendung herkömmlicher Polymerasen zunächst neue Polymerase zugegeben werden. Denn sie ist – wie die meisten Enzyme – hitzeempfindlich und wird im ersten Reaktionsschritt zerstört. Ein ständiges Erneuern der Polymerase wäre jedoch unpraktikabel und teuer. Die Lösung: eine hitzeunempfindliche Variante der Polymerase aus dem Bakterium *Thermus aquaticus*, das sich in heißen Quellen wohlfühlt. Erst durch diese Entdeckung wurde der weltweite Siegeszug der PCR ermöglicht.

Exkurs: Proteomforschung – Der Proteincode und die Vielfalt der Eiweißstoffe

Um die enorme Komplexität der Funktionen eines Organismus zu erklären, reicht die Kenntnis der Erbinformation alleine – der sogenannten Basensequenz – nicht aus. Zellen enthalten ein riesiges Repertoire an hoch spezialisierten Biomolekülen, den Proteinen (Eiweißstoffen). Diese Biomoleküle geben der Zelle Struktur, erleichtern chemische Prozesse oder übermitteln Signale. Mit den Fragen, wie sich dieses Repertoire zusammensetzt, wie es reguliert wird und worin sich kranker und gesunder Zustand unterscheiden, beschäftigt sich die Proteomforschung. Auch sie gilt als Plattformtechnologie und leistet einen weiteren, wichtigen Beitrag zu einem tieferen Verständnis der Lebensvorgänge.

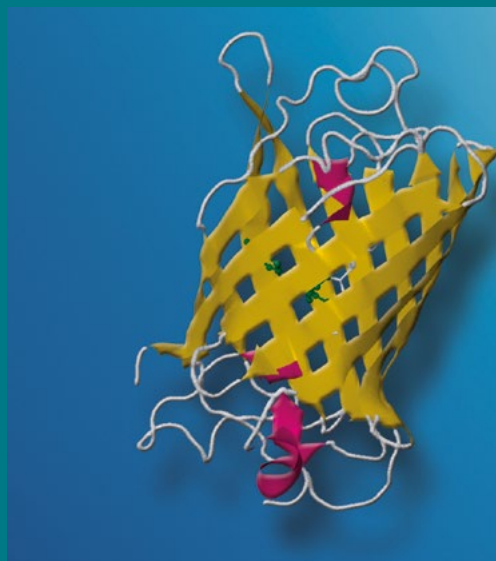
Unter dem Begriff Proteom ist die Gesamtheit der zu einem gegebenen Zeitpunkt in einer Zelle vorhandenen Proteine zu verstehen. Je nach Zelltyp erfüllen Proteine unterschiedliche Aufgaben: Sie erleichtern als Katalysatoren beispielsweise chemische Reaktionen, wirken als Strukturgeber oder Signalüberträger. Dabei hat die Zelle Bedarf an einer ganz bestimmten Menge und Auswahl an Proteinen. Dieser Bedarf ist wiederum abhängig vom Zelltyp sowie von einer Vielzahl zeitlich veränderlicher Faktoren. Im Gegensatz zum statischen Genom ist das Proteom der Zelle also dynamisch.

Bei der Entschlüsselung des immensen und ständig wechselnden Proteininventars der Zelle haben zahlreiche Weiterentwicklungen der analytischen Techniken und der Datenverarbeitung im vergangenen Jahrzehnt große Fortschritte ermöglicht. Zur Erforschung des Proteoms bedient sich die Biotechnologie verschiedener Methoden, unter anderem der hochauflösenden, zweidimensionalen Gelelektrophorese. Hierbei wird ein Proteingemisch in Abhängigkeit von Größe und elektrischer Ladung aufgetrennt. Das Hefe-Zwei-Hybridverfahren wiederum erlaubt es, unter Zuhilfenahme gentechnischer Veränderungen bisher unbekannte Wechselwirkungen zwischen Proteinen zu identifizieren. Um Proteine direkt sichtbar zu machen und ihre Verteilung und Anordnung auch in lebenden Zellen zu untersuchen, nutzen Forscher die Fluoreszenzmikroskopie.



Zweidimensionale Elektrophoresegele, kurz 2D-Gele, sind ein unverzichtbares Werkzeug der Proteomforschung. Sie erlauben es, komplexe Gemische von bis zu 10.000 Proteinen zunächst nach ihrer elektrischen Ladung (1. Dimension) und dann nach ihrer Größe (2. Dimension) aufzutrennen.

Die Informationen, die mithilfe dieser Methoden sowie mit modernen Verfahren der Strukturaufklärung gewonnen werden, ermöglichen es zum Teil heute schon, Wirkstoffmoleküle direkt am Computer zu entwerfen und dadurch die Entwicklungszeit von Medikamenten zu verkürzen. Auf diese Weise entwickelt wurden der Antigrippewirkstoff Zanamivir und der Wirkstoff Imatinib gegen die chronische myeloische Leukämie (CML).



Molekülmodell des grün fluoreszierenden Proteins (GFP): Sein Einsatz hat die Untersuchung von Proteinen in lebenden Zellen revolutioniert.

Ersatzmethoden für Tierversuche

Experimente an Tieren haben seit Beginn der Neuzeit einen immensen Beitrag zum Erkenntnisgewinn in den Lebenswissenschaften geleistet. Grundlegende Verfahren der heutigen Medizin, ob im Bereich der Chirurgie, der Prothetik oder der Pharmakologie, hätten ohne den Rückgriff auf Tierversuche nie entwickelt werden können. Gleichzeitig hat sich aber auch immer mehr die Erkenntnis durchgesetzt, dass zahlreiche Tierarten Leid und Schmerz empfinden können. Es ist daher eine ethische Verpflichtung für Wissenschaftler und die Gesellschaft als Ganzes, in jedem Falle sorgfältig abzuwägen, ob ein bestimmtes Experiment gerechtfertigt ist oder nicht. Es gilt, genau zu prüfen, ob ein vergleichbarer Erkenntnisgewinn nicht auch durch andere, tierversuchsfreie Methoden erzielt werden kann. Falls dies nicht möglich ist, muss alles dafür getan werden, das Leid der betroffenen Tiere so gering wie möglich zu halten. Die strengen gesetzlichen Rahmenbedingungen für die Durchführung von Tierversuchen in Deutschland sind im Tierschutzgesetz sowie in einer EU-Richtlinie definiert. Darüber hinaus ist der Tierschutz als Staatsziel im Grundgesetz verankert.

In vielen Bereichen existieren bereits aussagekräftige Ersatzverfahren, die ohne Tiere oder zumindest ohne Wirbeltiere auskommen. Beispielsweise werden Untersuchungen zur Umwelttoxizität von Substanzen an Daphnien (Wasserflöhen) durchgeführt, welche nur über ein sehr einfaches Nervensystem verfügen.

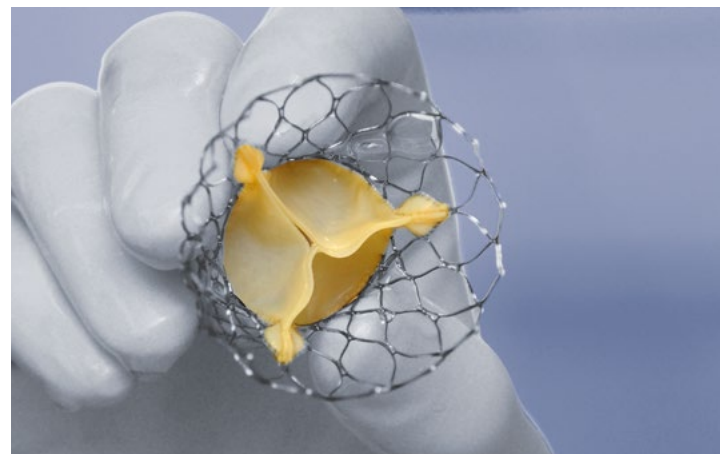
Andere Ansätze beruhen darauf, biochemische Reaktionen an Zellkulturen oder an isolierten Geweben zu analysieren. Beispielsweise wird hier untersucht, ob ein Arzneiwirkstoff bei den Zellen in der Kulturschale zur Freisetzung charakteristischer Moleküle, sogenannter Biomarker führt. Einfachere, im Labor erzeugte Gewebestrukturen, wie Lungenepithel oder Haut, ermöglichen Untersuchungen beispielsweise zur biologischen Barrierewirkung. Ergänzt werden all diese Methoden in vitro („im Glas“) durch den Ansatz in silico („im Silicium“), also die Modellierung und Simulation im Computer. Die Erforschung und Entwicklung von Ersatzmethoden für Tierversuche wird durch das BMBF seit über drei Jahrzehnten kontinuierlich gefördert. Dadurch erhält man in sehr vielen Fällen bereits wichtige Informationen über die untersuchten toxikologischen oder biomedizinischen Fragestellungen. Da allerdings das Zusammenwirken der Zellen in einem Gewebe, in einem Organ

oder gar in einem kompletten Organismus sehr komplex ist, werden wir in absehbarer Zeit nicht auf Tierversuche verzichten können.

3.2 Gesundheitswirtschaft

Die Gesundheitswirtschaft ist eines der großen Wachstumsfelder in den Industrienationen. Neben der Erbringung medizinischer Dienstleistungen sind die Arzneimittelindustrie, die Biotechnologie und die Medizintechnik ihre Kernfelder. Durch den demografischen Wandel sieht sich die Gesundheitswirtschaft einerseits vor große Herausforderungen gestellt, andererseits bieten sich für Forschung und Innovation enorme Chancen.

Medizintechnik



Diese künstliche Herzklappe wird durch die Leistenarterie eingeführt und entfaltet sich im Herzen wie ein Regenschirm.

Die Medizintechnik ist für die Gesundheitswirtschaft von zentraler Bedeutung. Sie befasst sich unter anderem mit der Entwicklung und Herstellung von Implantaten, Diagnoseinstrumenten und neuen Therapieverfahren. Hierfür greift sie in vielfältiger Weise auf Erkenntnisse und Methoden zurück, welche der Biotechnologie zugeordnet werden können. Beispielsweise können neuartige Kontrastmittel bei sogenannten bildgebenden Verfahren deren Leistungsfähigkeit und Empfindlichkeit deutlich steigern, wobei wichtige Erkenntnisse für die Entwicklung dieser Kontrastmittel aus der Biotechnologie bzw. der Nanobiotechnologie stammen. Ein weiterer bedeutender Trend ist die Theranostik. Sie umfasst Verfahren, bei denen beispielsweise ein Antikörper

sowohl als diagnostisches Werkzeug als auch zur Therapie eingesetzt werden kann. Realisiert ist dieser Ansatz schon bei der Identifizierung und Behandlung bestimmter Tumorarten.

Die Fortschritte der biotechnologischen Analyseverfahren liefern auch für die Medizintechnik wichtige Impulse, zum Beispiel im Bereich der In-vitro-Diagnostik. Miniaturisierte und automatisierbare Systeme, die oft patientennah eingesetzt werden können, liefern schnellere, zuverlässigere und dabei kostengünstigere Ergebnisse.

Die Beschichtung von Implantatoberflächen mit Biopolymeren erlaubt es, deren Verträglichkeit im Körper zu erhöhen. Die Erhöhung dieser sogenannten Biokompatibilität kann auch dazu beitragen, die Lebensdauer von beispielsweise Gelenkprothesen im Körper zu erhöhen und Folgeoperationen überflüssig zu machen. Einen Schritt weiter geht man bei Gefäßimplantaten (Stents), in deren Oberfläche Wirkstoffe eingebracht werden, die das Implantat dann an seinem Einsatzort gezielt freisetzt.

Wirkstoffsuche und Arzneimittelentwicklung

Die Entwicklung neuer Arzneimittelwirkstoffe bleibt eine permanente Herausforderung für die Forschung, und zwar aus mehreren Gründen: Ein Großteil der bekannten Krankheiten ist immer noch nicht ursächlich behandelbar. Und auch bei solchen Erkrankungen, für die es bereits medikamentöse Therapien gibt, kann die Suche nach neuen Wirkstoffen, die besser verträglich und effektiver als existierende Medikamente sind, lohnend sein. Darüber hinaus wird es in Zukunft dringend notwendig sein, neue Antibiotika zu finden, weil Krankheitserreger zunehmend gegen eines oder mehrere der existierenden Antibiotika resistent werden.

