



Gentechnik

Grundlagen, Anwendungen, Diskussion

Vorwort

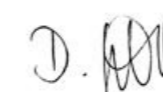
Waren Sie in letzter Zeit krank und mussten Sie Medikamente einnehmen? Tragen Sie Kleider aus Baumwolle? Waren Sie kürzlich auf Reisen, z. B. in Nordamerika? Haben Sie schon Blut gespendet? Essen Sie Mais- und Sojaerzeugnisse? Dann waren Sie vermutlich in direktem Kontakt mit der Gentechnik. Ständig kommen wir im täglichen Leben mit gentechnischen Produkten und Anwendungen in Berührung. Die Gentechnik hat sich in unserem Alltag auf vielfältige Weise etabliert – und doch wissen viele nicht, was Gentechnik eigentlich ist. Die Gentechnik hat sich in den letzten vier Jahrzehnten zum unverzichtbaren Forschungsinstrument entwickelt. Durch die intensive Arbeit vieler Forscherinnen und Forscher ist es gelungen, das menschliche Genom zu entschlüsseln. Nun versuchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler das Zusammenspiel der Gene in unseren Zellen zu verstehen. Die Fragen, wie die Gene die Entwicklung eines Lebewesens steuern, wie fehlerhafte Vorgänge zu Krankheiten führen und wie diesen vorgebeugt werden kann, sind faszinierend. Die Erforschung dieser komplexen Zusammenhänge geschieht heute im Verbund zahlreicher Disziplinen: Biologie, Medizin, Physik, Chemie, Mathematik und Informatik. Die Entwicklungen in der Forschung und die daraus resultierenden neuen Anwendungen führen zu ethischen und rechtlichen Fragestellungen. Gesellschaft und Gesetzgeber sind gemeinsam gefordert, sich mit den Möglichkeiten der Gentechnik auseinanderzusetzen und die anstehenden Fragen zu klären. Ausgehend von der Erfahrung, dass Missbräuchen der Gentechnik mit griffigen Gesetzen begegnet werden kann, betreibt die Schweiz Spitzenforschung und setzt gentechnische Methoden in der Medizin und in der Produktion von Alltagsgütern ein.

Parallel zur Evolution der Gentechnik und ihrer Diskussion hat sich auch die Gentechnik-Broschüre der Stiftung Gen Suisse entwickelt. Die vorliegende sechste digitale Auflage der Gentechnik-Broschüre enthält ein neues Kapitel zu den derzeit vielversprechendsten Behandlungen im Bereich Krebs: die Krebsimmuntherapien. Sie erhalten einen Einblick in die aktive und passive Krebsimmuntherapie zu der auch eine Kombination aus Zell-, Gen- und Immuntherapie gehört: die CART-Therapie. Darüber hinaus wurde das Kapitel Gentherapie aktualisiert. Nicht zuletzt regen Abschnitte zu Fragen der Ethik und der Sicherheit zum Nachdenken und Diskutieren an. Unverändert blieb das Ziel der Broschüre: Gentechnik zu erklären, damit sich die Leserinnen und Leser selber ein Bild über Anwendungen und Argumente, Möglichkeiten und Grenzen machen können.

Erforschen Sie selber, was Gentechnik ist. Wir wünschen Ihnen viel Vergnügen.



Prof. Dr. Lukas Sommer, Präsident



Dr. Daniela Suter, Geschäftsführerin

Inhaltsverzeichnis

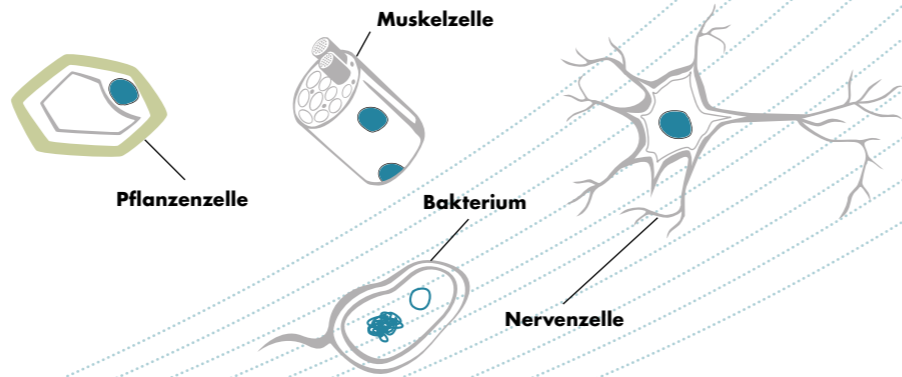
Grundlagen	2
I Forschung	4
1.0 Wie Gentechnik funktioniert	6
1.0.1 CRISPR/Cas – eine revolutionäre gentechnische Methode	8
1.1 Genomik	10
1.2 Transkriptomik	12
1.3 Proteomik	14
1.4 Stammzellforschung	14
1.5 Transgene Tiere	16
1.6 Nanobiotechnologie	17
II Medizin	18
2.0 Medikamente	20
2.1 Forschung am Menschen	21
2.2 Gentherapie	22
2.3 Impfstoffe und Antikörper	24
2.4 Nachweisverfahren	25
2.5 Krebsimmuntherapie	26
2.6 Vererbung	28
2.7 Gentests	29
2.8 Fortpflanzungsmedizin	30
2.9 Gerichtsmedizin	31
III Landwirtschaft und Ernährung	32
3.0 Pflanzenzüchtung	34
3.1 Vom Labor aufs Feld	35
3.2 Globale Situation	36
3.3 Lebensmittel	38
3.4 Ein GV-Produkt für die Schweiz	39
3.5 Bewilligung, Deklaration, Grenzwerte	40
3.6 Neue Produkte am Horizont	41
IV Weisse Biotechnologie und Umweltschutz	42
4.0 Biokatalyse	43
4.1 Biosynthese	44
4.2 Bioindikatoren	44
4.3 Biologische Sanierung	45
4.4 Biokraftstoffe	45
V Gesetzgebung	46
5.0 Schweizerische Bundesverfassung	47
5.1 Internationale Abkommen	47
5.2 Gesetze im Humanbereich	48
5.3 Gesetze im Ausserhumanbereich	49
VI Glossar	50

Grundlagen



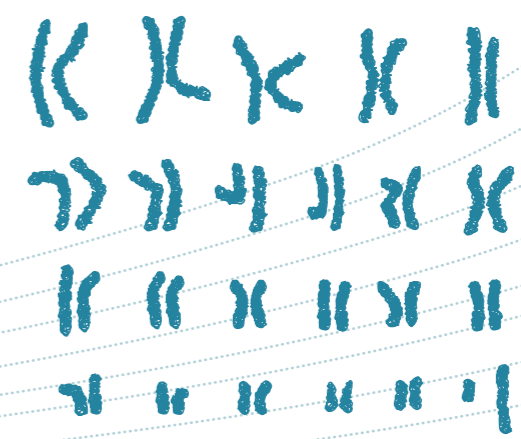
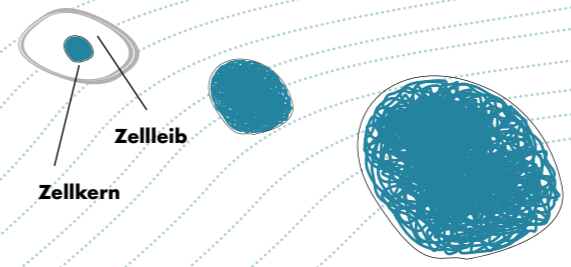
Jedes Lebewesen besteht aus Zellen

Lebewesen sehen sehr unterschiedlich aus. Ob Bakterium, Sonnenblume, Katze oder Mensch – alle Lebewesen sind aus Zellen aufgebaut. Einzeller wie Bakterien bestehen aus einer einzigen Zelle. Pflanzen, Tiere und Menschen sind Vielzeller. Der menschliche Körper besteht aus Organen wie Herz und Leber. Und die Organe bestehen aus Geweben, die sich aus Zellen zusammensetzen. Neben Wasser bestehen Zellen zum grössten Teil aus Eiweissen, auch Proteine genannt. Es gibt sehr viele Arten von Proteinen. Sie erfüllen in den Zellen und damit letztlich im Körper viele lebenswichtige Aufgaben.



1. Die Gene befinden sich im Zellkern

Eine einzelne Zelle ist zu klein, um sie von blossen Auge zu sehen. Sie wird erst unter dem Mikroskop sichtbar. Je nach Aufgabe der Zelle variiert auch ihr Aussehen. Eine Nervenzelle, die darauf spezialisiert ist, Signale zu empfangen und weiterzuleiten, ist stark verzweigt. Eine Muskelzelle hingegen ist länglich und hat die Fähigkeit, sich zusammenzuziehen. Eines aber haben alle Zellen der Vielzeller gemeinsam: In ihrem Innern enthalten sie einen Zellkern mit den Genen. Bakterien hingegen haben keinen Zellkern. Ihre Gene liegen aufgeknäuelnt im Zelleib.



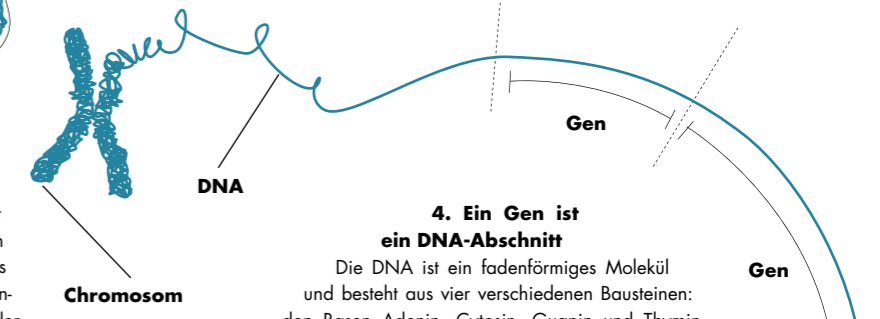
3. Alle Chromosomen zusammen bilden das Genom

Aus Platzgründen ist die DNA stark aufgeknäuelnt. Bevor sich eine Zelle teilt, entwirrt sich das Knäuel. Dabei entstehen X-förmige Gebilde, die man Chromosomen nennt. Nicht alle Lebewesen besitzen in ihrem Zellkern gleich viele Chromosomen. Ein Mensch hat in jeder Zelle 46 Chromosomen, eine Katze 38 und ein Blumenkohl 18.

menschliches Genom

2. Chromosomen bestehen aus DNA

Der Zellkern enthält das Erbmateriale. Erstaunlicherweise besteht das Erbmateriale bei allen Lebewesen aus dem gleichen Stoff, der DNS. Dies ist die Abkürzung für Desoxyribonukleinsäure. Häufiger liest man DNA, was der englischen Abkürzung entspricht (A für acid = Säure). Der winzige Zellkern in jeder menschlichen Zelle enthält einen DNA-Faden von rund zwei Metern Länge.