Der Begriff „Wirkstoffe“ umfasst eine Vielfalt an unterschiedlichen Substanzen: Viele pharmakologisch wirksame Stoffe bestehen aus relativ kleinen Molekülen, welche maximal aus einigen Dutzend Atomen zusammengesetzt sind. Eines der ältesten und bekanntesten Beispiele für einen solchen sogenannten niedermolekularen Wirkstoff ist die Acetylsalicylsäure: Ihre Moleküle bestehen aus neun Kohlenstoff-, acht Wasserstoff- und vier Sauerstoffatomen. Zahlreiche Antibiotika, aber auch Cytostatika – also Substanzen, welche das Wachstum von Zellen hemmen – gehören zu dieser Gruppe der

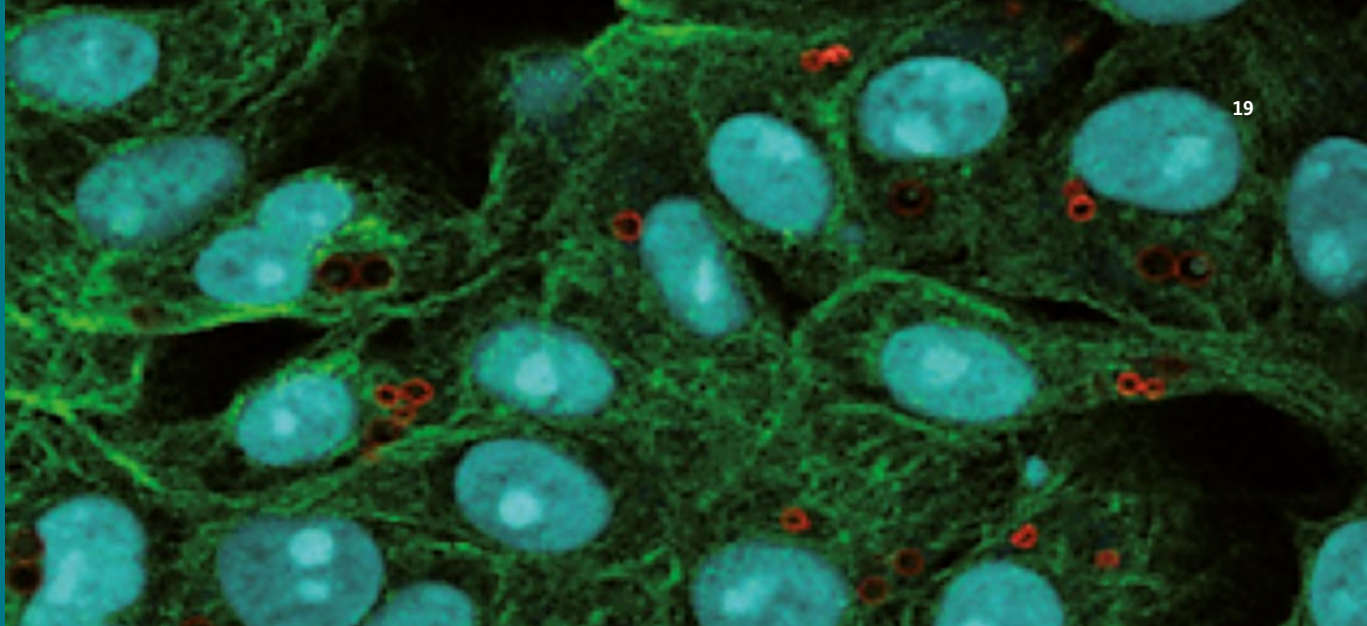
niedermolekularen Wirkstoffe. Diese werden meist synthetisch oder durch Abwandlung von Vorläufersubstanzen, welche beispielsweise pflanzlichen oder bakteriellen Ursprungs sein können, gewonnen. Die biotechnologische Forschung liefert wichtige Beiträge zur Erschließung neuer Wirkstoffquellen, zum Beispiel aus Meeresorganismen, Archaeobakterien oder auch Insekten.

Anders als diese verhältnismäßig kleinen Moleküle bestehen Eiweißstoffe meist aus Tausenden von Atomen, sie gehören also zu den Makromolekülen. Ihre Herstellung durch chemische Synthese wäre aufgrund ihrer komplexen Struktur extrem aufwändig, weshalb man sich die sogenannte Proteinbiosynthese von Zellen zunutze macht: Beispielsweise lässt sich ein gewünschter Eiweißstoff durch Einführen seiner genetischen Baupläne in eine Bakterienzelle nun gezielt produzieren. Der erste derart „rekombinant“, im industriellen Maßstab hergestellte therapeutisch wirksame Eiweißstoff war das Insulin zu Beginn der achtziger Jahre des 20. Jahrhunderts (eine ausführlichere Darstellung des Verfahrens findet sich in Abschnitt 4.1).

Mittlerweile sind in Deutschland etwa 150 rekombinant hergestellte Wirkstoffe erhältlich. Ein Trend der Arzneimittelforschung besteht darin, die unterschiedlichen Wirkstoffklassen zu kombinieren, zum Beispiel indem rekombinant hergestellte Teile von Antikörpern mit einem niedermolekularen Wirkstoff gekoppelt werden. Solche „Tandems“ – der Fachausdruck lautet Konjugate – binden mithilfe der sehr spezifischen Antikörperabschnitte nur an definierte Zellen. Auf diese Weise lässt sich der eigentliche Wirkstoff sehr gezielt an seinen Wirkungsort, also in ein bestimmtes Gewebe oder auch zu einem Tumor, transportieren.

Exkurs: Nanobiotechnologie – Impulse aus winzigen Welten

Die Zellen von Organismen enthalten zahlreiche Strukturen mit Abmessungen unter 100 Nanometern: DNA-Moleküle, Proteine und Zuckerketten, um nur einige Beispiele zu nennen. Dabei entspricht ein Nanometer einem Milliardstel Meter. In diesen Dimensionen forscht, entwickelt und produziert die Nanotechnologie. Bei der Erforschung und Nutzung solcher kleiner Strukturen bestehen zahlreiche Berührungspunkte zwischen Nano- und Biotechnologie.



Mikroskopische Aufnahme fluoreszierender Nanopartikel, die einen gezielten Transport von Wirkstoffen ermöglichen.

An dieser Schnittstelle von „nano“ und „biotech“ – in der Nanobiotechnologie – werden sowohl neue Analyseverfahren für die Erforschung biologischer Vorgänge als auch stark miniaturisierte technische Systeme mit Biomolekülen kombiniert. Diese Systeme lassen sich beispielsweise in der klinischen Diagnostik anwenden.

„Der Ursprung aller Dinge ist klein.“

Marcus Tullius Cicero (106–43 v. Chr.)

Die Nanobiotechnologie verbindet die biologische mit der nichtbiologischen Forschung und umspannt damit die Lebenswissenschaften, Physik, Chemie und Ingenieurwissenschaften. Von der jungen Querschnittsdisziplin erwartet man sich wertvolle Erkenntnisse etwa über Biomoleküle als Bausteine und Funktionselemente des Lebens. Biomoleküle werden bereits vielfach technisch genutzt, etwa bei der Herstellung von Nachweissystemen für Krankheitserreger. In diesem Fall helfen die Methoden der Nanotechnologie dabei, die Biomoleküle präzise zu handhaben und das Ergebnis zu prüfen. Andererseits lernt auch die Nanotechnologie von der Natur. Wenn man versteht, wie sich Biomoleküle zu hoch geordneten Strukturen – beispielsweise der Hülle eines Virus – zusammenfinden, lassen sich mit diesem Wissen möglicherweise nichtbiologische, künstlich hergestellte Moleküle maßschneidern, die ein ähnliches Verhalten zeigen und zum Beispiel neue Wege für die Beschichtungstechnik eröffnen. Objekte, die biologische Eigenschaften „nachahmen“, werden als „biomimetische“ Objekte bezeichnet.

Obwohl ein Großteil der Nanobiotechnologie noch an der Grundlagenforschung arbeitet, erscheinen einige technische Einsatzmöglichkeiten kurz- und mittelfristig vielversprechend. Heute schon sind maßgeschneiderte Nanopartikel, die nach Anregung Licht einer ganz bestimmten Wellenlänge abgeben,

ein wertvolles Werkzeug für die Aufklärung grundlegender zellbiologischer Prozesse. Großes Potenzial haben funktionalisierte, also mit einer bestimmten Oberflächenstruktur versehene Nanopartikel zudem in der Therapie von Krebserkrankungen. Ein biomimetischer Nano-Wirkstoff wird bereits bei der Behandlung überempfindlicher Zähne, aber auch als Knochenersatzstoff eingesetzt.

Regenerative Medizin

Durch Unfälle oder Krankheiten können Gewebe oder Organe in ihrer Funktion nachhaltig beeinträchtigt oder ganz zerstört werden. Schon heute sind einige Verfahren Alltag, bei denen patienteneigene oder -fremde Zellen übertragen werden, um zerstörte Funktionen wieder herzustellen. Besonders zu nennen sind hier die Übertragung von Knochenmarkszellen bei Erkrankungen des blutbildenden Systems (Leukämie) oder die sogenannte autologe Knorpelzelltherapie, bei der Knorpelzellen außerhalb des Körpers gezüchtet werden, um beschädigte Gelenke zu „reparieren“. Solche Zell- und Gewebekulturtechniken sollen in Zukunft in noch viel größerem Maße dazu beitragen, geschädigte oder zerstörte Gewebe und Organe zu regenerieren oder zu ersetzen und ihre Funktion wiederherzustellen. Die Forschung zielt hier unter anderem darauf ab, die Kulturmедien, in denen Zellen gezüchtet werden, zu optimieren. Hierzu wird an einem noch tieferen Verständnis der Wirkungsweise von Substanzen geforscht, die als Wachstumsfaktoren wirken und für die Differenzierung von Zellen in verschiedene Gewebearten von entscheidender Bedeutung sind. Die optimalen Methoden und Bedingungen für die Transplantation von Zellen oder Geweben sind ebenso Gegenstand dieser Forschungen wie auch Substrate, also beispielsweise speziell strukturierte Oberflächen von Zellkulturgefäßen.

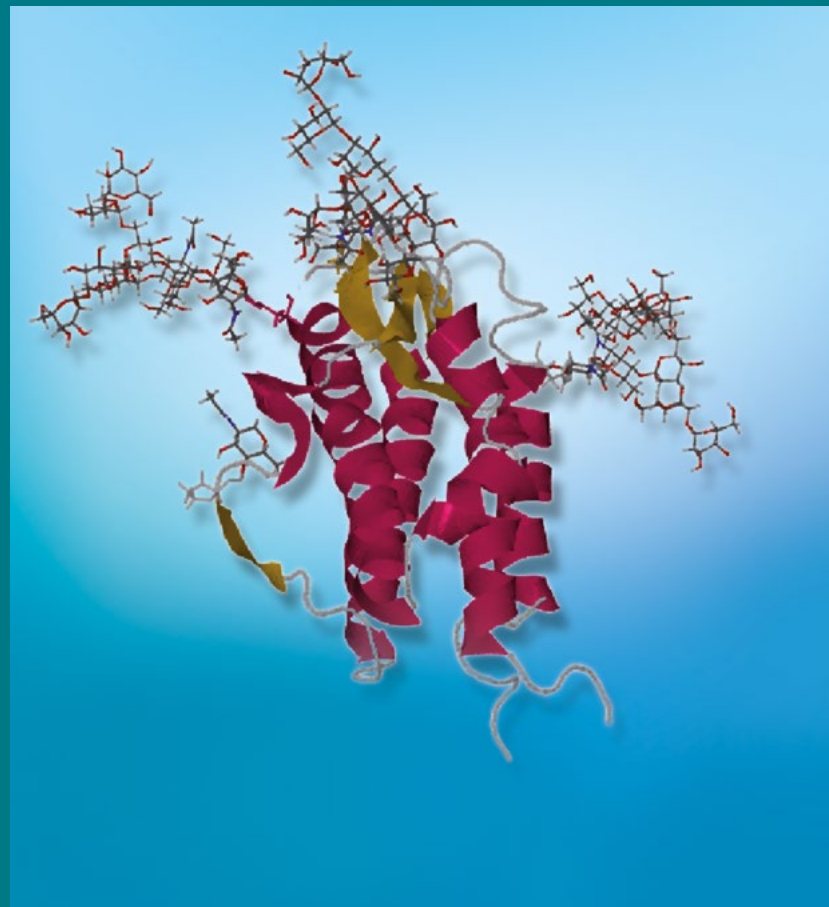
Exkurs: Glykobiotechnologie – Süße Signale im Zuckercode

Süßigkeiten, Energiegehalt, Übergewicht und Karies – daran denken viele beim Stichwort Zucker. Doch darin erschöpfen sich dessen Funktionen und Auswirkungen bei Weitem nicht, sind Zuckerverbindungen doch aus biologisch-medizinischer Sicht ungemein vielseitig und interessant. Zuckermoleküle finden sich häufig an Proteine gekoppelt und sind essenziell für den Aufbau von Oberflächenstrukturen von Zellen. Da ihnen und ihren Veränderungen eine zentrale Rolle in wichtigen biologischen Prozessen – wie der Embryonalentwicklung oder der Immunabwehr – zukommt, beschäftigt sich mittlerweile eine eigene Forschungsrichtung, die Glykobiotechnologie, mit der Entschlüsselung des Zuckercode.

Nicht zuletzt wegen der großen Komplexität von Zuckerstrukturen befasste sich bis vor wenigen Jahren nur eine geringe Zahl an Chemikern und Biochemikern mit deren Bedeutung für die biologische Regulation. Erst wichtige technische Neuerungen – zum Beispiel in der Strukturanalyse von Zuckerkomplexen oder die Möglichkeit, komplizierte Zuckerstrukturen im Labor aufzubauen – machten die Erkenntnissprünge der vergangenen Jahre möglich.

Die Glykobiologie widmet sich der Erforschung der Funktionen von Zuckermolekülen in Lebensvorgängen, denn sie sind viel mehr als „nur“ Energielieferant. Komplexe Zuckerstrukturen kommen als Modifikationen auf der Oberfläche von Proteinen (Glykoproteine) oder in Zellmembranen (Glykolipide) vor und spielen aufgrund der beträchtlichen Variationsmöglichkeiten eine wichtige Rolle, unter anderem bei Zellkommunikation, Immunantwort und Gewebeorganisation. Für eine ganze Reihe von Erkrankungen, wie Krebs, Infektionen oder Entzündungen, ist es mittlerweile gelungen, spezifische Muster von Zuckerstrukturen auf der Oberfläche der betroffenen Zelle zu beschreiben. Solche „verräterischen“ Zuckerstrukturen erschließen neue Wege in der Diagnostik oder können als Angriffspunkt für neuartige Therapien genutzt werden.

Erkenntnisse der Glykobiologie setzt die Glykobiotechnologie für die Medizin industriell um, etwa bei der biotechnologischen Herstellung eiweißbasierter Medikamente (Insulin oder Erythropoetin). Durch optimierte Produktionsstämme werden die Eiweißmoleküle gleichzeitig mit einer passenden Zuckerstruktur ausgestattet und besitzen dadurch eine deutlich verbesserte Wirksamkeit. Darüber hinaus liefert die Glykobiologie Impulse für innovative Biomaterialien, die in Implantaten oder Prothesen eingesetzt werden können. Eine gezielte Oberflächengestaltung mit Zuckerstrukturen trägt dazu bei, die Verträglichkeit der eingesetzten Materialien zu erhöhen.



Schematische Darstellung des für die Blutbildung verantwortlichen Hormons Erythropoetin. Für sein Funktionieren sind die fein verästelten Zuckerstrukturen eine wichtige Voraussetzung.

Seit dem Jahr 2006 hat darüber hinaus das Forschungsgebiet der induzierten pluripotenten Stammzellen eine stürmische Entwicklung erlebt. Wissenschaftler entdeckten, dass sich aus Körperzellen, etwa der Haut, durch den Transfer von vier definierten Pluripotenzgenen Zellen gewinnen (induzieren) lassen, die ihrerseits wieder zu jedem unterschiedlichen Gewebetyp ausdifferenzieren können. Diese Entwicklung ist sehr vielversprechend, da insbesondere auf patienteneigene, also immunkompatible Ausgangszellen zurückgegriffen werden kann. Allerdings müssen noch viele grundsätzliche Hürden überwunden werden, bis an eine breite klinische Anwendung dieser Zellen gedacht werden kann. Es wird daher weiterhin notwendig sein, die sich gegenseitig ergänzenden Ansätze mit verschiedenen Typen pluripotenter Stammzellen, einschließlich der humanen embryonalen Stammzellen, weiterzuverfolgen und miteinander zu vergleichen. Großes Potenzial hat auch die Erforschung von innovativen Biomaterialien, die gewissermaßen als „Gerüstmaterial“ dienen und mit entsprechenden Zellen besiedelt werden können. Dies ist insbesondere wichtig, wenn man komplexe, dreidimensionale Gewebeverbände erzeugen möchte. Heute ist man hier noch auf Knorpel, Haut und Herzklappen beschränkt, aber auch die Wiederherstellung einer geschädigten Luftröhre konnte auf diese Weise schon realisiert werden.

3.3 Bioökonomie

Die Weltbevölkerung wächst stetig und damit sinkt kontinuierlich die Menge der verfügbaren Ressourcen. Weil diese Entwicklung irgendwann nicht weiter voranschreiten kann, benötigt die Menschheit neue, nachhaltige Arten des Wirtschaftens. Einen solchen Ansatz bildet die wissensbasierte Bioökonomie. Darunter ist eine moderne, nachhaltige und bio-basierte Wirtschaft zu verstehen, deren vielfältiges Angebot die Welt ausreichend und gesund ernährt und mit hochwertigen Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen versorgt. Die Bundesregierung legt mit der „Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“ die Grundlagen für die Vision einer solchen nachhaltigen bio-basierten Wirtschaft.

Weltweite Ernährungssicherheit

Experten der UN gehen davon aus, dass im Jahre 2050 die Weltbevölkerung 9 Milliarden Menschen überschritten haben wird – bereits Anfang 2013 waren es 7,1 Milliarden. Damit zählt die Sicherstellung der Welternährung zu einer der größten Gegenwartsaufgaben.

Zur Ertragssicherung und ggf. -steigerung von Nutzpflanzen müssen diese sowohl mit klassischen als auch mit biotechnologischen Verfahren weiterhin kontinuierlich verbessert werden. Dies betrifft Eigenschaften wie Schädlingsresistenz oder auch die stoffliche Zusammensetzung der Nutzpflanzen. Nicht zuletzt vor dem Hintergrund des weltweiten Klimawandels werden züchterische Merkmale wie Trocken- und Salz-Toleranz immer wichtiger. In diesem Zusammenhang spielen



Reisanbau auf Terrassen an einem Hang.

neue Verfahren eine Rolle, welche die Auswirkung von Umwelteinflüssen auf die Ausprägung bestimmter Merkmale der Pflanze ermitteln.

Auch der Artenvielfalt (Biodiversität) von Nutzpflanzen wird zukünftig größere Bedeutung zukommen, um der Gefährdung von Ernteerträgen durch Schädlinge oder Klimaeinflüsse zu begegnen. Ein Beispiel hierfür sind die heute angebauten Bananensorten, welche teilweise sehr anfällig für Schadpilze sind. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass in vielen Entwicklungsländern Bananen zu den Grundnahrungsmitteln zählen, besteht hier ein großer Bedarf an neuen, resistenteren Sorten.

Auch die Zucht von Nutztieren stellt die Forschung in diesem Zusammenhang vor neue Herausforderungen. Neben der Effizienz neuer Zuchtverfahren müssen Aspekte des Tierschutzes und der Akzeptanz noch stärkere Berücksichtigung finden, während bei den Zuchtungszielen selbst Schwerpunkte, beispielsweise auf Futtereffizienz und Stresstoleranz, gelegt werden. Auch der Aspekt der Klimawirkung, die Nutztiere direkt oder indirekt durch Freisetzung klimaschädlicher Gase besitzen, muss berücksichtigt werden.

Nachhaltige Agrarproduktion

Der Begriff der Nachhaltigkeit ist derzeit in aller Munde. Oft existieren allerdings nur unklare Vorstellungen von seiner Bedeutung. Zuerst verwandt wurde er vor über 200 Jahren im Bereich der Forstwirtschaft: Einem Wald sollte nur so viel Nutzholz entnommen werden, wie im gleichen Zeitraum nachwächst. Diese historische Definition wurde vielfach ergänzt und erweitert, ist aber auch heute noch in ihren Grundzügen für die Landwirtschaft zutreffend.

Eine nachhaltige Agrarproduktion muss zum Ziel haben, die natürlichen Ressourcen wie Boden, Luft und Wasser zu erhalten. So dürfen Böden nicht ausgelaugt werden, ihre Fruchtbarkeit muss erhalten und ihre Erosion verhindert werden.

Ein Aspekt einer nachhaltigen Agrarproduktion ist es, Strategien des integrierten Pflanzenschutzes weiter zu entwickeln. Konkret heißt das, die Schädigung von Nutzpflanzen und damit die Minderung oder gar den Ausfall ihres Ertrages durch ein ganzes Bündel von Maßnahmen zu vermeiden, von denen die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln nur eine Facette bildet.

Genauso wichtig sind Maßnahmen wie die bestmögliche Auswahl von Standort, Saatgut und Aussaatzeitpunkt sowie die Berücksichtigung einer optimalen Fruchtfolge. Auch die Einbeziehung natürlicher Fressfeinde von Schädlingen ist hier zu nennen. Ein weiterer Schwerpunkt der Forschung liegt auf der Entwicklung von Nutzpflanzen mit neuen Eigenschaften oder der Weiterentwicklung spezieller Anbautechniken.

Wenngleich transgene (gentechnisch veränderte) Nutzpflanzen in Deutschland zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine Rolle spielen, so sind sie doch weltweit aus der Landwirtschaft nicht mehr wegzudenken. Im Jahr 2012 wurden gentechnisch veränderte Pflanzen in 28 Ländern angebaut. Darüber hinaus können DNA-Techniken bei der züchterischen Merkmalsanalyse, etwa im Rahmen des „SMART Breeding“, zum Einsatz kommen und bieten auch weiterhin das Potenzial, zum Beispiel arteigene Pflanzengene gezielt zu übertragen. SMART bedeutet hierbei nicht nur „geschickt, gewitzt“, sondern stellt auch das Akronym für „Selection with Markers and Advanced Reproductive Technologies“ dar, auf Deutsch also etwa „Präzisionszüchtung durch markergestützte Selektion“.

Schließlich spielen Forschung und Innovation auch bei der Zucht, Fütterung, Haltung und Gesundheit landwirtschaftlicher Nutztiere eine Rolle für die Sicherstellung einer nachhaltigen Agrarproduktion.

Gesunde und sichere Lebensmittel

Noch nie waren in der Geschichte der Menschheit Angebot und Qualität der Lebensmittel so hoch wie heute in den westlichen Industrienationen. Dennoch zeigen Tendenzen der Fehlernährung und immer wieder vorkommende Übertretungen gesetzlicher Bestimmungen, dass weiterhin Verbesserungspotenzial besteht.

Dies betrifft beispielsweise den Einfluss von Umwelt- und Produktionsbedingungen auf die Nahrungsmittelqualität: Hier kann Forschung dazu beitragen, mögliche Belastungen, wie sie beispielsweise durch Schimmelbefall auftreten können, von vornherein auszuschließen. Ganz allgemein ist es ein Ziel, pflanzliche und tierische Erzeugnisse bereits in der Produktionsphase hinsichtlich ihrer Zusammensetzung zu optimieren. Auch wird angestrebt, die Qualität der Nahrungsmittel ausgehend von bestimmten Bedürfnisprofilen zu verbessern. Dies betrifft zum Beispiel die Anreicherung wertvoller Inhaltsstoffe oder die Minimierung von allergieauslösenden Stoffen:

Erdnüsse zum Beispiel enthalten zahlreiche Eiweißstoffe, die teilweise schwere allergische Reaktionen auslösen können. Auch für schonendere Methoden der Lebensmittelverarbeitung liefert die Biotechnologie vielversprechende Ansätze: So konnte beispielsweise mit biotechnologischen Methoden die Bildung des giftigen Acrylamids bei der Herstellung bestimmter Backerzeugnisse minimiert werden.

Im Bereich der Lebensmittel, welche auf tierischen Erzeugnissen wie Fleisch oder Milch beruhen, liegt ein Schwerpunkt auf der Erforschung der Ursachen sowie

der besseren Vorbeugung und Therapie von Tierseuchen. Herausforderungen stellen sich hier insbesondere bei innovativen Diagnostika, Impfstoffen und Tierarzneimitteln sowie bei der Bekämpfung neu auftretender Infektionskrankheiten, die auch für den Menschen gefährlich sein können (beispielsweise Grippeinfektionen).

Zur fortlaufenden Weiterentwicklung der Lebensmittelsicherheit bei Verarbeitung und Konservierung tragen Innovationen in der Analytik und Überwachung bei, aber auch verbesserte Qualitäts- und Risikomanagementsysteme.

Exkurs: Nachhaltige Bioproduktion – Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit

Techniken der Natur macht sich auch die industrielle biotechnologische Produktion zunutze, unter anderem durch die Kultur von lebenden Zellen oder den Einsatz von biologischen Katalysatoren (Enzymen). Damit biologische Herstellungsprozesse aber im großen Maßstab ablaufen können, liefern Ingenieurwissenschaften und Verfahrenstechnik ebenfalls wesentliche Beiträge.

Angesichts knapper werdender Ressourcen und Veränderungen des globalen Klimas stellt die Versorgung mit Rohstoffen eine immer größere Herausforderung dar. Verantwortungsvoll mit ihnen umzugehen heißt, sie sparsamer einzusetzen, effektiver zu nutzen sowie Umweltbelastungen zu vermeiden. Einen wichtigen Beitrag hierzu kann die Biotechnologie leisten.

Die moderne Biotechnologie zeichnet sich durch eine Zusammenarbeit von Biologie, Chemie und Ingenieurwissenschaften aus. Von diesem interdisziplinären Ansatz profitieren besonders die industrielle Produktion und der Umweltschutz. Denn gegenüber vielen chemischen Synthesevorgängen bieten biotechnologische Produktionsverfahren erhebliche Vorteile: etwa eine höhere Energieeffizienz, die Vermeidung schädlicher Ausgangsstoffe sowie eine Verringerung unerwünschter Neben- und Abfallprodukte. Als Ersatz klassischer Produktionsverfahren und durch die Herstellung umweltverträglicher Biochemikalien – biologisch abbaubare Materialien als Kunststoffersatz oder Enzyme in Waschmitteln – unterstützt die Biotechnologie maßgeblich die Umsteuerung in Richtung einer nachhaltigen Wirtschaftsweise.

In einer biotechnologischen Anlage wachsen zum Beispiel Mikroorganismen unter sehr kontrollierten Bedingungen. Gleich konventionellen Produktionsprozessen müssen Messgrößen wie Druck, Sauerstoffzufuhr und Temperatur exakt geprüft und gesteuert werden. Solche Produktionsverfahren haben gegenüber manchen chemischen Prozessen den Vorteil, dass selbst komplexe Herstellungswege von einem einzigen Organismus effizient, mit geringem Rohstoffverbrauch und wenig Abfallaufkommen durchgeführt werden können. Diese biologischen Leistungen haben sich in Jahrmillionen der Evolution etabliert und tragen heute erheblich zu einer umweltverträglichen industriellen Produktion bei. Darin liegt die Relevanz der nachhaltigen Bioproduktion.



Moderne Großfermentationsanlagen erlauben es, sowohl chemische Grundstoffe als auch hochkomplexe Moleküle – beispielsweise Wirkstoffe – in großen Mengen und umweltschonend herzustellen.

Exkurs: Genomforschung an Mikroorganismen

Bakterien (Prokaryoten) kommen nahezu überall auf der Erde vor. Einige Arten haben sich an extreme Bedingungen angepasst (Extremophile). Sie existieren bei Temperaturen von über 100 °C in heißen Quellen, unter hohem Druck in der Tiefsee oder unter meterdicken Eisschichten. Obwohl die Bakterien anders als höhere Zellen keinen Zellkern besitzen und relativ einfach aufgebaut sind, haben sie doch erstaunliche Stoffwechselfähigkeiten: Es gibt praktisch keine chemische Substanz, die nicht von Bakterien verwertet werden kann. Diese Fähigkeit verdanken sie speziellen Enzymen, die als Biokatalysatoren viele Stoffwechselreaktionen erst ermöglichen, und den Genen, in denen der Bauplan für solche Enzyme steckt.

Struktur und Funktion der bakteriellen Erbinformation zu entschlüsseln, ist Ziel der mikrobiellen Genomforschung. Ihre Erkenntnisse sind für die technische Anwendung von Enzymen besonders interessant. Denn diese können in industriellen Prozessen entsprechend ihren individuellen Eigenschaften vielfältig eingesetzt werden: bei niedrigen oder hohen Drücken und Temperaturen, im sauren ebenso wie im basischen Milieu. Darüber hinaus lässt sich die Fähigkeit von Bakterien, eine große Anzahl an chemischen Substanzen verwerten zu können, für den Umweltschutz nutzen, beispielsweise bei der biotechnologischen Sanierung belasteter Böden.