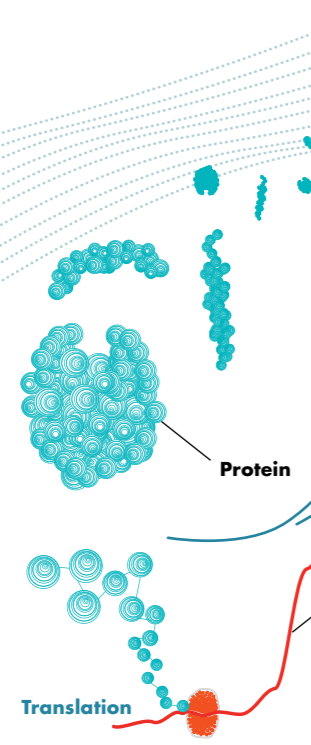


4. Ein Gen ist ein DNA-Abschnitt

Die DNA ist ein fadenförmiges Molekül und besteht aus vier verschiedenen Bausteinen: den Basen Adenin, Cytosin, Guanin und Thymin, abgekürzt mit den Buchstaben A, C, G und T. Ein Gen ist ein Abschnitt auf diesem DNA-Faden. Ein menschliches Gen ist 500 bis viele Tausend Basen lang. Die Basen bilden also ein sehr langes «Wort». Schreibt man den Code eines Gens auf, so ergibt dies beispielsweise AT-GAAGTTTCAGCGTCCATGG etc. Der Mensch hat in jeder Zelle etwa 25000 Gene.

7. Protein-Herstellung nach Bedarf

Die Gene in jeder Zelle werden nach Bedarf abgeschrieben. Sie steuern die Produktion der Eiweisse, welche die Zelle braucht, um zu wachsen und ihre Aufgaben im Körper zu erfüllen. Jede Zelle enthält das gesamte Genom. In einer Zelle der Haut werden andere Gene abgeschrieben als in einer Darmzelle. Nervenzellen beispielsweise schreiben ein Gen für ein Protein ab, das als Signalmolekül aus der Zelle geschickt wird. Und in den Muskelzellen werden gemäss dem genetischen Bauplan Motorproteine hergestellt, damit die Zellen in Bewegung bleiben.



6. Vom Gen zum Protein

Zellen besitzen die Fähigkeit, Gene abzu-schreiben in einen der DNA verwandten Stoff namens RNA. Dieser Vorgang heisst «Transkription» und geschieht im Zellkern. Die abgeschriebenen Genkopien aus RNA wandern aus dem Zellkern in den Zelleib. Die meisten RNA-Moleküle dienen dort als Anleitung für den Bau von Proteinen. Dieser Vorgang nennt sich «Translation».

5. Die DNA ist ein Doppelstrang

Die DNA kann man sich vorstellen wie eine lange Leiter, die spiralförmig gewunden ist. Die Leitertritte bestehen aus Basenpaaren. Jeweils A und T passen zusammen, sie können sich aneinanderhängen und einen Leitertritt bilden, ebenso G und C. Diese Basenpaarung ist einerseits grundlegend für den Zusammenhalt der beiden DNA-Stränge, andererseits für das Abschreiben von DNA – dem ersten Schritt im Prozess der Proteinherstellung.

I Forschung



Angetrieben durch die menschliche Neugier, will die Grundlagenforschung verstehen, wie die Lebewesen und unsere Natur funktionieren. Es geht darum, wissenschaftliche Theorien aufzustellen, diese experimentell zu überprüfen und innerhalb der Wissenschaft zu diskutieren. Was dies in der Gentechnik heisst, haben neun Schüler und Schülerinnen praxisnah erlebt. Sie besuchten Forschungslabors an der Universität und diskutierten mit Forscherinnen und Forschern.

Im Labor wird mehrheitlich nach Grundlagen geforscht. Einer der Wissenschaftler erklärt genauer: «Wir untersuchen hier Proteine, die eine Rolle bei der Blutgerinnung spielen.» Eine Schülerin gruselt sich, als er den Wärmeschrank öffnet – sie kann kein Blut sehen. Doch der Forscher holt flache Gefässe heraus, die helles Gelee enthalten. Als er die Deckel öffnet, erkennt man Punkte auf dem Gelee. «Sind das die Eiweisse?», wirft Marcel in die Runde. «Nur indirekt. Proteine sind zu klein, um sie von blossem Auge zu sehen. Die Punkte bestehen aus Hefezellen. In diese Zellen haben wir Gene der Blutgerinnungseiwiesse eingebaut.» Natürlich habe Hefe keinen Blutkreislauf, betont der Biologe. Aber es sei faszinierend, wie gut die Einzeller die neuen Gene ablesen und die Proteine herstellen würden. «Hefezellen sind einfach super», so der Wissenschaftler, «mit diesen kleinen Helfern kann ich viele Details herausfinden. Das hilft, Herz-Kreislauf-Krankheiten besser zu verstehen.»

«Kommt alle her. Ich zeige euch etwas Aussergewöhnliches!», bemerkt eine Forscherin an der Tür. Sie führt die Schülerinnen und Schüler in eine andere Abteilung: «Hier ist unser kleiner Zoo. Im Moment beherbergen wir nur Mäuse, und die meisten sind erst noch k.o.» «Wie geht denn das? Schicken Sie die Tiere in den Boxring?», fragt einer der Schüler grinsend. «Nein, natürlich nicht», erwidert die Wissenschaftlerin, «Knock-out-Mäuse sind Tiere, in denen ein Gen ausgeschaltet wurde. Fehlt das Gen, wird auch das entsprechende Protein nicht mehr hergestellt. Ist z.B. plötzlich das Fell des Tieres nicht mehr braun, weiss man, dass das ausgeschaltete Gen für die Fellfarbe verantwortlich ist.» Die Forscherin schiebt ein Gefäss unters Mikroskop. In der Vergrösserung werden winzige Zellbällchen sichtbar. «Dies sind junge Mäuseembryonen», schildert die Biologin, während sie einen der Embryonen vorsichtig festhält. Mit einer feinen Kanüle bringt sie eine einzelne Zelle an den Embryo heran. Die Jugendlichen halten den Atem an. «Jetzt fügen wir die Zelle in den Embryo ein», kommentiert sie. «In der Zelle ist das Gen für ein bestimmtes Protein «k.o.», also ausgeschaltet.»

Ein Laborant bringt eine Maus. Das Tier hat ein Betäubungsmittel erhalten und schläft. Die Wissenschaftlerin legt es sorgfältig auf den Tisch. «Die Tischplatte ist warm, damit der kleine Körper nicht auskühlt», erklärt sie und macht der Maus einen Schnitt ins Fell. Die Maus soll Mutter der soeben gentechnisch veränderten Mäusebabys werden. Nach kurzer Zeit sind die Embryonen in die Gebärmutter übertragen. «Die Maus ist

jetzt schwanger», erklärt sie. «Einige der Jungen werden das veränderte Gen so eingebaut haben, dass das Protein, das wir untersuchen, nicht gebildet wird. So kann an den Tieren die Ursache und Behandlung von Krankheiten erforscht werden.» Die Jugendlichen recken die Hälse, schauen und nicken. Einige fasziniert, andere etwas skeptisch.

Am Nachmittag besuchen die Schüler und Schülerinnen ein Gewächshaus voller Tomatenpflanzen. «Wenn ihr euch die Tomaten genau anschaut, seht ihr angefaulte Stellen», erklärt ein Forscher. «Dies ist der Pilz «Botrytis cinerea», der auch Erdbeeren befällt.» Sein Forschungsteam prüft, welche Tomatensorten vom Pilz besonders stark oder kaum befallen werden. «Unser Ziel ist es, herauszufinden, worin sich diese Sorten unterscheiden. Welche Gene sind nötig, damit sich die Pflanze gegen den Pilzbefall wehren kann? Könnte man diese Gene in anfällige Sorten einbauen?»

Auf dem Heimweg tauschen sich die Jugendlichen aus. «Scheint komplex zu sein, diese Gentechnik», meint eine der Jugendlichen. «Nicht ganz überzeugend», findet eine andere. «Ich müsste mehr darüber wissen, um zu entscheiden, was ich toll finde an der Gentechnik und was nicht.» Sonja nickt. «Ich hätte nie gedacht, dass die Grundlagenforschung an so vielen Orten Gentechnik einsetzt», gibt sie zu bedenken. «Und, dass das Zeug so klein ist», lacht Marcel. «Gut, sind Wissenschaftler auf die Idee gekommen, Gene in Hefezellen oder Mäusen zu untersuchen.»





1.0 Wie Gentechnik funktioniert

In der Pause zieht Sonja ihren Pen aus der Tasche. Das ist eine handliche Spritze. Die Mitschülerinnen und Mitschüler sind daran gewöhnt, keiner guckt komisch. Sonja ist zuckerkrank. Um gesund leben zu können, spritzt sie sich mehrmals täglich Insulin. Früher wurde das Insulin aus Tieren gewonnen. Sonja aber verwendet menschliches Insulin, sogenanntes Human-Insulin. Doch woher kommt das? Muss ihre Familie regelmässig Insulin spenden? Nein, das geht zum Glück viel einfacher: Insulin wird im Labor gewonnen.