Luftbildaufnahme der Thermalquelle Grand Prismatic Spring, Yellowstone-Nationalpark, USA: Sogenannte „Extremophile“ können extreme Lebensräume besiedeln, etwa heiße Quellen. Sie verfügen über erstaunliche Stoffwechselleistungen und beziehen ihre Energie vielfach aus der Verwertung ungewöhnlicher Substanzen wie Schwefelwasserstoff und Metallionen.

Industrielle Nutzung nachwachsender Rohstoffe

Heute verbindet sich mit dem Begriff „Raffinerie“ die Vorstellung einer großen Anlage mit langen Rohrleitungen, haushohen Destillations- und Reaktionsanlagen und riesigen Tanks. In ihr werden aus Erdöl die zahlreichen Kraftstoffe und Chemikalien gewonnen, ohne die unser Leben mittlerweile undenkbar wäre. Die Raffinerie der Zukunft wird teilweise auf den ersten Blick noch sehr

ähnlich aussehen, aber einen gänzlich anderen Rohstoff nutzen, nämlich Biomasse statt Erdöl. Dabei geht das Bestreben der Wissenschaftler und Ingenieure dahin, hier weitestgehend eine Koppel- und Kaskadennutzung der eingesetzten Biomasse zu erreichen. Das bedeutet, dass mehrere Produkte und/oder Energie gleichzeitig gewonnen (Kopplung) und anschließend so weit wie möglich wiederverwendet werden (Kaskade).

Bei der Nutzung von Mikroorganismen zur Produktion von chemischen Grundstoffen oder Feinchemikalien liegt ein Augenmerk der Forschung darauf, neue Produzentenstämme mit bisher ungenutzten Stoffwechselleistungen zu erschließen. Dort, wo dies nicht möglich ist – beispielsweise weil sich entsprechende Stämme nur sehr schwer im Labor vermehren lassen – kommen vermehrt zellfreie Produktionssysteme in Betracht, welche mit der interessierenden genetischen Information dieser Stämme „programmiert“ werden. Hierzu setzt man Extrakte von Zellen ein, welche die wesentlichen Komponenten für die Proteinbiosynthese enthalten, sodass der Schritt der „Umschreibung“ der DNA-Sequenz in eine „Arbeitskopie“ (mRNA) und anschließend der „Übersetzung“ in die Aminosäuresequenz eines Eiweißmoleküls auch außerhalb lebender Zellen möglich wird. Auf Seiten der Produkte wird angestrebt, möglichst hochwertige biobasierte Plattformmoleküle zu identifizieren. Darunter versteht man Substanzen, die als Vorläufer für eine Vielzahl weiterer interessanter Stoffe dienen und damit umfassend industriell genutzt werden können. Ein Beispiel hierfür ist Stärke aus Mais, die als Ausgangsprodukt für Glucose, Milchsäure, Ethanol und andere hochwertige Substanzen dienen kann.

Schließlich sind hier auch die umweltbiotechnologischen Verfahren zu nennen. Hierzu zählen Verfahren, welche die möglichst nachhaltige, biobasierte Produktion zum Ziel haben und Wertstoffe zurückgewinnen sowie mögliche Schadstoffe aus Abwasser und Abluft entfernen. So wird beispielsweise daran geforscht, mithilfe immobilisierter Enzyme wertvolle Phosphate aus Gülle abzutrennen. Biotechnologische Prozesse ermöglichen es zudem, umweltgefährdende Altlasten zu entfernen, beispielsweise bei der Bodensanierung mithilfe von Mikroorganismen.

Energieträger auf Basis von Biomasse

Seit der „Erfindung“ des Feuers nutzt der Mensch Energie aus Biomasse. Heute – vor dem Hintergrund der Klimaerwärmung – besteht die Notwendigkeit, von der Nutzung fossiler Energieträger Abstand zu nehmen und sich einer Energiewirtschaft auf regenerativer Basis zuzuwenden. Biomasse spielt also als „Energierohstoff“ eine immer wichtigere Rolle. Doch die Gleichung „Biomasse als Energieträger gleich Klimaschutz“ ist zu einfach. Beispielsweise ist es wenig zielführend, wenn Energiepflanzen nur unter massiver Stickstoffdüngung gewonnen werden können, da diese selbst zu einer verstärkten



Stroh ist der Ausgangsstoff für Biokraftstoffe der zweiten Generation.

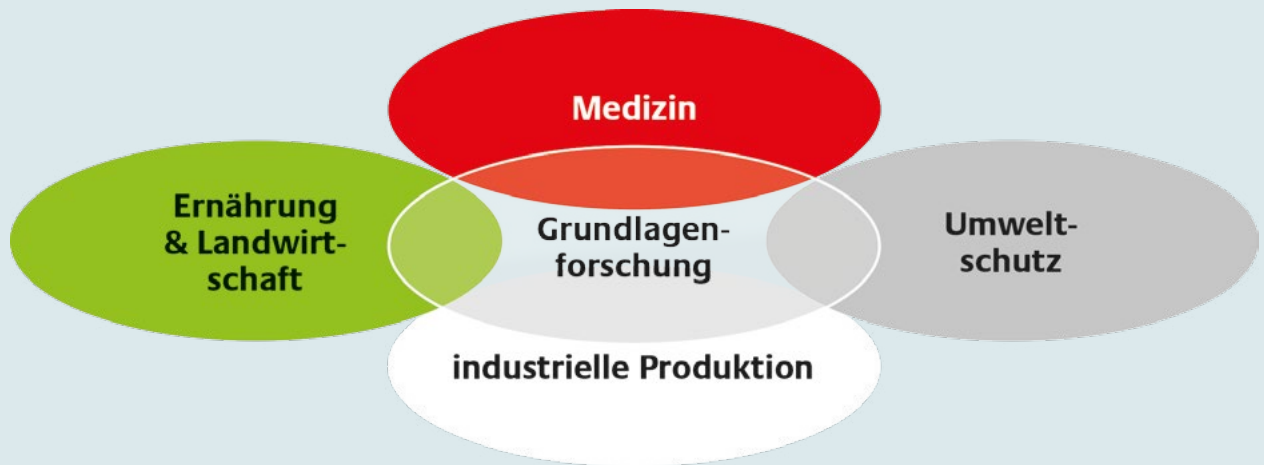
Freisetzung von Treibhausgasen führt (durch den Energieverbrauch bei Herstellung und Ausbringung, aber auch aus überschüssig ausgebrachtem Dünger selbst). Vielmehr ist es von größter Wichtigkeit, bei der Nutzung biomasse-basierter Energieträger über die gesamte agrarische Produktionskette hinweg eine höchstmögliche Ressourceneffizienz zu erzielen, um in der Bilanz zu einer maximalen Energieausbeute bei minimaler Umweltbelastung zu gelangen.

In die gleiche Richtung zielt die Forschung zur Optimierung biotechnologischer Produktionssysteme bzw. Umwandlungsverfahren für Biokraftstoffe der zweiten Generation. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass zu ihrer Herstellung nahezu die gesamte Pflanze genutzt wird – im Gegensatz zu Biokraftstoffen der ersten Generation, bei deren Produktion nur die Inhaltsstoffe der Frucht der jeweiligen Pflanze (also Stärke, Zucker oder Öl) genutzt und die restlichen Bestandteile anderweitig verwendet werden.

Die dezentrale Produktion von Biogas erlebt einen enormen Boom: So betrug die installierte Leistung von Biogasanlagen zur Stromerzeugung im Jahr 2011 bereits 2.850 Megawatt, mit weiterhin stark steigender Tendenz. 2013 wurden zur Produktion von Biogas ganz überwiegend dafür angebaute Energiepflanzen (Mais) sowie zu einem kleineren Teil Mist und Gülle verwendet. Die Forschung hierzu beschäftigt sich unter anderem mit der Steigerung der Prozesseffizienz von Biogasanlagen, beispielsweise durch die Entwicklung neuer anaerob (unter Luftabschluss) arbeitender Bakterienstämme. Auch wird eine bessere energetische Nutzung des produzierten Biogases angestrebt. Diese kann zum Beispiel erreicht werden, wenn eine Verstromung in Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung durchgeführt wird, sodass die anfallende Wärmeenergie beispielsweise zum Heizen verwendet werden kann.



- Mann mit Schutzanzug, Mundschutz und Handschuhen zwischen den Rohren und Kesseln einer Biotech-Produktionsanlage



Die „Farbenlehre“ der Biotechnologie.

4. Die Farben der Biotechnologie

4.1 Rote Biotechnologie in Gesundheit und Ernährung – Impulse fürs Leben

„Die Medizin sollte nicht nur dem Leben Jahre geben, sondern auch den Jahren Leben.“

Georg Christoph Lichtenberg

Viele biotechnologische Produkte sind schon seit Längerem auf dem Markt, beispielsweise Interferone für die Therapie von Hepatitis B und C oder Multipler Sklerose. Weitere bekannte Beispiele aus der roten Biotechnologie: Erythropoietin gegen Blutarmut sowie Insulin zur Behandlung von Diabetes. Dieser Wirkstoff ist ein natürliches Hormon der Bauchspeicheldrüse und wird heute in gentechnisch veränderten Bakterien oder Hefen hergestellt. Dazu wurde das menschliche Insulin-Gen auf die Mikroorganismen übertragen. Diese bilden ein Insulin, das mit dem aus der menschlichen Bauchspeicheldrüse identisch ist. Wollte man es ohne Hilfe der Biotechnologie produzieren, würden für die Jahresdosis von 100.000 Diabetikern die Bauchspeicheldrüsen von drei Millionen Rindern oder 14 Millionen Schweinen benötigt. Zudem birgt die Verwendung tierischen Materials in der Medizin die Gefahr einer Übertragung von Krankheiten. Biotechnologisch hergestelltes Humaninsulin ist wesentlich verträglicher und kann durch punktuelle Veränderung des Insulin-Gens in den produzierenden Mikroorganismen sogar in seiner Wirksamkeit gesteigert werden.

Eine für die moderne Gentechnik grundlegende molekularbiologische Technik ist die Übertragung von

Genen in Bakterien. Diese können aus anderen Bakterien, aber auch aus Pflanzen, Tieren oder Menschen stammen. Dazu wird das zu übertragende Gen mit speziellen molekularen Scheren (Restriktionsenzymen) ausgeschnitten und in ein Plasmid eingesetzt. Plasmide sind kleine, ringförmige Moleküle, die in vielen Bakterien vorkommen. Dieses Plasmid überträgt man nun auf Bakterien und vermehrt diese in Nährlösung. Verwendet man beispielsweise das menschliche Gen für Insulin, lässt sich mit den so veränderten Bakterien nun Humaninsulin herstellen.

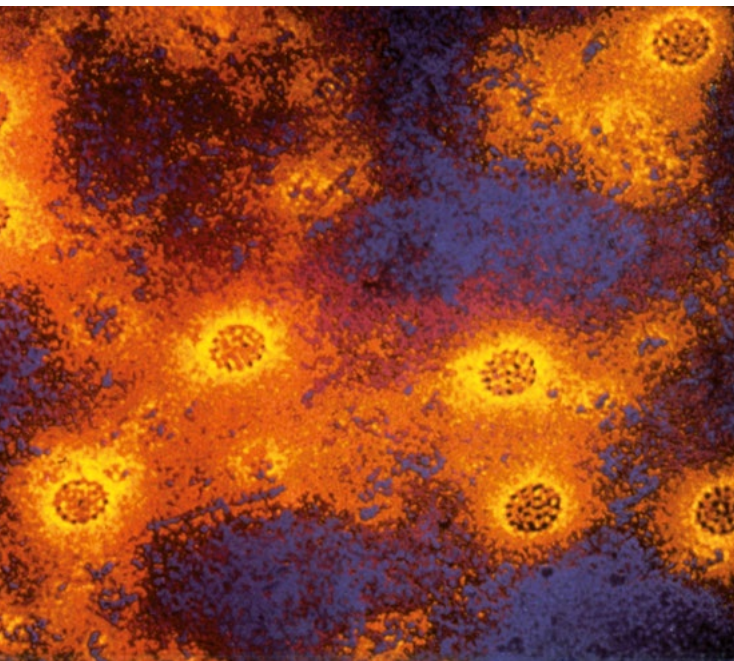
Allerdings können nicht alle Wirkstoffe von Mikroorganismen hergestellt werden, etwa weil sie einen Aufbau besitzen, für den in Mikroorganismen keine „Werkzeuge“ existieren. Als Alternative bietet sich hier die Produktion in Tieren oder Pflanzen an. Seit Mai 2008 ist in Deutschland ein blutgerinnungshemmender Wirkstoff, das Antithrombin, auf dem Markt, welcher aus der Milch gentechnisch veränderter – sogenannter transgener – Ziegen gewonnen wird.

Mit gentechnischen Methoden lassen sich nicht nur Medikamente, sondern auch Impfstoffe gegen Erreger herstellen, gegen die bislang kein Schutz bestand. Beispiel Gebärmutterhalskrebs: Er ist vielfach auf das Humanpapilloma-Virus (HPV) zurückzuführen. Jedes Jahr werden in Deutschland 6.500 Neuerkrankungen diagnostiziert, 2.400 Frauen sterben im gleichen Zeitraum an dieser Tumorart. Seit März 2007 empfiehlt die ständige Impfkommission am Robert Koch-Institut die Impfung gegen HPV für alle Mädchen von 12 bis 17 Jahren mit einem gentechnisch gewonnenen Impfstoff – dies ist das erste Mal, dass ein Impfstoff gezielt und erfolgreich zur Krebsverhütung entwickelt wurde.