Menschliches Insulin aus Bakterien

Mit Hilfe der Gentechnik kann ein Bakterium dazu gebracht werden, ein Medikament herzustellen, zum Beispiel Insulin. Insulin ist ein Hormon, das in der Bauchspeicheldrüse jedes gesunden Menschen gebildet wird. Es ist dafür verantwortlich, dass das Blut nicht zu viel Zucker enthält. Manche Menschen produzieren zu wenig Insulin und haben daher Schwierigkeiten, ihren Blutzuckerhaushalt zu regulieren. Man spricht von Zuckerkrankheit oder Diabetes.

So funktioniert die Insulin-Produktion

Die Herstellung von menschlichem Insulin erfolgt im Labor. In grossen Behältern werden Bakterien gezüchtet, in deren Erbgut das menschliche Insulin-Gen eingebaut wurde. Die Einzeller lesen das Gen ab und produzieren das entsprechende Protein. Die Bakterien stellen also anhand des menschlichen Gens menschliches Insulin her. Dieses wird anschliessend aus der Bakterienkultur herausgetrennt, gereinigt und als Medikament mit Hilfe eines Pens gespritzt. Da sich Bakterien rasch vermehren, kann gentechnisches Insulin problemlos in ausreichenden Mengen hergestellt werden.

4. Human-Insulin aus Bakterien

Das Bakterium wächst und teilt sich. Dabei liest es die Gene ab und produziert die entsprechenden Proteine – darunter auch das menschliche Insulin. Dieses ist identisch mit dem Insulin, das gesunde Menschen in den Zellen ihrer Bauchspeicheldrüse herstellen. Es eignet sich daher zur Behandlung von zuckerkranken Personen.

2. Der DNA-Ring-Trick

Ein Teil der Gene von Bakterien befindet sich auf Plasmiden. Diese kleinen ringförmigen DNA-Stücke sind ideale Werkzeuge, um Gene in Bakterien einzuschleusen. Dazu werden die Plasmide aufgeschnitten. Man verwendet natürlich vorkommende Enzyme, die sogenannten Restriktionsenzyme. Diese arbeiten wie Scheren, die den DNA-Ring an einer bestimmten Stelle aufschneiden.

aufschneiden
(mittels Restriktionsenzym)

einkleben
(mit Hilfe des Enzyms Ligase)

1. Ein Gen wird isoliert

Menschliche Zellen können beispielsweise leicht aus der Mundschleimhaut entnommen werden. Im Labor wird die DNA der Zelle aufbereitet. Auf dem langen DNA-Faden wird das Gen mit der Information zur Herstellung des Insulin-Proteins aufgespürt und herausgeschnitten. Das Gen wird anschliessend von der übrigen DNA getrennt und ins Erbgut des Bakteriums eingefügt.

heraustrennen
(mittels Restriktionsenzym)

Insulin-Gen

menschliche Zelle

Zellkern

menschliche DNA

3. Verändertes Erbgut

Die Restriktionsenzyme hinterlassen beim Durchtrennen der DNA ein charakteristisches Muster. So passt das ausgeschnittene Insulin-Gen wie ein Puzzlestück in die Lücke im Plasmid. Mit dem Enzym Ligase wird das Gen mit dem Plasmid zusammengeschnitten. Das neu kombinierte Plasmid wird anschliessend zurück ins Bakterium gebracht. Das humane Insulin-Gen ist nun Teil des bakteriellen Erbgutes.

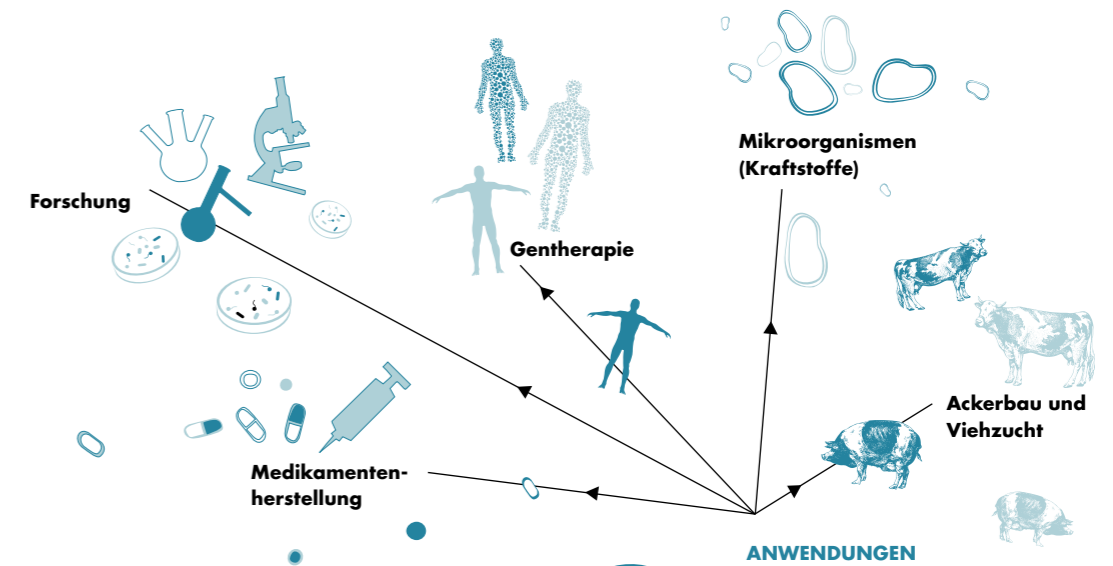
Bakterien vermehren

Insulin aufreinigen

Insulin

Herstellung transgener Lebewesen

Durch den Einbau des menschlichen Insulin-Gens in die Bakterien werden diese gentechnisch verändert. Sie sind «transgen». Transgene Einzeller, Pflanzen oder Tiere lesen die Information des zusätzlichen Gens ab wie ihre eigene. Dies ist möglich, da die Erbsubstanz aller Lebewesen aus DNA besteht. Gemäss der Information des zusätzlichen Gens stellen sie neben den eigenen Proteinen ein zusätzliches Eiweiss her: beispielsweise eines, das natürlicherweise nur in einer seltenen exotischen Pflanze vorkommt. Oder ein Protein, das als Impfstoff eingesetzt wird. Transgene Lebewesen verfügen dank dem zusätzlichen Gen über eine neue Eigenschaft.

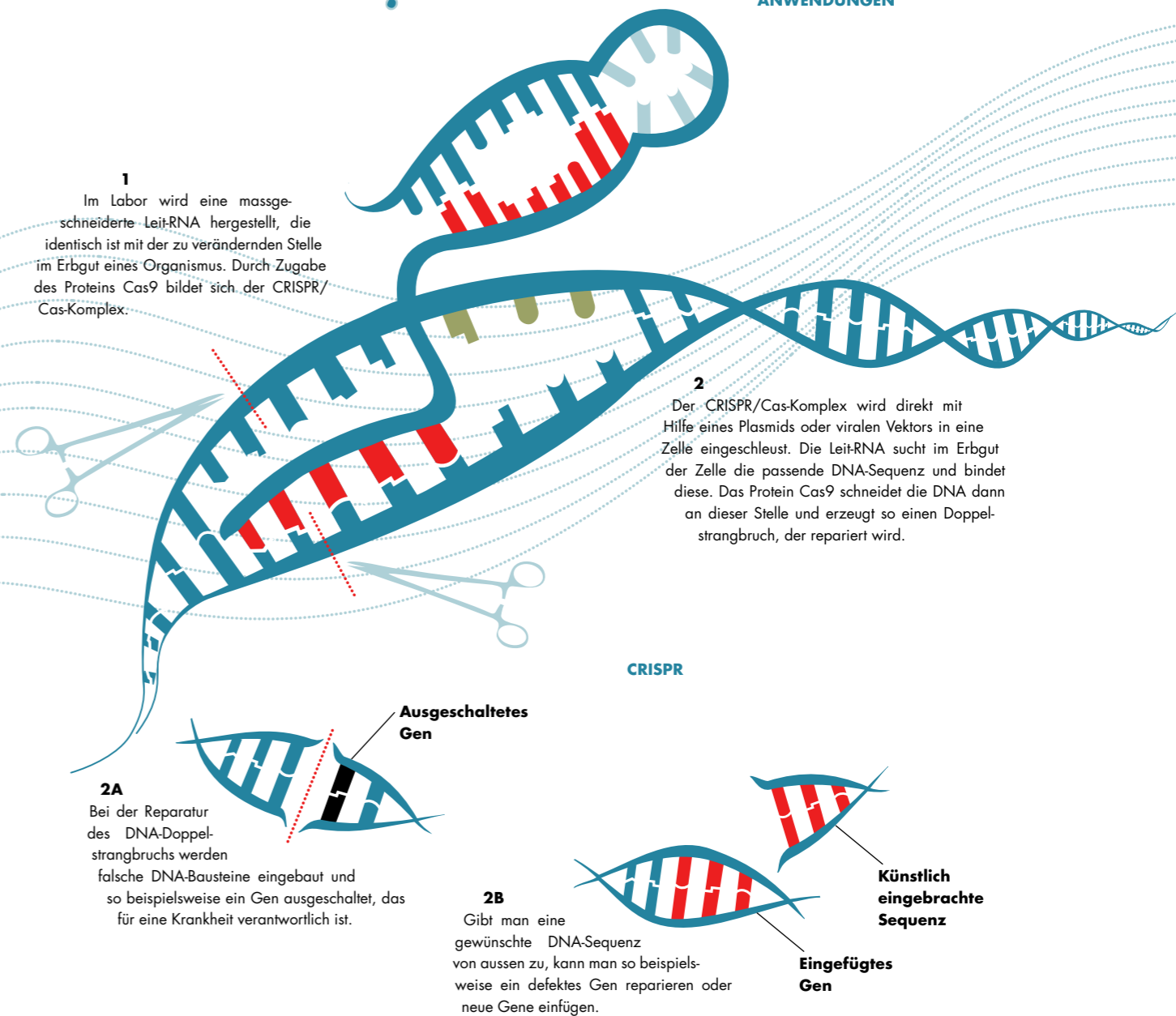


1.0.1 CRISPR/Cas – eine revolutionäre gentechnische Methode

Die Züchtung gentechnisch veränderter Mäuse war bis im Jahr 2012 arbeitsintensiv und langwierig. Doch eine Entdeckung veränderte die Möglichkeiten der Gentechnik rasant: CRISPR/Cas. CRISPR steht für «Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats» und beschreibt eine Abfolge von sich wiederholenden DNA-Bausteinen im Erbgut nahezu aller Organismen. Dank der erfolgreichen Zusammenarbeit zweier Wissenschaftlerinnen, Emmanuelle Charpentier und Jennifer Doudna, wurde der zugrunde liegende Mechanismus des CRISPR/Cas-Systems gefunden und als gentechnisches Werkzeug nutzbar gemacht. Da das CRISPR/Cas-System Gene schnell, kostengünstig und zielgerichtet verändern kann, konnten auf einmal Mäuse in nur wenigen Wochen gentechnisch verändert werden.