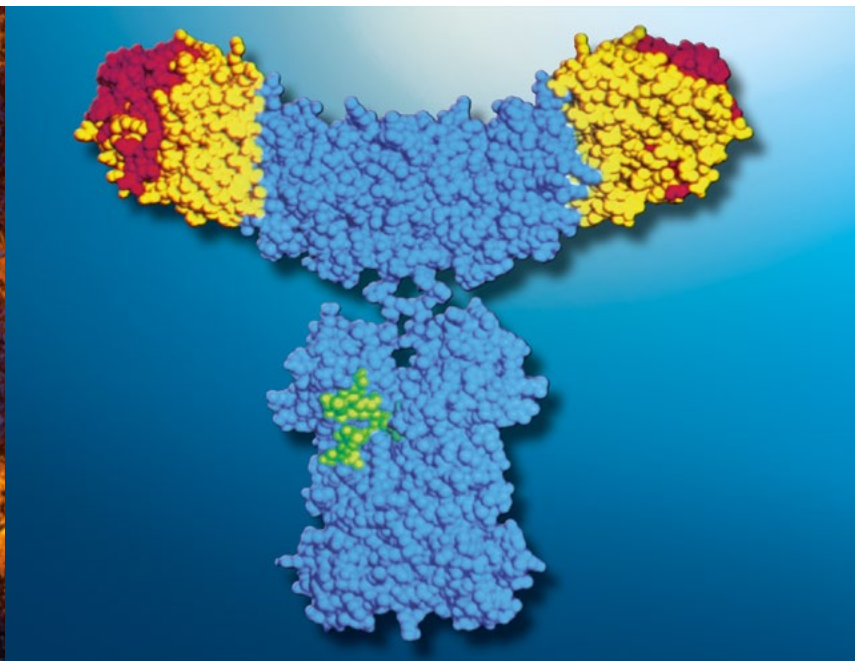
Während Medikamente oft nur die Symptome lindern, setzt die Gentherapie bei den Ursachen der Erkrankung an, nämlich bei der fehlerhaften Erbinformation. Weltweit werden Forschungsarbeiten zur Gentherapie von Körperzellen, der somatischen Gentherapie, vorangetrieben (griechisch Soma = Körper). Diese Form der Therapie führt zu einer genetischen Veränderung der Körperzellen, ist aber nicht vererbbar. Besonders im Bereich der Stoffwechselkrankheiten knüpfen sich hieran große Erwartungen. Diese Krankheiten beruhen zumeist darauf, dass körpereigene Substanzen wie Enzyme in der falschen Menge oder fehlerhaft hergestellt werden. Deshalb versucht man, durch gezieltes Einbringen des korrekten genetischen Bauplans in die Körperzellen, eine normale Produktion der jeweiligen Substanzen zu erreichen.

Einen entscheidenden Beitrag leistet Biotechnologie ebenfalls im Bereich der Diagnostik sowie der biomedizinischen Forschung, und zwar sowohl in der anwendungsbezogenen als auch der Grundlagenforschung.

Gut ein Drittel aller Diagnostika und biomedizinischen Reagenzien wird biotechnologisch hergestellt – Tendenz steigend. An Bedeutung gewinnen darüber hinaus Verfahren, bei denen Krankheitserreger dadurch erkannt werden, dass man selbst geringste Spuren ihrer Erbinformation nachweist. Mithilfe gendiagnostischer Verfahren sind zudem weitere Fortschritte bei der Unterscheidung verschiedener Tumorarten als Grundlage für eine zielgerichtete Therapie zu erwarten. Angewandt wird ein solches Verfahren bereits bei einem Antikörper gegen Brustkrebs. Hierbei lässt sich durch einen vorgeschalteten Test ermitteln, bei welchen Patientinnen dieser Antikörper wirksam sein sollte.



Falschfarbendarstellung von Humanpapillomaviren, die eine wichtige Rolle bei der Entstehung von Gebärmutterhalskrebs spielen.



Der Antikörper Trastuzumab wird in der Therapie bestimmter Brustkrebsformen erfolgreich eingesetzt.



Die Zuckerrübe: Ergebnis jahrzehntelanger Zuchtbemühungen.



Ein erwachsener Maiszünsler: Seine Larven sind gefürchtete Schädlinge.

4.2 Grüne Biotechnologie in der Landwirtschaft – Erträge für morgen

Pflanzenzüchtung betreiben die Menschen seit Beginn des Ackerbaus vor circa 10.000 Jahren: Pflanzen mit gewünschten Eigenschaften wie Geschmack, Ertrag und Widerstandsfähigkeit werden ausgewählt und vermehrt. Über Jahrtausende hinweg entstanden so die uns heute bekannten Kulturpflanzen. Doch die klassischen Züchtungsmethoden sind enorm zeitaufwändig. Mehr als 100 Jahre vergingen, bis beispielsweise durch Züchtung der Runkelrübe zur Zuckerrübe der Zuckergehalt auf etwa 20 Prozent gesteigert werden konnte. Dies ist ein Grund, weshalb heute die grüne Biotechnologie die klassischen Züchtungsmethoden zunehmend ergänzt.

Als erste gentechnisch veränderte Kulturpflanze wurde 1995 Raps in Kanada kommerziell angebaut. Mittlerweile existieren von vielen Nutzpflanzen – zum Beispiel Sojabohnen, Baumwolle oder Kartoffeln – gentechnisch modifizierte Varianten, die in fast allen Erdteilen angebaut werden. International besteht daher große Erfahrung mit der Kultivierung dieser Pflanzen. Die Mitgliedstaaten der Europäischen Union hingegen sind größtenteils zurückhaltend mit dem Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen. Dies ist insbesondere auf die kritische Einstellung großer Teile der Öffentlichkeit zurückzuführen.

In der EU sind bis heute lediglich zwei gentechnisch veränderte Pflanzen für den Anbau zugelassen, die gentechnisch veränderte Kartoffel Amflora (diese wird allerdings nicht mehr vermarktet) und der gentechnisch veränderte Mais MON810, der allerdings nachträglich in verschiedenen Mitgliedstaaten (auch in Deutschland) im Schutzklauselverfahren wieder verboten wurde. Bei MON810 wurde mittels Gentechnik der Bauplan für ein spezielles Eiweiß aus einem natürlich vorkommenden Bodenbakterium (*Bacillus thuringiensis*) übertragen. Dieses Eiweiß (Bt-Toxin) ist für Menschen ungiftig.

Gegen Schädlinge allerdings ist es sehr wirksam, etwa gegen den Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*). Dieses aus Europa stammende Schadinsekt, das in den 1920er Jahren auch in Amerika eingeschleppt wurde, ist für große Ertragsausfälle verantwortlich. Der Anbau von gentechnisch veränderten Maispflanzen, die das Bt-Toxin selbst produzieren (Bt-Mais), hilft die Verwendung konventioneller chemischer Pflanzenschutzmittel zur Bekämpfung des Maiszünslers einzuschränken. Allerdings muss beim Einsatz von Bt-Mais, genauso wie bei der Verwendung konventioneller Pflanzenschutzmittel auch, ein effizientes Resistenzmanagement betrieben werden.

Die Erkenntnisse aus der Genomforschung und die vollständige Sequenzierung der Genome von immer mehr Nutzpflanzen bedeuten auch enorme Fortschritte für die Pflanzenzüchtung: Im Rahmen der Methoden des SMART Breedings ist es inzwischen möglich, den genetischen „Sitz“ von züchterisch interessanten Eigenschaften einer Pflanze zu bestimmen. Kennt man die für solche Eigenschaften verantwortlichen Gene, kann daraus eine Landkarte des Pflanzengenoms erstellt werden, welche wiederum hilft, große Zeit- und Kostenersparnis zu realisieren. Mithilfe der sogenannten markergestützten Selektion kann schon sehr früh im Züchtungsprozess festgestellt werden, ob auf genetischer Ebene ein bestimmtes Merkmal vorhanden ist oder nicht. Dadurch müssen vergleichsweise weniger Nachkommen einer Pflanze angebaut und auf ihre Eignung getestet werden. Darüber hinaus können bereits frühzeitig Wechselwirkungen verschiedener Eigenschaften tiefergehend untersucht werden.



Kartoffeln: schwer verzichtbares Nahrungsmittel und zunehmend von Bedeutung als Rohstofflieferant.

Ertragssicherung ist generell einer der wichtigsten Gründe für den Einsatz biotechnologisch optimierter Pflanzen. Denn während die Weltbevölkerung weiterhin wächst, lässt sich nach Expertenmeinung die landwirtschaftlich nutzbare Fläche künftig nicht mehr vergrößern. Im Gegenteil wird angenommen, dass sich die Städte weiter ausbreiten und die Auswirkungen des Klimawandels zu einem Verlust an nutzbarer Anbaufläche führen könnten. Notwendig ist daher eine deutlich höhere Ertragsleistung der Landwirtschaft bei gleichzeitiger Ressourcenschonung. Zu den drängenden Problemen der Landwirtschaft zählen Wassermangel und Versalzung der Böden durch künstliche Bewässerung, da auf diese inzwischen rund zwei Drittel des weltweiten Wasserverbrauchs entfallen.



Fortschreitende Austrocknung und Versteppung macht neue Ansätze in der Landwirtschaft erforderlich.

4.3 Weiße Biotechnologie in Produktion und Umweltschutz – Schonen von Ressourcen

Seit Jahrtausenden laufen in Bakterien Prozesse sehr stoffsparend und effizient ab – viele davon wenden die chemische und pharmazeutische Industrie heute für ihre Produktion an. So hilft die weiße Biotechnologie, herkömmliche chemische Produktionsschritte abzulösen oder ganze Herstellungsverfahren zu revolutionieren. Dies gilt umso mehr, als sich Mikroorganismen durch Züchtung, Auslese und gentechnische Verfahren sogar für die Bedürfnisse der Industrie maßschneidern lassen.

Biochemische Vorgänge finden im Gegensatz zu vielen physikalischen und chemischen Prozessen schon bei Atmosphärendruck und Raumtemperatur statt. Daher spart der Einsatz von Mikroorganismen oder ihren Bestandteilen in industriellen Verarbeitungs- und Produktionsverfahren Rohstoffe sowie Energie. Gleichzeitig fallen oft weniger Nebenprodukte oder Abfälle an. Alltägliches Beispiel: die Verwendung von Enzymen in Waschmitteln. Enzyme sind biologische Katalysatoren, die chemische Vorgänge ermöglichen oder beschleunigen, ohne dabei verbraucht zu werden. Schon geringste Mengen dieser kleinen Biokatalysatoren spalten bei niedrigen Waschttemperaturen Eiweiß, Fett und Stärke vollständig auf. Einige der Enzyme wurden inzwischen



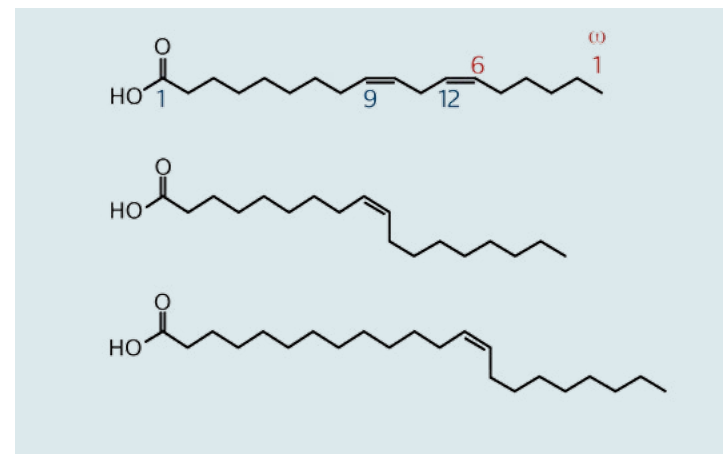
Moderne Waschmittel sparen dank hochwirksamer Enzyme Wasser und Energie.

gentechnisch so verändert, dass sie auch in Gegenwart von Bleichmitteln oder Tensiden unbeeinträchtigt ihre Arbeit verrichten.

In modernen Waschmitteln sorgen Enzyme beispielsweise dafür, wasserunlösliche Fettflecken in Substanzen zu zerlegen, die von der Waschlauge entfernt werden können.

Neue Möglichkeiten eröffnen biotechnologische Verfahren auch in der Landwirtschaft, vor allem bei der Produktion von Rohstoffen. Angesichts zunehmender Ressourcenknappheit und drohendem Klimawandel nimmt die Bedeutung nachwachsender Rohstoffe für Produktionsprozesse sowie zur Energie- und Kraftstoffgewinnung weiter zu. Mithilfe gentechnischer Methoden können beispielsweise Pflanzen derart modifiziert werden, dass sich die Zusammensetzung der aus ihnen gewonnenen Öle ändert. Diese lassen sich so an die jeweiligen Einsatzfelder anpassen – je nachdem, ob die Pflanzenöle für die Produktion von Lacken, Farben, Schmierstoffen oder als Hilfsmittel zur Kunststoff-, Papier- oder Gummierstellung verwendet werden. Vorteile bringen gentechnische Verfahren darüber hinaus bei der Kraftstoffproduktion. Hierbei wird etwa Mais der Bauplan für das Enzym Amylase übertragen, das Stärke in Zucker spaltet. Diese Veränderung vereinfacht den Prozess der Gewinnung von Bioethanol als Kraftstoff und erhöht dessen Wirtschaftlichkeit.

Nicht allein durch Ressourcenschonung in der industriellen Produktion, auch mit der Sanierung von Umweltschäden wie Altlasten in Böden oder Gewässerunreinigungen leistet die Biotechnologie einen Beitrag zum Umweltschutz. Schadstoffe werden von Mikroorganismen gezielt abgebaut und unschädlich gemacht. Für diese Aufgabe kommen entweder Lebensgemeinschaften von Mikroben – vergleichbar denen in Kläranlagen – oder gentechnisch veränderte Bakterien infrage. Letztere werden zum Schadstoffabbau zum Beispiel mit Genen aus anderen Organismen ausgestattet, welche den Bakterien neue Fähigkeiten zur Umwandlung chemischer Verbindungen verleihen.



Je nach Sorte enthält Rapsöl einen hohen Anteil der ungenießbaren, aber industriell wertvollen Erucasäure (unten) oder der für die menschliche Ernährung wichtigen Fettsäuren, wie Linolsäure (oben) oder Ölsäure (Mitte).





5. Perspektiven der Biotechnologie

Die Zukunft kann niemand voraussagen. Doch auf der Grundlage aktueller Trends in der Biotechnologie lassen sich realistische Prognosen darüber erstellen, in welcher Weise die Querschnittstechnologie unser Leben in circa 15 Jahren beeinflussen wird.

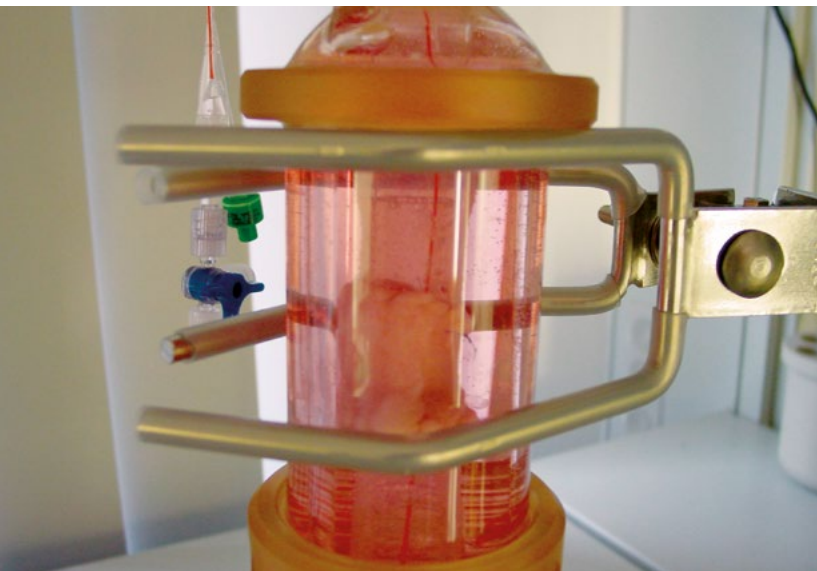
Demnach werden es die rasanten Fortschritte in der Informationstechnologie ermöglichen, ein immer vollständigeres Modell der vielfältigen Wechselwirkungen innerhalb einer Zelle zu entwickeln. Fernziel ist dabei deren komplette Darstellung und Simulation im Computer. Damit wäre der Grundstein gelegt, um gezielt auch in komplexe Stoffwechselwege einzugreifen, sodass einzelne Zellen beispielsweise gänzlich neue, wertvolle Produkte bilden. Für die Diagnostik eröffnen diese Entwicklungen ebenfalls vielversprechende Wege: Zellen könnten derart punktuell modifiziert werden, dass sie als Nachweisinstrument eingesetzt werden und Reaktionen auf verschiedene Stoffe – etwa Umweltgifte – zeigen könnten.

gestatten, komplexe Gewebe oder sogar ganze Organe in der Kulturschale nachzuzüchten. Heute schon können einfachere Gewebe wie Knorpel oder Haut mit der Gewebezüchtung (Tissue Engineering) aus einzelnen Zellen erzeugt werden.

Einen ähnlichen Ansatz verfolgt ein anderer Teilbereich der Regenerativen Medizin, indem das Wachstum beziehungsweise die Neubildung von Geweben direkt im Körper angeregt wird. Je genauer man die Genregulation in der Gewebe- und Organentwicklung versteht, umso besser kann dieses Wissen in regenerative Therapien umgesetzt werden.

Das Gesicht der Landwirtschaft wird sich ebenfalls grundlegend wandeln. Dem Landwirt der Zukunft werden neben der Nahrungsmittelproduktion neue Betätigungsfelder offen stehen. Beispielsweise wird er in der Lage sein, mithilfe von transgenen Pflanzen und Tieren als „Bioreaktoren“ Arzneimittelwirkstoffe oder wertvolle Grund- und Kraftstoffe herzustellen. Diese Veränderungen werden neue landwirtschaftliche Produktionsmöglichkeiten schaffen und die Umwelt durch die Nutzung nachwachsender Rohstoffquellen entlasten.

Schon heute ist ein antithrombinhaltiges Präparat auf dem Markt, welches aus der Milch transgener Ziegen gewonnen wird.



Bioreaktor zur Herzklappenzüchtung:
Die Herzklappe ist in der Mitte des Gefäßes sichtbar.

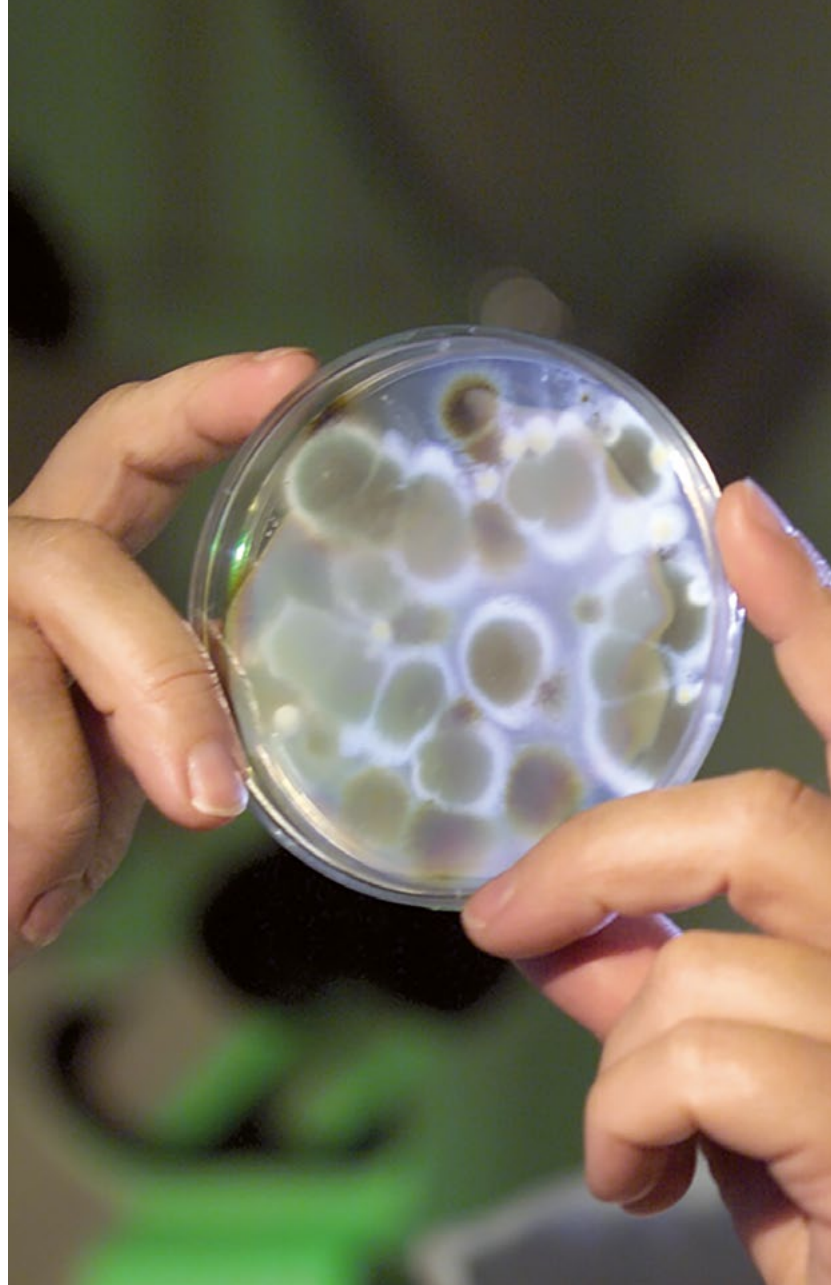
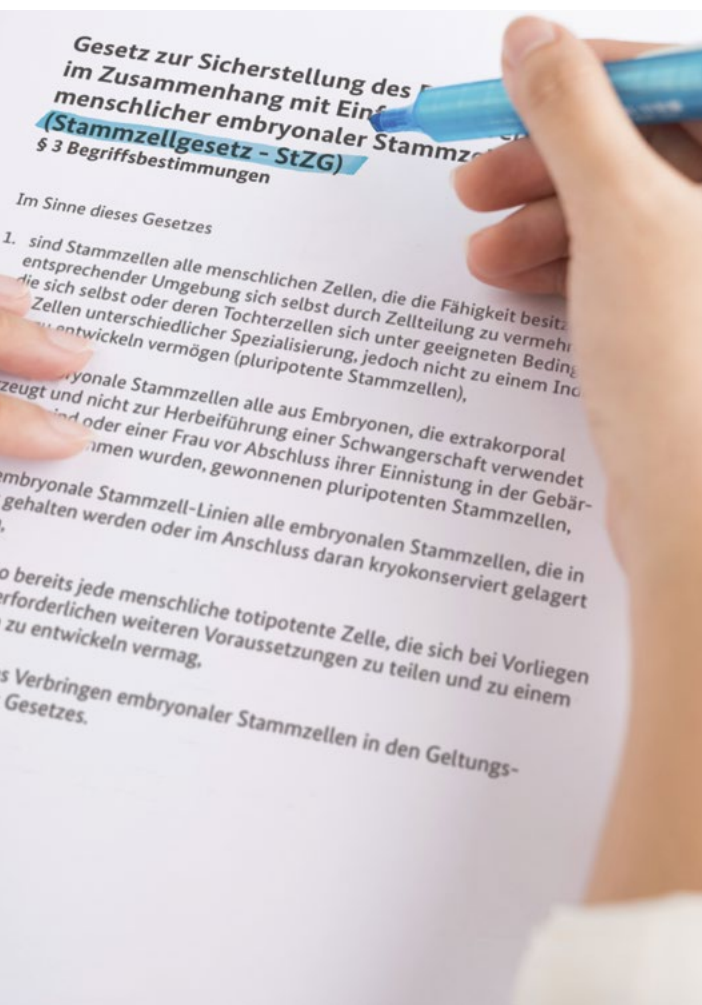
Im Bereich der medizinischen Diagnostik wird die Möglichkeit bestehen, bei immer mehr genetisch bedingten Erkrankungen, zum Beispiel Erbleiden oder Krebs, die genauen Ursachen zu kennen und medizinisch nachzuweisen. Bessere Vorsorgemaßnahmen können so das Risiko einer Erkrankung verringern, Therapien gezielter am Entstehungsort der Krankheit ansetzen. Die Therapien der Zukunft werden es zudem



Verantwortungsvolles Handeln in der Biotechnologie

Wie jede innovative Zukunftstechnologie birgt die Biotechnologie sowohl Chancen als auch Risiken. Um letztere zu minimieren, sind von Seiten aller Beteiligten große Anstrengungen unternommen worden. Das Ziel: verantwortungsvolles Handeln und der Dialog zwischen den Akteuren der Biotechnologie und der Gesellschaft.

Insbesondere auf dem Gebiet der Gentechnik hat die Wissenschaft seit den Anfängen dafür Sorge getragen, den bestmöglichen Schutz von Mensch und Umwelt zu gewährleisten. Schon 1978 wurden in Deutschland die „Richtlinien zum Schutz vor Gefahren durch in vitro neu kombinierte Nukleinsäuren in der BRD“ – kurz „Genrichtlinien“ – verabschiedet. Im Jahr 1990 folgte dann das mit Ergänzungen bis heute gültige und zuletzt 2010 aktualisierte Gesetz zur Regelung von Fragen der Gentechnik. Darüber hinaus existieren mittlerweile zwei wesentliche EU-Richtlinien zum Umgang mit der Gentechnologie. Diese gesetzlichen Rahmenbedingungen bilden die Basis für die biologische Sicherheitsforschung zu gentechnisch veränderten Pflanzen.



Auch in Zukunft wird Spitzenforschung die Grundlage für die Leistung Deutschlands als Biotechnologiestandort bilden.

Ein Bereich der biotechnologisch-medizinischen Forschung, der nicht aus Gründen der biologischen Sicherheit, sondern unter ethischen Gesichtspunkten in der Gesellschaft kontrovers diskutiert wird, ist die Forschung an embryonalen Stammzellen. Das sogenannte Stammzellgesetz regelt die Einfuhr und Verwendung von embryonalen Stammzellen, die sich in Deutschland befinden. Es ermöglicht die Forschung mit humanen embryonalen Stammzellen in engen Grenzen und gewährleistet gleichzeitig, dass von Deutschland kein Anreiz zur Zerstörung von Embryonen im Ausland ausgeht.

Abbildung links: Das Stammzellgesetz regelt die Einfuhr und Verwendung von embryonalen Stammzellen in Deutschland.



Der Erkenntnisgewinn über die genetischen Grundlagen und Risikofaktoren für Erkrankungen wie Krebs wird Arzt und Patient in Zukunft einen riesigen medizinischen Datensatz an die Hand geben, was mitunter schwierige Fragen aufwirft: Welchen Nutzen zieht der Patient aus dem Wissen, dass er mit hoher Wahrscheinlichkeit eine bestimmte Erkrankung entwickeln wird? Gibt es ein Recht auf Nichtwissen? Fragen wie diese und die Entwicklung hin zu einer immer individuelleren Medizin werden die Gestaltung und Finanzierung des Gesundheitssystems grundsätzlich vor völlig neue Herausforderungen stellen.

Diese wenigen Beispiele zeigen, dass es für viele neue Fragestellungen im Zusammenhang mit der Biotechnologie keine simplen Antworten oder Patentrezepte gibt. Vielmehr erfordert die Beantwortung dieser Fragen den kontinuierlichen, informierten Dialog zwischen allen gesellschaftlich relevanten Gruppen. Ein Grundverständnis der wissenschaftlich-technischen Hintergründe ist zusammen mit weiteren Faktoren eine wichtige Voraussetzung dafür. Die Initiative „BIOTechnikum: Erlebnis Forschung – Gesundheit, Ernährung, Umwelt“ leistet einen wichtigen Beitrag zu diesem Verständnis.



6. Ausbildung, Studium und Beruf

Ausbildung

Der Weg in eine Berufstätigkeit in der Biotechnologie kann mit einer schulischen oder betrieblichen Ausbildung beginnen, die meist zwischen zwei und dreieinhalb Jahren dauert. Nach Haupt- oder Realschulabschluss schafft sie Perspektiven für wichtige Berufsfelder in Forschung und Industrie.