CRISPR/Cas ist universell einsetzbar

CRISPR/Cas findet längst nicht nur in Mäusen Anwendung. Das CRISPR/Cas-System wird heute in der Grundlagenforschung, der klinischen Forschung oder der Herstellung von Wirkstoffen eingesetzt. Ein Beispiel ist die Nutzung der Genomeditierung für die Bekämpfung schwerer Krebsformen. Dazu werden T-Zellen, Abwehrzellen unseres Immunsystems, ausserhalb des Körpers so modifiziert, dass diese nach Re-Injektion in den Körper Krebszellen erkennen und diese vernichten können. Mit CRISPR/Cas können auch neue Materialien aus gentechnisch modifizierten Mikroorganismen oder Kraftstoffe hergestellt werden. Im Ackerbau und in der Viehzucht wird «Genome Editing» eingesetzt, um krankheitsresistente Pflanzen oder Tiere zu züchten. Doch wie genau funktioniert das CRISPR/Cas-System?



1.1 Genomik

«Sag mal, wie viele Gene hat ein Mensch?» Marcel schaut erstaunt auf. «Phu!», meint er, «keine Ahnung. Wohl ziemlich viele. Ich frag mich nur, wie die alle Platz haben im Zellkern? Der ist doch winzig.» Imad nickt: «Ich glaube, Gene sind auch extrem klein. Sie bestehen nur aus Molekülen oder so.» Nach kurzem Überlegen meint Marcel: «Stimmt, sie setzen sich aus diesen vier Basen GACT zusammen. Klingt wie ein cooles »tag«. Ich glaube, wir haben Milliarden davon in jeder Zelle.» Imad ist überrascht: «Wahnsinn! Und wie viele Gene gibt das?»

Die grosse Überraschung

Der menschliche Körper ist äusserst komplex aufgebaut. Alle Knochen, Nervenbahnen und Organe sind gut untersucht. Die molekulare Ebene jedoch birgt noch viele Geheimnisse. Jede Zelle enthält eine riesige Zahl verschiedener Proteine, die alle gemäss den Bauplänen in den Genen hergestellt werden. Die Untersuchung der DNA beantwortet daher viele spannende Fragen: Wie funktionieren diese Baupläne? Und wie viele Gene hat der Mensch?

Mit diesen Fragen beschäftigt sich das Forschungsgebiet der Genomik. Im Jahr 1990 wurde das Human Genom Project gestartet mit dem Ziel, die drei Milliarden Basenpaare der menschlichen Erbsubstanz zu analysieren. Die Forschenden rechneten mit mindestens 25 Jahren Arbeit. Dank Computertechnologie, Automatisierung und besseren Labormethoden lag der Code des menschlichen Genoms bereits im April 2003 vor. Die gesamte Abfolge der Buchstaben A, T, G, C der menschlichen DNA war entschlüsselt. Entdeckt wurden 25 000 proteincodierende Gene. Das humane Genom hat viel weniger Gene als vermutet – kaum mehr als Fadenwürmer besitzen. Dies war eine grosse Überraschung.

Wie man Gene entschlüsselt

Gene sind so klein, dass sie nicht einmal unter dem Mikroskop sichtbar sind. Um Gene zu untersuchen, müssen sie aus der Zelle herausgeholt und vervielfältigt werden. Dazu wird die DNA so lange kopiert, bis sie aufgrund der grossen Menge sichtbar wird. Dies geschieht mit Hilfe des Enzyms Polymerase, das Gensequenzen in hohem Tempo kopieren kann. Man nennt diese Technik Polymerase Chain Reaction (PCR). Doch wie kann nun die Buchstabenfolge der DNA im Labor abgelesen werden? Was der Zelle ganz leicht gelingt, war für die Forschung eine Knacknuss: Schliesslich sind die Moleküle A, G, C und T nicht sichtbar. Für die Entschlüsselung der Buchstabenfolge wird die Technik der Sequenzierung eingesetzt, die das Problem auf einem klugen Umweg löst (siehe Grafik).

trennen

auffüllen

trennen

auffüllen

trennen

auffüllen

trennen

1. Vorbereitung:

DNA-Stücke isolieren

Bevor die DNA in den PCR-Apparat kommt, wird sie mit Hilfe natürlicher DNA-Scheren, der Restriktionsenzyme, in kurze Abschnitte getrennt.

DNA-Bausteine C, A, T, G

DNA-Stück

Polymerase

2. PCR-Technik:

exponentiell vermehren

Um eine PCR durchzuführen, werden die DNA-Bausteine A, C, T, G sowie Polymerase-Enzyme und DNA-Stücke in kleine Plastikbehälter gegeben. Dieses Gemisch wird im PCR-Apparat zuerst erhitzt. Dabei zerfällt die DNA in Einzelstränge. Dann wird diese Mischung abgekühlt auf eine Temperatur, bei der die Polymerase besonders gut arbeitet: Dieses Enzym ergänzt die Einzelstränge auf der Grundlage der Basenpaarung zu neuen Doppelsträngen. Ein DNA-Stück wird so mit jedem Durchgang verdoppelt. 15 Durchgänge ergeben über 30 000 identische DNA-Stücke.

3. Sequenzierung: DNA-Fragmente mit bekannter Endung

Die Reihenfolge der einzelnen DNA-Bausteine in einem Gen lässt sich durch die Kettenabbruch-Methode bestimmen. Für die PCR werden von einer Bausteinsorte zusätzlich «Stopper» beigemischt, beispielsweise Stopp-G. Baut die Polymerase nun zufällig statt eines normalen G ein Stopp-G ein, bricht der Kopiervorgang ab. Nach der PCR liegen vom zu untersuchenden DNA-Stück viele Kopien unterschiedlicher Länge vor, die alle mit einem Stopp-G enden.

Stopp-G

(+)

(-)

4. Elektrophorese:

Sortieren nach Grösse

Die erhaltenen Teilstücke sind viel zu klein, um sie direkt untereinander zu vergleichen. Sie werden vom Gentechniker oder der Gentechnikerin in ein Gel gespritzt, durch das Strom fliesst. DNA-Stücke sind negativ geladen und wandern deshalb Richtung Pluspol. Dabei kommen die kurzen DNA-Stücke weiter als die langen, da diese mehr im Gel stecken bleiben. Nach der PCR liegt jedes Teilstück tausendfach vor. Da gleich lange Stücke im Gel gleich weit wandern, kann man im Gel Banden erkennen. Jede Bande steht für ein Teilstück, das mit G endet. Liegen zwei Banden direkt beieinander, sind auch im Gen zwei G direkt nebeneinander. Sind die Banden weiter auseinander, befinden sich entsprechend viele andere Buchstaben dazwischen. Durch die Wiederholung des Vorgangs mit Stopp-A, Stopp-C und Stopp-T kann die ganze Gensequenz bestimmt werden.



Und noch viel mehr Arbeit...

Neben dem genetischen Code des Menschen sind auch die Genome einzelner Tier- und Pflanzenarten entschlüsselt. Man kennt beispielsweise den Gencode der Maus oder jenen der Malariaecke. Allerdings unterscheidet sich der genetische Code der Individuen innerhalb einer Art auch leicht voneinander. Konkret bedeutet dies, dass im gesamten DNA-Strang einzelne Basenpaare von Individuum zu Individuum variieren. Das Genom jedes Menschen ist einzigartig, so individuell wie dessen Fingerabdruck.

Heute wissen die Forschenden, dass mit der Sequenzierung des menschlichen Genoms die Arbeit nicht erledigt ist. Im Gegenteil: Sie hat erst richtig begonnen. Es gilt, zu untersuchen, wie sich die genetischen Codes verschiedener Menschen unterscheiden und was dies bedeutet. Er muss erforscht werden, wie das Genom organisiert ist, wie Schäden an den Genen entstehen und wie diese von der Zelle repariert werden.

1.2 Transkriptomik

Damit zu einem Gen das entsprechende Protein hergestellt werden kann, wird es zuerst in einen Stoff namens RNA abgeschrieben. Dazu hat die Zelle spezielle Werkzeuge. Dieser Prozess heisst Transkription und wird vom Enzym Polymerase durchgeführt. Damit die Polymerase ein Gen auf dem zwei Meter langen DNA-Strang findet, beginnt jedes Gen mit einer Start-Sequenz und endet mit einer Stopp-Sequenz.

Die RNA-Welt: komplex, dynamisch...

Der Begriff Transkriptom bezeichnet alle RNAs in einer Zelle. Im Gegensatz zum Genom ist das Transkriptom vielfältig und dynamisch: Während jede Zelle des Körpers das gleiche Genom besitzt, ist das Transkriptom einer Leber- oder einer Hirnzelle total verschieden. In den beiden Zelltypen sind unterschiedliche Gene angeschaltet. Die in der Zelle vorliegenden RNAs variieren somit stark. Doch damit nicht genug: Die RNA-Welt ist noch komplexer. Während es beim Genom nur eine Sorte DNA gibt, wird die RNA in verschiedene Typen eingeteilt. Die Gen-Kopie wird als mRNA bezeichnet. «m» steht für «messenger», was Bote bedeutet. Wie ein Kurier eilt sie aus dem Zellkern hinaus und dient in der Eiweissfabrik als Bauanleitung für das Protein. Doch es gibt auch RNA-Sorten, die nie zu Proteinen umgeschrieben werden. Zu diesen RNAs gehören die ribosomalen RNAs (rRNA) und die transfer RNAs (tRNA).