Eine schulische Berufsausbildung vermittelt sowohl praktische als auch theoretische Kenntnisse und Fertigkeiten, oft ergänzt durch Praktika im betrieblichen Alltag. Ob Berufsfachschulen, Berufskollegs oder Fachschulen – in Labors, am Computer oder im Technikumsmaßstab erlernen die Schülerinnen und Schüler Praxiswissen für ihren Berufseinstieg. Begleitet wird dieser praktische Unterricht von der notwendigen theoretischen Vorbereitung und Vertiefung der Lehrinhalte.

Im Gegensatz dazu erfolgt die betriebliche Berufsausbildung im dualen System: Der Ausbildungsbetrieb konzentriert sich auf die Vermittlung von praktischen Tätigkeiten in Labor oder Produktion. In der Berufsschule erwartet die Auszubildenden ergänzend dazu theoretischer Unterricht in ihren Ausbildungs- und in allgemein bildenden Fächern.

Ausbildungsberufe in der Biotechnologie – eine Auswahl:

Mit schulischer Ausbildung:

| Berufsbezeichnung* | Ausbildungsdauer** |
|--|---|
| Biologisch-technische/r Assistent/in | 2 Jahre |
| Biotechnologische/r Assistent/in | 2 Jahre |
| Chemisch-technische/r Assistent/in | 2 Jahre |
| Landwirtschaftlich-technische/r Assistent/in | 2 Jahre |
| Lebensmitteltechnische/r Assistent/in | 2 Jahre |
| Medizinisch-technische/r Laboratoriumsassistent/in | 3 Jahre |
| Pharmazeutisch-technische/r Assistent/in | 2 Jahre Schule anschl. ½ Jahr Praktikum in Apotheke |
| Umweltschutztechnische/r Assistent/in | 2 Jahre |

Voraussetzung: Rechtlich ist kein bestimmter Schulabschluss vorgeschrieben. In der Praxis erhalten Bewerber mit mittlerem Schulabschluss einen Ausbildungsplatz.

*Diese Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

**Die Ausbildungsdauer kann je nach Bundesland und Schulabschluss variieren.

Im dualen Ausbildungssystem:

| Berufsbezeichnung* | Ausbildungsdauer** |
|---|--------------------|
| Biologielaborant/in | 3 ½ Jahre |
| Chemielaborant/in | 3 ½ Jahre |
| Chemielaborjungwerker/in | 2 Jahre |
| Chemikant/in | 3 ½ Jahre |
| Pharmakant/in | 3 ½ Jahre |
| Landwirtschaftlich-technische/r Laborant/in | 3 Jahre |

Voraussetzung: Rechtlich ist als Voraussetzung kein bestimmter Schulabschluss vorgeschrieben. In der Praxis stellen Ausbildungsbetriebe Bewerber mit mittlerem Schulabschluss oder Hochschulreife ein.

*Diese Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

**Die Ausbildungsdauer kann je nach Bundesland und Schulabschluss variieren.

All diese Ausbildungsberufe eröffnen zahlreiche Tätigkeitsfelder, was anhand von zwei Beispielen kurz illustriert werden soll: Biologisch-technische Assistentinnen und Assistenten beispielsweise führen Versuche an und mit Tieren, Pflanzen, Zellkulturen und Mikroorganismen durch, von der Überwachung über die Dokumentation bis hin zur Auswertung der Ergebnisse. Sie arbeiten unter anderem in Forschungsinstituten der Bereiche Naturwissenschaften, Medizin oder Umwelt ebenso wie in Unternehmen der chemischen, pharmazeutischen oder der Lebensmittelindustrie.



Praktika bieten einen guten Einblick in den zukünftigen Beruf.

Pharmakantinnen und Pharmakanten sind in der pharmazeutischen Industrie tätig und stellen dort Arzneimittel aus Wirk- und Hilfsstoffen her. Darüber hinaus werden sie in Chemieunternehmen eingesetzt, die zum Beispiel Zusatzstoffe für die Arzneimittelherstellung produzieren

Studium

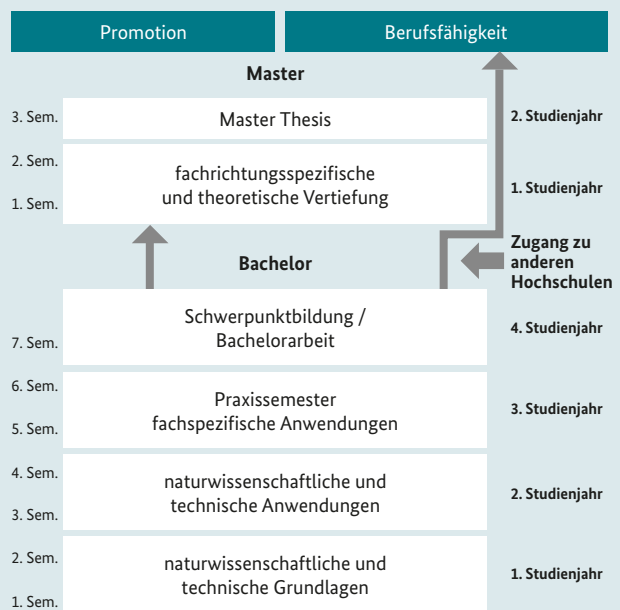
Wer über ein Hochschulstudium in die Biotechnologie einsteigen will, entscheidet sich für eine tief gehende Aneignung von Grundlagenwissen und das Erlernen selbstständigen wissenschaftlichen Arbeitens. Neben der damit einhergehenden systematischen und analytischen Arbeitsweise soll es auch wichtige Schlüsselqualifikationen wie Kreativität, Kommunikationsfähigkeit oder den Umgang mit Informationen vermitteln. So vielfältig wie diese Ziele sind die Lehrveranstaltungen: Vorlesungen, Seminare, Praktika, Exkursionen und Tutorien.

Mit der europaweiten Harmonisierung der akademischen Ausbildungswege gehören die Diplomstudiengänge mit ihrer Einteilung in Grund- und Hauptstudium der Vergangenheit an. Die lebenswissenschaftlichen Studiengänge an Universitäten, Fachhochschulen und pädagogischen Hochschulen erlauben es, nach einem meist auf sechs Semester angelegten Studium den Grad Bachelor zu erwerben. Im Unterschied zum früheren Vordiplom oder zur Zwischenprüfung stellt dieser einen ersten berufsbefähigenden Abschluss dar. Darauf aufbauend können Studentinnen und Studenten dann in einem zwei- bis viersemestrigen Studiengang ihren Master erlangen. In diesem Masterstudiengang haben die Studierenden meist die Möglichkeit, eigene Schwerpunkte zu setzen und ihren Studienplan individueller zu gestalten. Neben den kontinuierlich während des Studiums gesammelten

Credit Points für erfolgreich erbrachte Leistungsnachweise sowie den Ergebnissen der Abschlussprüfungen, geht die Bewertung der anzufertigenden Bachelor- oder Masterarbeit in die Endnote mit ein. Die Lehrveranstaltungen dieser Studiengänge werden aufgrund der fortschreitenden Internationalisierung zunehmend auf Englisch durchgeführt.

An den Master schließen sehr viele Absolventen eine Doktorarbeit (Promotion) an. Sie nimmt drei bis fünf Jahre in Anspruch und behandelt eingehend eine aktuelle wissenschaftliche Fragestellung.

Exemplarischer Aufbau eines Biotechnologie-Studiums



Quelle: Modulhandbuch Bachelor Biotechnologie, Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg

In praktischen Übungen lernt man die Arbeitsweise im Labor kennen.



**Eine Auswahl lebenswissenschaftlich
ausgerichteter Studiengänge*:**

**Bereich Gesundheitsforschung/
Gesundheitswirtschaft**

- Medizin
- Management der Gesundheitswirtschaft
- Medizinische Informatik
- Pharmazie
- Medizintechnik
- Pharmazeutische Biotechnologie

Bereich Bioökonomie

- Agrarwissenschaften
- Lebensmitteltechnologie
- Forstwissenschaften
- Umwelttechnik
- Haushalts- und Ernährungswissenschaften
- Industrielle Biotechnologie

Disziplinübergreifend

- Biologie
- Biotechnologie
- Chemie
- Bioingenieurwesen
- Physik
- Bioinformatik

*Diese Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.



Biotechnologie: Zukunftsperspektiven für angehende Forscher und Unternehmer

Beruf

Anspruchsvolle berufliche Aufgaben für biotechnologisch ausgebildete Naturwissenschaftler stellen sich nicht nur im Bereich der industriellen und akademischen Forschung. Auch in den Bereichen Marketing, Vertrieb oder Qualitätssicherung wird ihre Expertise benötigt. Interessante Tätigkeitsfelder finden sich zudem in der sehr aufwändigen Untersuchung neuer Arzneimittelwirkstoffe in klinischen Studien, etwa als sogenannter klinischer Monitor. Schließlich wagen viele Wissenschaftler immer wieder erfolgreich den Sprung von der Forschung in die berufliche Selbstständigkeit.



Abbildung links: Vorlesungen vermitteln theoretische Kenntnisse.

Glossar

Antibiotika sind Medikamente, mit denen Infektionskrankheiten behandelt werden, die durch bakterielle Erreger oder Protozoen verursacht werden.

Antikörper (Immunglobuline) sind spezielle Proteine, die von den B-Lymphozyten in Wirbeltieren in Reaktion auf Antigene gebildet werden. Antikörper bestehen aus zwei identischen schweren und zwei identischen leichten Aminosäureketten, die miteinander zu einer Y-ähnlichen Struktur verbunden sind.

Antithrombin wirkt in der Blutgerinnungskaskade als Gegenspieler des Thrombins. Menschen mit angeborenem Antithrombinmangel leiden unter erhöhter Neigung zur Blutgerinnung.

Bakterien sind mikroskopisch kleine einzellige Lebewesen, die keinen Zellkern besitzen und deshalb auch als Prokaryoten (griechisch Karyon, Kern) zusammengefasst werden.

Biomasse bezeichnet die Gesamtheit an biochemisch synthetisiertem organischen Material in einem definierten Ökosystem.

Biomaterialien – Implantate und Prothesen sowie alle weiteren Werkstoffkomponenten, die mit biologischen Systemen interagieren und dort eine Funktion übernehmen. Dazu zählen beispielsweise Materialien, die zur Züchtung von körpereigenen oder künstlichen Ersatzgeweben genutzt werden, oder polymere Partikel, die pharmakologische Wirkstoffe im Körper freisetzen können.

Bioreaktor – Ein Bioreaktor (Fermenter) ist ein Behälter, in dem Mikroorganismen oder Zellen unter möglichst optimalen Bedingungen in einem Nährmedium kultiviert werden, um entweder die Zellen selbst, Teile von ihnen oder eines ihrer Stoffwechselprodukte zu gewinnen.

Bt-Mais – Gentechnisch veränderte Maissorte, die ein Gen aus dem Bodenbakterium *Bacillus thuringiensis* (Bt) enthält und dadurch gegen den Schädling Maiszünsler resistent ist.

Chronische myeloische Leukämie – Diese auch chronische Myelose genannte Erkrankung ist die zweithäufigste Art der chronischen Leukämien.

DNA (engl. Abk. für Desoxyribonukleinsäure) ist die Trägerin der Erbinformation und enthält die Bauanleitungen für die Eiweißstoffe, welche die Zelle aufbauen. Sie wird aus einer doppelsträngigen Nukleinsäure gebildet, die strickleiterartig in Form einer Doppelhelix organisiert und aus den vier mit A, T, G und C abgekürzten Nukleotiden aufgebaut ist.

Enzyme sind Proteine, die bestimmte biochemische Reaktionen beschleunigen, also als Biokatalysatoren fungieren. Sie sind von zentraler Bedeutung für alle Stoffwechselvorgänge in einem Organismus und katalysieren zum Beispiel den Fettabbau (Lipasen), spalten Stärke (Amylasen) und verdauen DNA (Nukleasen).

Erythropoietin ist ein Glykoprotein-Hormon. Es wirkt als Wachstumsfaktor für die Bildung roter Blutkörperchen während der Blutbildung.

Eukaryoten – Als Eukaryoten werden alle Organismen bezeichnet, deren Zellen einen Zellkern und Zellorganellen enthalten. Zu den Eukaryoten gehören Protozoen (Einzeller), Algen, Pilze, Pflanzen, Tiere und der Mensch.

Fluoreszenzmikroskopie ist eine moderne Variante der Lichtmikroskopie, bei der selbst fluoreszierende oder mit bestimmten Fluoreszenzfarbstoffen spezifisch markierte Zellbestandteile mithilfe von beispielsweise UV-Licht sichtbar gemacht werden.

Gärung – Als Gärung bezeichnet man Stoffwechselprozesse, bei denen organisches Material, zum Beispiel Kohlenhydrate, Energie gewinnend unter Sauerstoffabschluss (anaerob) zersetzt wird.

Gelelektrophorese – Mit dieser Methode lassen sich Nukleinsäuremoleküle oder Proteine analysieren. Die Proben werden in ein Gel aus Agarose oder Polyacrylamid eingebettet. Ein elektrisches Feld trennt die Moleküle aufgrund ihrer unterschiedlichen Beweglichkeit der Größe nach auf.

Genom – Das Genom ist die Gesamtheit der genetischen Information eines Organismus. Seine Größe wird in Basenpaaren (bp) angegeben. Das menschliche Genom umfasst etwa drei Milliarden, das der Taufliege etwa 130 Millionen und das des Darmbakteriums *E. coli* knapp fünf Millionen Basenpaare.

Gentherapie – Therapeutisches Verfahren, mit dem gezielt Gene in Zellen eines Individuums eingeschleust werden, um Erbkrankheiten oder Gendefekte ursächlich zu behandeln. 2012 wurde in der EU das erste Gentherapeutikum zugelassen. Es dient zur Behandlung einer erblichen Fettstoffwechselkrankheit, die zu wiederkehrender, akuter Bauchspeicheldrüsenentzündung führt.

Glykolipide – Mit Zuckerstrukturen ausgestattete Fettmoleküle, die in der äußeren Schicht der Zellmembran vorkommen.