... und unentbehrlich

Die Forschung entdeckt immer mehr RNA-Sorten. Beispielsweise siRNAs oder snRNAs. Die snRNAs heissen mit vollem Namen small nuclear RNAs. Wie ihr Name sagt, sind sie ziemlich klein und im Innern des Zellkerns angesiedelt. Die Abkürzung siRNA steht für small interfering RNA. Diese RNAs können unter bestimmten Umständen die Zerstörung von mRNA veranlassen. Die Erforschung der Welt der RNA steht erst in ihren Anfängen. Es ist heute noch unklar, wie die Zelle sicherstellt, dass jederzeit die richtigen RNAs am richtigen Ort und in der richtigen Menge ihre anstehenden Aufgaben erfüllen. Diese Regulationsmechanismen besser zu verstehen, ist eine Herausforderung für die Forschenden.



3. Hilfsgefährten der mRNA – snRNA

Die snRNAs helfen den mRNAs bei der Reifung. Denn mRNAs sind nur zu Beginn gleich lang wie die abgeschriebenene Gene. Durch den Prozess des Spleissens werden sie verändert: Unbenötigte Abschnitte werden herausgeschnitten. Die snRNAs bilden dazu Strukturen, welche die mRNA an der richtigen Stelle festhalten und schneiden. Da unterschiedliche Abschnitte herausgeschnitten werden können, gibt es ausgehend von einem Gen mehrere verschiedene, reife mRNAs.

Spleissen

snRNA-Komplex

2. Gene verstummen lassen – siRNA

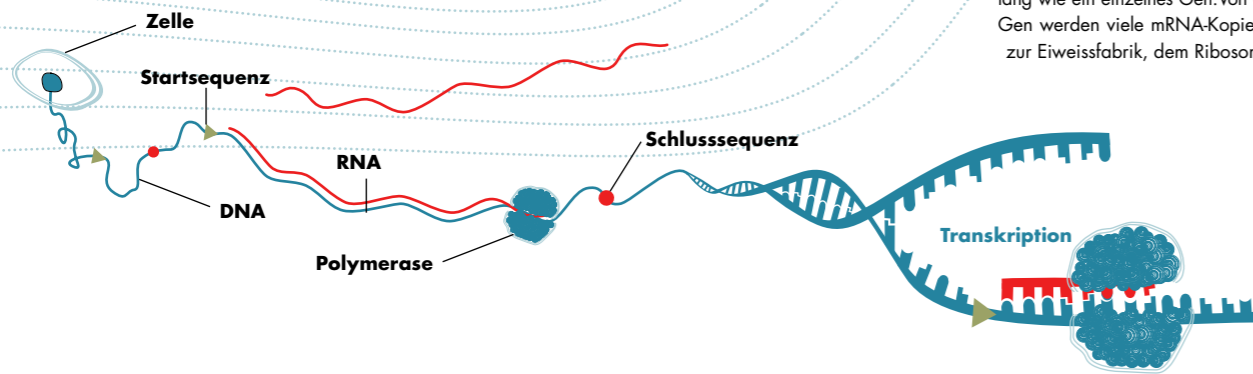
Die siRNAs üben eine Kontrollfunktion aus und fangen bestimmte mRNAs ab. Sie gehen mit passenden Abschnitten auf der mRNA Basenpaarungen ein. Dadurch wird die mRNA blockiert und schliesslich abgebaut. Dieser Mechanismus heisst RNA-Interferenz. siRNAs können also Gene verstummen lassen.

siRNA

1. Die Kuriere – mRNA

Jede lebende Zelle liest fortlaufend Gene ab und schreibt sie zu mRNA um. Dieser Vorgang der Transkription geschieht im Zellkern. Im Gegensatz zur zwei Meter langen DNA sind die mRNA-Moleküle nur so lang wie ein einzelnes Gen. Von einem benötigten Gen werden viele mRNA-Kopien hergestellt, die zur Eiweissfabrik, dem Ribosom, wandern.

mRNA



4. Bausteine der Eiweissfabrik – rRNA

rRNAs sind Teile der Proteinfabriken, der sogenannten Ribosome. Alle Lebewesen haben Gene für rRNA-Moleküle. Diese werden immer wieder abgeschrieben, damit die Zelle genügend Bauteile für den Aufbau neuer Proteinfabriken hat.

Ribosom (Eiweissfabrik)

Protein Translation

Lysin

AAG

Alanin

GCU

Aminosäure

tRNA

Anticodon

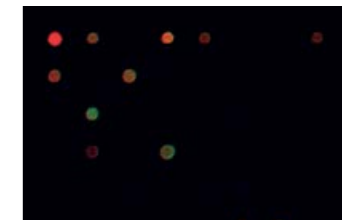
5. Die Aminosäure-Schlepper – tRNA

Die tRNAs sind eine besonders raffinierte Sorte RNA. Sie sind an einem Ende so gestaltet, dass drei RNA-Bausteine herausragen. Man nennt sie Anticodon. Es gibt tRNAs mit allen möglichen Dreier-Variationen, z.B. AAG oder GCU. Die RNA-Base «U» entspricht dem Baustein «T» in der DNA.

Dank ihrer Struktur können tRNAs an ihrem anderen Ende eine Aminosäure festhalten. Es gibt 20 verschiedene Aminosäuren. Sie sind die Elemente, aus denen alle Proteine aufgebaut sind. Jedes tRNA-Molekül angelt sich die Aminosäure, die zu seinem Dreiercode gehört, bei AAG ist das Lysin und bei GCU Alanin. Nun folgt der entscheidende Kniff: Ein Anticodon kann sich an drei passende Basen auf der mRNA binden, AAG dockt also an ein TTC auf der mRNA an. So kann die Botschaft auf der mRNA Stück für Stück in die richtige Aminosäuren-Reihenfolge übersetzt werden. Im Ribosom werden die Aminosäuren miteinander verknüpft. Die entstehende Kette faltet sich zum fertigen Protein.

DNA-Chip

Zur Untersuchung des Transkriptoms wird auf die DNA-Chip-Technologie zurückgegriffen (auch Microarray genannt). Auf einem kleinen Glasplättchen ist jedes Gen als einzelsträngiges DNA-Stück vertreten. Nun wird eine Flüssigkeit – z.B. aus Lebergewebe – über das Plättchen gegossen. Diese enthält sämtliche mRNAs der Leberzelle. Sogleich paaren sich die Leber-mRNAs mit den zugehörigen Genen. Die Gene auf dem Chip, die frei bleiben, würden in den Leberzellen zum Zeitpunkt ihrer Entnahme nicht zu mRNA transkribiert. Auf dem Chip erscheinen sie schwarz. Spannend ist der Vergleich der aktiven Gene bei der Verabreichung eines Medikaments. Vor und nach Einnahme der Arznei wird ein Chip erstellt und im Computer verglichen. Die Gene, die schon vor der Einnahme des Medikamentes zu mRNA transkribiert wurden, sind rot markiert, neu aktivierte Gene erscheinen grün, und vorher wie nachher aktive Gene leuchten in Gelb.



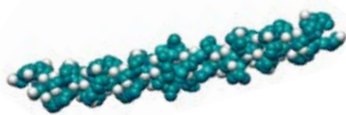
«Schon seltsam, wir haben gleich viele Gene wie eine Maus.»
Imad schaut seinen Kollegen prüfend an. Marcel nickt: «Ja, das ist überraschend. Aber mich fasziniert was mit den abgelesenen Genen alles passiert: zerschnipelt und neu geklebt unterwegs zur Eiweissfabrik. Oder einfach abgefangen und vernichtet! Super, dass in unseren Zellen alles funktioniert!»
Imad richtet sich auf. «Hey, zum Glück stellen meine Zellen die richtigen Proteine her. Sonst würde der Blutzuckerspiegel aus dem Ruder laufen. Oder stell dir vor: Trotz vollem Training würden wir keine neuen Muskeln aufbauen!»

1.3 Proteomik

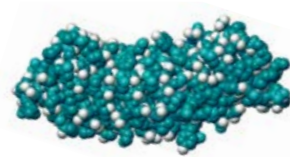
Mehr als die Hälfte des Trockengewichts einer Zelle sind Proteine. Eiweisse sind nicht nur die Stoffe, aus denen die Zellen zum grössten Teil aufgebaut sind. Sie sind auch für fast alle lebenswichtigen Funktionen im Körper zuständig. Ihre Vielfalt ist eindrücklich: Strukturproteine wie Kollagen sind seilartig aufgebaut und verleihen unseren Knochen und Sehnen Festigkeit. Transportproteine haben eine kugelige Form. Das Protein Hämoglobin beispielsweise bindet den Sauerstoff, den wir über die Lunge einatmen, und transportiert ihn im Blut. In Form von Antikörpern schützen Proteine den Körper gegen Krankheiten, und als verformbare Elemente ermöglichen sie Muskelbewegungen. Wieder andere Proteine übermitteln Botschaften oder beschleunigen als Enzyme chemische Reaktionen. Welche Proteine in einer Zelle aktiv sind, hängt hauptsächlich davon ab, welche Gene abgelesen werden. Neben

der Genexpression beeinflussen aber auch das Vorliegen bestimmter Wirkstoffe und der Proteinabbau die Zusammensetzung des Proteoms, d. h. der Gesamtheit aller Proteine einer Zelle, eines Gewebes oder eines Lebewesens. Da anhand eines Gens mehrere verschiedene Eiweisse hergestellt werden können, übertrifft die Komplexität des Proteoms jene des Genoms bei weitem. Ausgehend von ca. 25 000 Genen schätzt man, dass der Mensch 100 000 bis 500 000 Proteine besitzt. Durch Anhängen oder Abspalten von Phosphatgruppen kann ein Protein sehr schnell von einer aktiven in eine passive Form versetzt werden. Das Forschungsgebiet der Proteomik gewinnt zunehmend an Bedeutung. Proteine sind für das gesunde Funktionieren unseres Körpers entscheidend. Ihre Entstehung und Funktionsweise zu kennen, liefert die Grundlage, um Krankheiten zu verstehen.

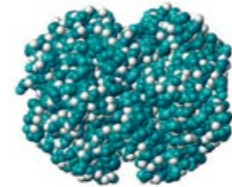
Modell des Strukturproteins Kollagen



Modell des Bindungsproteins Ankyrin



Modell des Transportproteins Hämoglobin



1.4 Stammzellforschung

Katrin und Aisha diskutieren, was sie am Abend zu Jens' Party mitbringen sollen. Jens wird schon 20, die meisten seiner Klassenkameraden sind erst 18. Jens war als Kind sehr krank und konnte erst später zur Schule. Jens hatte Leukämie. Dass er überlebt hat, verdankt er einer Stammzellspende. Die Knochenmarkstransplantation hat ihm das Leben gerettet. Damals stand es ernst

um ihn, doch heute kann Jens locker darüber reden. Wenn im Frühling jemand zu niesen beginnt, meint er grinsend: «Tja, Heuschnupfen habe ich seit zwölf Jahren hinter mir. Meine neuen Blutzellen sind immun dagegen.»



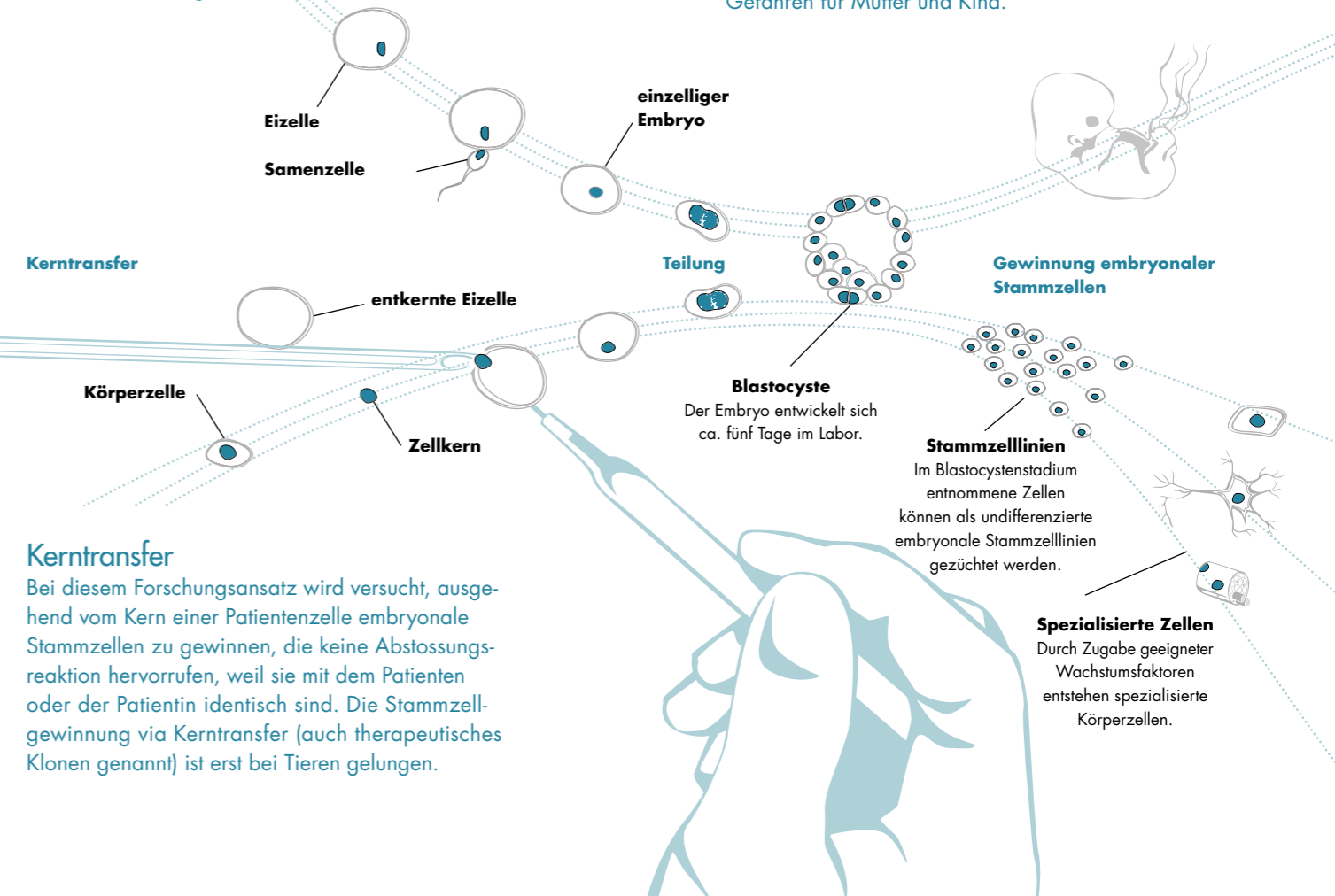
Alleskönner

Stammzellen haben besondere Fähigkeiten. Sie können sich durch Teilung selbst erneuern und zu verschiedenen Zelltypen ausreifen, zum Beispiel zu Herz-, Muskel- oder Leberzellen. Heute wird daran gearbeitet, nach einem Herzinfarkt das geschädigte Herzgewebe durch Stammzellen zu regenerieren. Was hier erprobt wird, ist für das Blutsystem seit langem Realität. Um Blutkrebs (Leukämie) zu behandeln, werden adulte Blutstammzellen ins Knochenmark der Patientin oder des Patienten übertragen. Neben den adulten gibt es auch embryonale Stammzellen. Sie lassen sich leicht im Labor züchten und bilden unter Zugabe von Wachstumsfaktoren alle verschiedenen Gewebetypen. Damit verfügen sie über ein riesiges Potenzial für die Entwicklung neuer Therapien. Viele schwere Krankheiten wie multiple Sklerose, Diabetes oder Alzheimer beruhen auf einem Abbau von Gewebe. Mit Stammzellen hofft man, geeignete Ersatzzellen zu züchten. Experimentelle Anwendungen zeigen, dass dies machbar ist, etwa zur Heilung von Sehnenverletzungen oder zur Überbrückung durchtrennter Nerven. Bevor Patienten und Patientinnen routinemässig mit Therapien auf der Basis embryonaler Stammzellen behandelt werden können, braucht es noch viel Forschungsarbeit.

Ethik

Die Forschung mit embryonalen Stammzellen ist umstritten. Einerseits haben embryonale Stammzellen ein grosses Potenzial für die Behandlung schwerer Krankheiten, andererseits werden für ihre Gewinnung wenige Tage alte Embryonen zerstört. In der Schweiz arbeiten Forschende mit sogenannten überzähligen Embryonen. Ein Embryo gilt als überzählig, wenn er im Labor gezeugt wurde, der Frau aber nicht eingepflanzt werden kann. Unter welchen Voraussetzungen den überzähligen, zur Vernichtung bestimmten Embryonen Stammzellen entnommen werden dürfen, ist im Stammzellforschungsgesetz geregelt (siehe Kapitel 5.3). Einen Schritt weiter geht das therapeutische Klonen. Dabei werden Embryonen zum Zweck der Gewinnung medizinisch idealer Stammzellen geschaffen. Neue Behandlungsansätze rücken damit in den Bereich des Möglichen. Das therapeutische Klonen ist heute nur in einigen Ländern, z. B. Grossbritannien, erlaubt. Vom therapeutischen Klonen zu unterscheiden ist das reproduktive Klonen. Das Klonen zur künstlichen Erzeugung eines Menschen wird weltweit beinahe einstimmig als ethisch verwerflich abgelehnt – dies aufgrund der Problematik der Fremdbestimmung und der gesundheitlichen Gefahren für Mutter und Kind.

In-vitro-Befruchtung



Kerntransfer

Bei diesem Forschungsansatz wird versucht, ausgehend vom Kern einer Patientenzelle embryonale Stammzellen zu gewinnen, die keine Abstossungsreaktion hervorrufen, weil sie mit dem Patienten oder der Patientin identisch sind. Die Stammzellgewinnung via Kerntransfer (auch therapeutisches Klonen genannt) ist erst bei Tieren gelungen.

1.5 Transgene Tiere

Katrin ist ein Morgenmuffel. Auch heute schaffte sie es nicht rechtzeitig aus dem Bett und musste sich beeilen, was Streit gab mit der Mutter. Im Tierversuchslabor wacht sie jedoch schlagartig auf, als die Forscherin zu erzählen beginnt: «Die innere Uhr, die den Tag-Nacht-Rhythmus einer Maus bestimmt, ist durch Gene gesteuert. Doch die Ausprägung dieser Gene ist nicht bei allen Tieren gleich, was zu unterschiedlichen Aktivitätsmustern führt.» Katrin grinst zufrieden: «Das ist die Erklärung. Die Gene sind schuld daran, dass ich morgens ausschlafen und abends lange in den Ausgang will!»

Tierversuche

Mit Hilfe von Zellkulturen und Computersimulationen gewinnt die biomedizinische Forschung wertvolle Hinweise. Ob dieses Wissen für die Medizin nützlich ist, zeigt sich allerdings oft erst am Gesamtorganismus. Deshalb setzt die Wissenschaft Versuchstiere ein. Bei jedem Medikament muss damit gerechnet werden, dass neben der beabsichtigten Wirkung auch unerwünschte Nebenwirkungen auftreten. Medikamente zu entwickeln und diese direkt am Menschen anzuwenden, ist daher ethisch nicht vertretbar. Aus Gründen der Patientensicherheit sind Tierversuche gesetzlich vorgeschrieben. Aus ethischen Gründen unterstehen die Tierversuche strengen Regelungen. Die sogenannte 3R-Regel «replace, reduce, refine» fordert, Tierversuche wenn immer möglich durch tierfreie Methoden zu ersetzen, die Zahl der eingesetzten Tiere zu verringern und

die Tests tierfreundlich zu. Letzteres bedeutet beispielsweise, dass die Tiere für Eingriffe Schmerzmittel bekommen oder dass sie mit Artgenossen zusammenleben und ihnen im Käfig Spielmaterial zur Verfügung steht. Mit solchen Massnahmen wird der Würde des Tieres Rechnung getragen. Aus ethischer Sicht ist es entscheidend, dass nur unerlässliche Tierversuche durchgeführt werden. Dies bedingt eine sorgfältige Güterabwägung. Was wiegt mehr: das Leid der Tiere oder der Nutzen für den Menschen? Jeder Tierversuch muss in der Schweiz durch eine Kommission bewilligt werden, in der neben Forschenden auch Tierschützer und Tierschützerinnen vertreten sind.