Glykoproteine – Makromoleküle, die aus einem Protein und einer oder mehreren daran gebundenen Zuckergruppen bestehen und im Organismus vielfältige Aufgaben übernehmen.

Hefen sind einzellige Pilze, die sich durch Sprossung oder Teilung (Spaltung) vermehren. Sie werden mittlerweile häufig in der Biotechnologie als Produzenten für bestimmte Eiweiße eingesetzt.

Helicobacter pylori ist ein Bakterium, das sich in der Magenschleimhaut einnistet und dadurch Entzündungsreaktionen hervorruft, die zur Bildung von Magengeschwüren führen können.

Humaninsulin – Gentechnisch hergestelltes Insulin, welches exakt die gleiche Aminosäuresequenz aufweist wie das von der menschlichen Bauchspeicheldrüse hergestellte Insulin und deshalb besonders gut verträglich ist.

In silico – Prozesse oder Experimente, die „im Silicium“ (lat. *in silico*), also im Computer, durchgeführt werden.

Interferon – Gewebehormon, das an der Regulierung des Immunsystems beteiligt ist.

In vitro – Prozesse oder Experimente, die „im Reagenzglas“ (lat. *in vitro*) durchgeführt werden.

In vivo – Prozesse oder Experimente, die „im Lebendigen“ (lat. *in vivo*) durchgeführt werden.

Kohorte Eine Gruppe von Personen, in deren Lebensläufen ein bestimmtes Ereignis etwa zum gleichen Zeitpunkt aufgetreten ist. Für die Gesundheitsforschung sind beispielsweise Geburtskohorten interessant.

Nanotechnologie – Forschungsfeld, das sich mit Strukturen in der Größenordnung zwischen einem und 100 Nanometern beschäftigt. Ein Nanometer entspricht einem millionstel Millimeter.

Proteine, auch Eiweiße oder Eiweißstoffe genannt, sind Makromoleküle aus Aminosäuren. Proteine zählen in allen lebenden Zellen zu den wichtigen Funktionsträgern zellulärer und anderer physiologischer Prozesse, indem sie beispielsweise Stoffe transportieren, Ionen pumpen, chemische Reaktionen katalysieren und Signalstoffe erkennen.

Proteom – Gesamtheit aller Proteine in einer Zelle, einem Gewebe, Organ oder Organismus.

RNA (engl. Abk. für Ribonukleinsäure) dient in Zellen unter anderem dazu, eine Arbeitskopie der Erbinformation aus dem Zellkern zu transportieren, um ausgehend von dieser Erbinformation den Aufbau von Eiweißstoffen zu ermöglichen. RNA ist eine einzelsträngige Nukleinsäure und wird aus vier mit A, U, G und C abgekürzten Nukleotiden aufgebaut.

Schutzklauselverfahren ermöglichen es Mitgliedsstaaten, die EU-weite Zulassung eines gentechnisch veränderten Organismus auf ihrem Staatsgebiet außer Kraft zu setzen.

Somatisch (griechisch soma) bedeutet „den Körper betreffend“ oder „zum Körper gehörig“.

Stammzellen sind noch nicht ausdifferenzierte Körperzellen mit der Fähigkeit zur unbegrenzten Zellteilung. Sie besitzen das Potenzial, sich in nahezu jede beliebige Gewebezelle oder jeden Zelltyp mit der entsprechenden Funktion zu entwickeln. Man unterscheidet embryonale und adulte Stammzellen.

Tenside sind Substanzen, welche die Oberflächenspannung zwischen zum Beispiel Fett und Wasser herabsetzen, wodurch diese an sich nicht mischbaren Substanzen fein vermenzt werden können.

Tissue Engineering – Die Methode des Tissue Engineering (Gewebezüchtung) beruht darauf, lebende Zellen, zum Beispiel eines Patienten, zu kultivieren, um diese dann wieder zu implantieren und so eine Gewebefunktion zu erhalten oder wiederherzustellen.

Transgene Organismen – Organismen (Mikroorganismen, Tiere, Pflanzen), denen mithilfe gentechnischer Methoden ein fremdes Gen übertragen worden ist, das von Generation zu Generation weitervererbt wird. Transgene Organismen sind somit gentechnisch veränderte Organismen.

Virus – Infektiöses Partikel, das aus einer Proteinhülle besteht und entweder DNA oder RNA als Erbinformation enthält. Da Viren sich nicht selbstständig vermehren können, infizieren sie andere Organismen und programmieren deren Stoffwechsel zur Produktion von Virusbestandteilen um.

Zellen – Die Zelle ist die kleinste Einheit eines Organismus. Lebewesen können aus einer einzigen Zelle (Einzeller) bestehen oder sind aus vielen verschiedenen hoch spezialisierten Zellen (Vielzeller) aufgebaut.

Zellkern – Der Zellkern (lateinisch *Nucleus*) ist die größte Zellorganelle und Hauptmerkmal der Eukaryoten. Im Zellkern ist der größte Teil der zellulären DNA enthalten, die dort auch in RNA umgeschrieben (transkribiert) und während der Zellteilung verdoppelt (repliziert) wird.

Zellkultur – Ein Verfahren, bei dem man Zellen eines komplexen, vielzelligen Organismus in einem Nährmedium wachsen lässt. Die Zellen können dabei etwa in Form eines dünnen Films wachsen (adhärente Zellkultur) oder verteilt in der Nährlösung (Suspensionskultur).

Ein ausführliches Glossar finden Sie unter www.biotechnologie.de.

Literaturempfehlungen

Ein Querschnitt aus der Vielzahl von Veröffentlichungen zum Thema Biotechnologie:

Regenerative Medizin – Selbstheilungskraft des Körpers verstehen und nutzen

Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung; Bonn, Berlin, 2013.

Schlussbericht: Nationaler Strategieprozess „Innovationen in der Medizintechnik“

Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung; Bonn, Berlin, 2012.

Rahmenprogramm Gesundheitsforschung

Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung; Bonn, Berlin, 2016.

Aktionsplan Individualisierte Medizin

Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung; Bonn, Berlin, 2013.

Aktionsplan Präventions- und Ernährungsforschung

Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung; Bonn, Berlin, 2013.

Weißer Biotechnologie – Chancen für eine biobasierte Wirtschaft

Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung; Berlin 2015.

Systemmedizin: Neue Chancen in Forschung, Diagnose und Therapie

Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung; Berlin 2015.

Kleine Erreger – große Gefahr: Warum Forschung für wirksame Antibiotika so wichtig ist

Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung; Berlin 2015.

25 Jahre BMBF-Forschungsprogramme zur biologischen Sicherheitsforschung – Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen

Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung; Bonn, Berlin 2014.

Bioökonomie als gesellschaftlicher Wandel – Konzept zur Förderung sozial- und wirtschaftswissenschaftlicher Forschung für die Bioökonomie

Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung; Berlin 2014.

Wegweiser Bioökonomie – Forschung für biobasiertes und nachhaltiges Wirtschaftswachstum

Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung; Berlin 2014.

Die neue Hightech-Strategie – Innovationen für Deutschland

Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung; Berlin 2014.

Webadressen

www.biotechnikum.eu

„BIOTechnikum: Erlebnis Forschung – Gesundheit, Ernährung, Umwelt“
Die mobile Informationskampagne des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Biotechnologie-Förderung

www.bmbf.de

Bundesministerium für Bildung und Forschung

www.ptj.de/foerderthemen

Projektträger Jülich, Bereich „Nationale Forschungsförderung Biotechnologie“

www.biotechnologie.de

Informationen unter anderem über aktuelle Forschung, Kompetenznetze, Förderung und Ausbildung rund um die Biotechnologie

www.gesundheitsforschung-bmbf.de

Informationen zur BMBF-Förderung der Forschung für die Gesundheit

www.ngfn.de

Nationales Genomforschungsnetz

www.vditz.de/forschungsfoerderung/

Informationen zur BMBF-Förderung der Gesundheitswirtschaft

Informationsportale

www.bionity.com

Life-Sciences-Informationsservice von CHEMIE.DE

www.bio-pro.de

Biotech-/Life-Sciences-Portal Baden-Württemberg

www.transgen.de

Transparenz für Gentechnik bei Lebensmitteln

www.pflanzenforschung.de

BMBF-geförderte Onlineplattform zur informativen Aufklärung und Berichterstattung über Themen der Pflanzenforschung

www.biokon.net

Zahlreiche Beispiele, aktuelle Forschungsergebnisse und Literaturhinweise zum Thema Bionik

www.kompetenznetz-biomimetik.de

Kompetenznetz Biomimetik Baden-Württemberg mit zahlreichen Beispielen und Informationen zu Lehre, Aus- und Weiterbildung

Biotechnologie und Schule

<http://archiv.ipn.uni-kiel.de/eibe/DEUTSCH/DU0.HTM>

European Initiative for Biotechnology Education: umfangreiche Unterrichtsmaterialien zu Grundlagen und weiterführenden Themen der Biotechnologie zum Download

www.lernort-labor.de

Lernort Labor – Zentrum für Beratung und Qualitätsentwicklung (LeLa)

<http://fonds.vci.de>

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V.

www.landesfilmdienste.de

Die Seite der Landesfilmdienste/Landesmediendienste verlinkt auf die Dienste in den jeweiligen Bundesländern.

Organisationen und Verbände

www.biodeutschland.org

Bio Deutschland – Biotechnologie-Industrie-Organisation Deutschland e. V.

www.dechema.de

Deutsche Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V. (DECHEMA)

www.v-b-u.org

Vereinigung deutscher Biotechnologie-Unternehmen e. V. (VBU)

www.dib.org

Deutsche Industrievereinigung Biotechnologie (DIB)

www.vfa-bio.de

Biotechnologie im Verband Forschender Arzneimittelhersteller e. V. (VFA)

www.bpi.de

Bundesverband der pharmazeutischen Industrie e. V. (BPI)

www.iva.de

Industrieverband Agrar e. V. (IVA)

www.dbu.de

Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)

www.vbio.de

Verband Biologie, Biowissenschaften und Biomedizin in Deutschland e. V. (VBIO)

www.gbm-online.de

Gesellschaft für Biochemie und Molekularbiologie e. V. (GBM)

www.bts-ev.de

Biotechnologische Studenteninitiative e. V. (btS)

www.dghm.org

Deutsche Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie e. V. (DGHM)

www.gfgenetik.de

Gesellschaft für Genetik e. V.

www.dgng.de

Deutsche Gesellschaft für Neurogenetik e. V. (DGNG)

www.dgpt-online.de

Gesellschaft für experimentelle und klinische Pharmakologie und Toxikologie e. V. (DGPT)

www.dgpf.org

Deutsche Gesellschaft für Proteomforschung e. V. (DGPF)

www.sigtrans.de

Gesellschaft für Signaltransduktion e. V. (GST)

Sicherheit in der Biotechnologie**www.rki.de**

Robert Koch-Institut

www.bfr.bund.de

Bundesinstitut für Risikobewertung

www.tab.fzk.de

Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB)

www.bvl.bund.de

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL)

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium
für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Gesundheitswirtschaft
11055 Berlin

Bestellungen

schriftlich an
Publikationsversand der Bundesregierung
Postfach 48 10 09
18132 Rostock
E-Mail: publikationen@bundesregierung.de
Internet: <http://www.bmbf.de>
oder per
Tel.: 030 18 272 272 1
Fax: 030 18 10 272 272 1

Stand

2. aktualisierte Auflage, Juni 2016

Druck

Druckerei Herrmann GmbH
Zirndorf

Gestaltung

FLAD & FLAD Communication GmbH
Heroldsberg

Bildnachweis

Piotr Adamowicz: S. 31 l.; Boehringer Ingelheim: S. 9 o., S. 26;
Capsulation: S. 19; Comstock Images: S. 10; CreativCollection:
S. 30 l.; Deutsches Herzzentrum München: S. 17; FLAD & FLAD:
Titel, S. 2-7, S. 9 u., S. 12 l., S. 14 r., S. 15, S. 16 u., S. 20, S. 27,
S. 31 r. o., S. 32, S. 36; FLAD & FLAD und DragonImages: S. 34;
Fraunhofer-Gesellschaft: S. 16 o.; gbh007: S. 12-13; Helmholtz-
Zentrum für Umweltforschung – UFZ/André Künzelmann: S. 34-35;
iStockphoto: S. 7, S. 21, S. 25; JKI Darmstadt/R. Kaiser-Alexnat:
S. 29 r.; Kristina Gruzdeva: S. 14 l.; Steffen Kugler, Presse- und In-
formationsamt der Bundesregierung: S. 2 (Porträt Prof. Dr. Johanna
Wanka); Medizinische Hochschule Hannover, Abt. Zellbiologie/
Dr. Stephanie Groos: S. 8 o.; MPI EntwBio: S. 8 u.; Max-Planck-
Institut für marine Mikrobiologie, Bremen: S. 37; Max-Planck-
Institut für Züchtungsforschung, Köln: S. 29 l.; National Park
Service, U.S. Dept. of the Interior/Jim Peaco: S. 24; NewSaetiew:
S. 30 r.; PhotoDisc: S. 39 r.; Purestock: S. 13 r.; Qiagen GmbH, Hil-
den: S. 28 l.; Roche: S. 11, S. 23, S. 28 r.; Arisara Tongdonnoi: S. 33 r.;
Rolf K. Wegst: S. 38; Universitätsklinikum Heidelberg: S. 33 l.; Va-
siliy Koval: S. 8 u.; Matka Wariatka: S. 31 r. u.; Universität Kassel/
Paavo Blåfield: S. 39 l.

Text

Dr. Andreas Jungbluth, Dr. Markus Döring, Dr. Niklas Nold
FLAD & FLAD Communication GmbH
Heroldsberg

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unentgeltlich abgegeben. Sie ist nicht zum gewerblichen Vertrieb bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerberinnen/Wahlwerbern oder Wahlhelferinnen/Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament. Missbräuchlich sind insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift der Empfängerin/dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Bundesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

www.bmbf.de