In den letzten Jahren ermöglichte der Einsatz transgener Tiere neue Forschungsarbeiten. Ein transgenes Tier trägt in all seinen Körperzellen ein verändertes Stück Erbinformation. Mit gentechnischen Methoden lassen sich bestimmte Gene, die beim Menschen eine Krankheit auslösen, in eine Maus einbringen. Diese entwickelt dann ein ähnliches Krankheitsbild wie der betroffene Mensch. Es ist auch möglich, ein bestimmtes Gen auszuschalten. Solche Mäuse nennt man Knock-out-Tiere. Die Untersuchung des Tieres lässt Rückschlüsse zu über die Funktionen des Gens. In der Krebsforschung oder in der Immunologie spielen transgene Tiere eine wichtige Rolle. Neben der Erforschung von Krankheiten und ihrer Bekämpfung liefern transgene Tiere auch Erkenntnisse über noch unbekannte Prozesse im gesunden Körper.

Transgene Alzheimer-Mäuse

Alzheimer ist eine der häufigsten Alterskrankheiten. Innerhalb von 5 bis 15 Jahren verlieren die Patienten und Patientinnen un-aufhaltsam ihre geistigen Fähigkeiten. Es treten Störungen des Gedächtnisses, der Sprachfähigkeit und der Orientierung auf, bis die Betroffenen vollständig pflegebedürftig werden. Die Krankheit hängt mit einem fortschreitenden Verlust von Nervenzellen im Gehirn zusammen. Früher konnte die Krankheit nur an Verstorbenen studiert werden. Heute arbeitet die Forschung mit transgenen Mäusen und kann so Teilaspekte der Krankheit im lebenden Modell studieren. Aus der Untersuchung von Verstorbenen weiss man, dass sich in den betroffenen Hirnzellen verschiedene Proteine falsch verhalten. Ein Beispiel ist das Protein Tau, das sich zu Bündeln verklebt. An transgenen Mäusen, welche das Tau-Protein im Übermass herstellen, kann dieser Vorgang untersucht werden. Von den Erkenntnissen erhofft man sich Ansatzpunkte für vorbeugende Massnahmen und medikamentöse Behandlungen der Alzheimerkrankheit.

Transgene Mäuse ohne Jetlag

Im Laufe der Evolution hat sich das Leben dem rhythmischen Wechsel von Tag und Nacht angepasst. Sogenannte innere Uhren steuern unzählige Lebensfunktionen im Tagesrhythmus. Diese Uhren umzustellen, ist nicht ganz einfach, wie Nachtschichtarbeit oder das Phänomen des Jetlags nach einer langen Flugreise zeigen. In der Forschung werden Knock-out-Mäuse benutzt, um die molekularen Mechanismen zu verstehen, die hinter dem natürlichen Rhythmus stehen. Durch das gezielte Ausschalten bestimmter Gene lässt sich anhand von Verhaltensänderungen im Tagesablauf der Mäuse festmachen, welchen Platz diese Gene in der natürlichen Rhythmik einnehmen. Fehlen bestimmte Gene, verlieren die Mäuse ihren Rhythmus leichter. Sie können sich aber auch besser an eine Veränderung anpassen. Das Wissen um die genauen Abläufe hilft, Schlafstörungen zu verstehen, aber auch Betriebsunfälle während der Nachtschicht zu vermeiden.



1.6 Nanobiotechnologie

Die Nanotechnologie beschäftigt sich mit dem fast unvorstellbar Winzigen. Ein Nanometer entspricht einem Millionstel Millimeter. In der Nanowissenschaft wird untersucht, wie Atome und Moleküle als Bausteine benutzt werden können, um Materialien und Strukturen mit neuen Eigenschaften hervorzubringen. Die Nanobiotechnologie ist ein Teilgebiet der Nanowissenschaften. Sie befasst sich mit Biomolekülen, dazu gehören DNA, Proteine, Hormone und Antikörper. Durch die neuen Erkenntnisse erhofft sich die Forschung vor allem Fortschritte in der Medizin. Da viele Krankheiten im Bereich der Moleküle entstehen, führen Untersuchungen auf der Nanoebene zu rascheren Diagnosen.

Dies hilft, Krankheiten bereits im Frühstadium nachzuweisen, etwa Krebs, Herz-Kreislauf-Krankheiten oder Infektionen mit Viren. Doch auch neuartige Therapien mit Hilfe von Biomolekülen werden entwickelt. Weltweit arbeiten Forscherinnen und Forscher daran, Nanoteilchen als Transportmittel für Medikamente zu gebrauchen. Der Wirkstoff wird in einen Nanocan-tainer verpackt und erst am Einsatzort freigelassen. Damit die Nanoteilchen an den richtigen Ort gelangen, werden sie auf der Aussenhülle mit speziellen Molekülen versehen, beispielsweise Antikörpern. Auf diesen Gebieten wird heute intensiv geforscht. Klinische Anwendungen sind allerdings noch in weiter Ferne.



Die Medizin befasst sich mit der Vorbeugung, Erkennung und Behandlung von Krankheiten und Verletzungen. Aber auch mit Fortpflanzung, Schwangerschaft, Geburt und Tod. Die biomedizinische Forschung versucht, die Ursachen und Mechanismen einer Krankheit zu verstehen, um neue Therapien zu entwickeln. Die Gentechnik spielt dabei eine immer wichtigere Rolle. Einblicke in die moderne Medizin geben fünf Personen, die einen Allgemeinpraktiker aufsuchen.

«Es ist auf jeden Fall richtig, dass du dich beim Arzt angemeldet hast, Silvio.» Silvio ist seinem Freund dankbar für die Unterstützung. Aber das mulmige Gefühl bleibt. Wie konnte er nur so dumm sein. Hastig trinkt er den Kaffee aus. «Schau», fährt dieser fort «wenigstens machst du dir Gedanken darüber. Du kannst die Frau nicht, und ihr habt kein Kondom benutzt. Das war wirklich blöd. Aber noch schlimmer wäre, nun keinen HIV-Test zu machen.» Silvio nickt. «Ich muss los, in zehn Minuten muss ich dort sein.» Auf der Strasse schiessen ihm tausend Gedanken durch den Kopf. Was, wenn ich mich wirklich angesteckt habe? Wenn der Test nur schon vorbei wäre und ich ein negatives Resultat hätte. Wenigstens muss man heute nicht mehr wochenlang warten, da die Viren dank Gentechnik schnell nachweisbar sind. Wenn sie nur keine finden!

Im Wartezimmer spielt ein Mädchen. Eine Frau blättert unkonzentriert in einer Zeitschrift. Sie ist zu unruhig, um die Artikel zu lesen. So kurz vor dem Arztbesuch macht sich Frau Fritsche wieder Sorgen. Vielleicht ist der Befund doch nicht so erfreulich, wie der Spezialist gemeint hat? Sie denkt zurück an ihre Unsicherheit, als der Hausarzt sie vor einem Jahr zur Abklärung überwies. Die Diagnose war ein Schock: Brustkrebs. Das konnte einfach nicht sein. Ausgerechnet sie, die so viele Pläne hatte. Damals war sie gerade in eine neue Wohnung gezogen. Und sie hatte vereinbart, ab April einmal die Woche ihren Enkel zu hüten. Würde sie sich noch darum kümmern können? Die Angst war gross.

Nun, die Ärztinnen und Ärzte hatten sie gut informiert, und die Operation des Tumors verlief ohne Komplikationen. Allmählich wuchs ihre Zuversicht, aber die erste Zeit war schwierig. Sie musste lernen, sich mit der Krankheit auseinanderzusetzen. Der Austausch mit Betroffenen und die Begleitung durch Fachleute halfen ihr. Frau Fritsche staunt im Nachhinein über die Vielfalt an Behandlungsmöglichkeiten. Neben Operation, Chemotherapie und Bestrahlung wird in der Krebsbehandlung auch eine Vielzahl von Medikamenten eingesetzt. Das Ärzteteam hatte ihren spezifischen Krebs sehr genau untersucht. Sogar die Genaktivität in den Tumorzellen wurde analysiert. Dabei wurde festgestellt, dass Frau Fritsche zu dem Viertel der Brustkrebspatientinnen gehört, deren Tumorzellen einen auffälligen Wachstumsrezeptor produzieren, wodurch sich der Tumor schnell vermehrt. Es konnte ihr ein gentechnisch hergestelltes Medikament verabreicht werden, das diese gefährlichen Oberflächenstrukturen auf den Krebszellen unschädlich macht

und die Zerstörung der Tumorzellen durch das Immunsystem fördert. Die auf sie zugeschnittene Behandlung verlief sehr gut.

Frau Fritsche denkt daran, wie viel sich in den letzten 50 Jahren verändert hat. Auch ihr Grossvater war an Krebs gestorben. Damals hatte man das noch nicht so genau gewusst und kaum etwas dagegen unternehmen können. Nicht einmal gegen einfache Infektionskrankheiten war man zu dieser Zeit gewappnet. Wie ihre Grosstante starben viele junge Frauen nach der Geburt an einer Infektion. Und all die Kinder, die an einer Lungenentzündung starben! Wirklich, es hat sich einiges gewandelt. Sie lächelt dem spielenden Mädchen zu.

Die Praxisassistentin kommt ins Wartezimmer und ruft einen Patienten auf. Silvio muss noch warten. Er nimmt sich eine Broschüre vom Tisch, in welcher der Einsatz von Gentechnik in der Medizin thematisiert wird. Die Überschriften erstaunen ihn. Er weiss, dass Gentests Erbkrankheiten diagnostizieren und bei der Suche nach Krankheitserregern helfen. Doch die Broschüre enthält sechs weitere Kapitel. Da geht es um die Untersuchung, welche Medikamente jemand verträgt, oder um die Abklärung von Identitäts- und Verwandtschaftsfragen. Ein weiteres Kapitel erläutert, wie Tests helfen, vermutete Krankheiten zu diagnostizieren bzw. auszuschliessen. Die letzten drei Kapitel thematisieren Genterapien, gentechnikgestützte Erforschung von Krankheiten sowie gentechnisch hergestellte Medikamente und Impfstoffe. Silvio ist überrascht. Gentechnik scheint in vielen Bereichen der Medizin routinemässig im Einsatz zu sein. Das war ihm nicht bewusst.



2.0 Medikamente

Die Gentechnik ist ein unentbehrliches Werkzeug für die Entwicklung und Herstellung von Arzneimitteln. Bei der Suche nach neuen Antibiotika liefern die Genomanalyse und die Proteomik beispielsweise wichtige Hinweise, wo die Bakterien angreifbare Schwachpunkte haben. Viele Arzneien werden gentechnisch hergestellt. Seit 25 Jahren ist gentechnisch erzeugtes Insulin zur Behandlung von Diabetes zugelassen. Gentechnisch hergestellte Proteine sind auch für Menschen mit der Krankheit Hämophilie entscheidend. Den Betroffenen fehlt ein Blutgerinnungsfaktor, wodurch einfache Verletzungen zu bedrohlichen Blutungen führen. Früher erhielten sie den Gerinnungsstoff aus Spenderblut, was zu mehreren Aids-Ansteckungen führte. Dank der Gentechnik ist diese Gefahr gebannt. Neben der Sicherheit wurde auch die Produktionskapazität erhöht. Der weltweite Jahresbedarf an Insulin liegt bei 2000kg. Früher erfolgte die Gewinnung aus Schlachtvieh. Aus einer Tonne tierischen Bauchspeicheldrüsen lassen sich jedoch nur 125g Insulin gewinnen. Eine Produktion für alle Diabetikerinnen und Diabetiker wäre kaum möglich.

Therapeutische Proteine dank Gentechnik

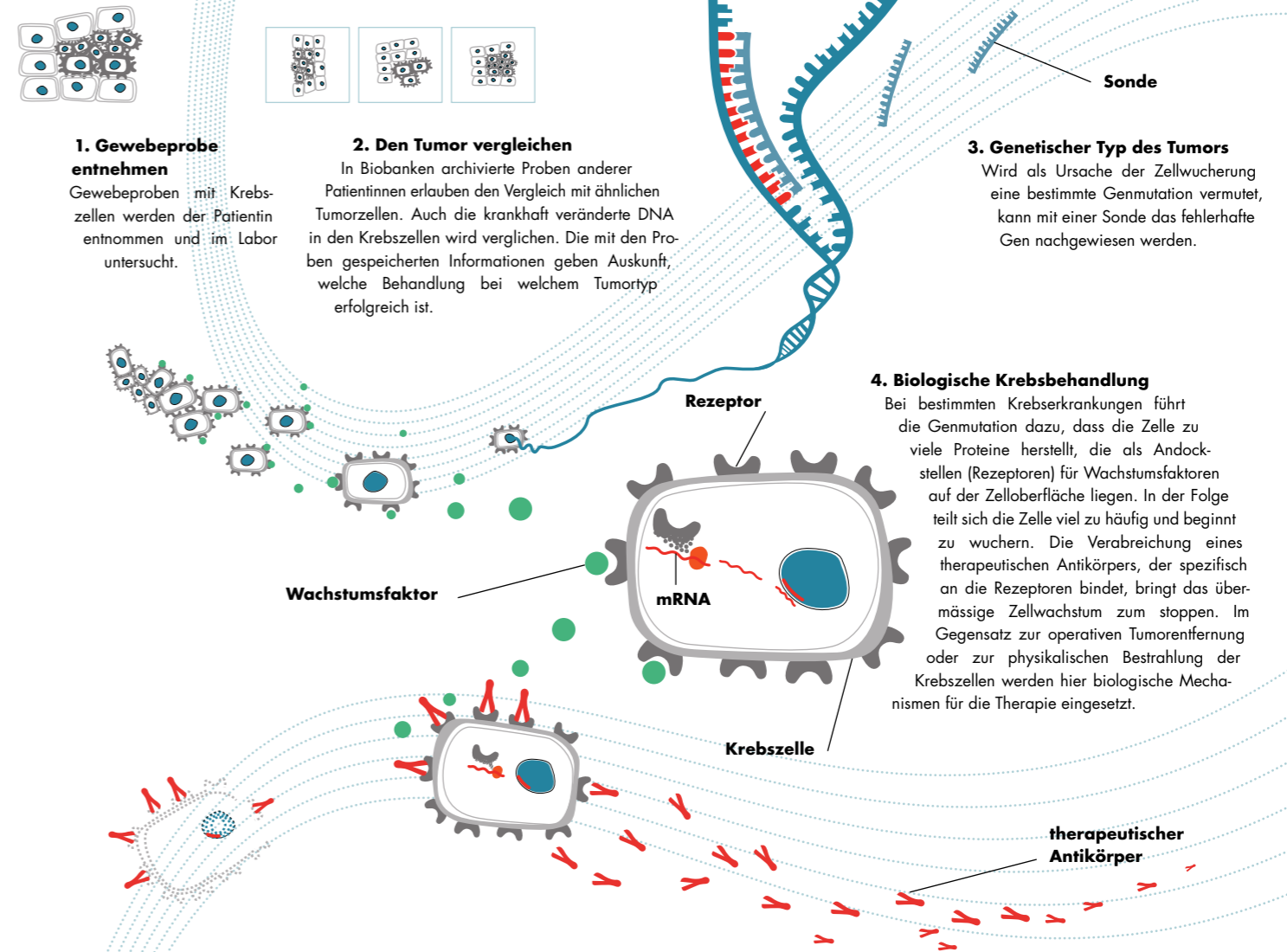
Gentechnisch hergestellte Proteine können in Krankheitsmechanismen eingreifen. Das Hormon Erythropoietin, kurz Epo genannt, wurde zur Behandlung von Nierenversagen entwickelt und wird heute in mehreren Formen zur Therapie gegen Blutarmut eingesetzt. Die Lebensqualität von Dialyse-Patientinnen und -Patienten hat sich dadurch stark verbessert. Ein anderes Gentech-Medikament ist Interferon, das Infektionen und Tumorzellen bekämpft. Interferone werden bei der Behandlung von Krebs, Hepatitis oder multipler Sklerose eingesetzt. Bei der Schuppenflechte, einer chronischen Erkrankung der Haut, stoppt ein Protein aus transgenen Zellkulturen die falsch alarmierten

Immunzellen, die in der Haut zu den Krankheitssymptomen führen. Heute sind in der Schweiz rund 100 gentechnisch hergestellte Arzneimittel zugelassen. Fachleute schätzen, dass ein Drittel der Medikamente, die zurzeit entwickelt werden, auf Gentechnologie basieren. Da auch von biotechnologischer Herstellung gesprochen wird, nennt man sie Biologika oder Biologics.

Wirkstoffe aus Tier- und Pflanzenzellen

Die Produktion von menschlichen Proteinen in transgenen Bakterien war revolutionär. Trägt das Protein jedoch komplexe Oberflächenstrukturen, z. B. angehängte Zuckerketten, geraten die Bakterien als relativ simple Proteinfabriken an ihre Grenzen. In diesem Fall werden Hefe- oder Säugetierzellen verwendet. Eine andere Möglichkeit bietet das Pharming (auch Farming), bei dem Pflanzen und Tiere als Produktionsstätte dienen. Geforscht wird zurzeit an Tabakpflanzen, deren Zellen einen Wirkstoff gegen Borreliose, eine von Zecken übertragene Infektionskrankheit, herstellen. Auch könnten schon bald Medikamente auf den Markt kommen, die in der Milch von transgenen Ziegen produziert wurden.

Seit Tagen überlegt Frau Fritsche, ob sie an einer Studie zu einer neuartigen Krebsbehandlung teilnehmen soll. Die Möglichkeit, dass ihr Brustkrebs trotz der Operation nicht ganz besiegt ist und unbemerkt noch Tumorzellen vorhanden sein könnten, beschäftigt sie. Die neue Behandlung verspricht, die Gefahr eines erneuten Ausbruchs zu senken. Frau Fritsche ist sich jedoch bewusst, dass auch Nebenwirkungen auftreten können. Allmählich reift ihr Entschluss. Sie hat die Chancen und Risiken aus ihrer persönlichen Lebenssicht abgewogen und entscheidet sich zur Teilnahme an der Studie.



2.1 Forschung am Menschen

Dank des medizinischen Fortschritts können heute unzählige Krankheiten und Verletzungen behandelt oder geheilt werden. Neue Therapien werden – nachdem sie im Labor und an Tieren geprüft wurden – in klinischen Studien getestet. Aufgrund der Patientensicherheit und ethischer Überlegungen untersteht solche Forschung am Menschen strengen Richtlinien, den sogenannten «Good Clinical Practice».

Vom Nutzen biologischer Sammlungen

Forschung am Menschen hilft, Krankheiten zu verstehen. Zum Beispiel multifaktorielle Krankheiten, bei denen sowohl Gene als auch äussere Faktoren wie der Lebensstil eine Rolle spielen. Um den Einfluss der einzelnen Krankheitsfaktoren zu analysieren, werden Patientendaten (Alter, Gewicht, Gewohnheiten etc.) und Gewebeprobe gesammelt. Eine systematische Sammlung von Proben wie Blut, Tumorgewebe oder DNA und zugehörige medizinische Angaben bezeichnet man als Biobank.

Die Auswertung der Daten erlaubt, das Auftreten von Krankheiten wie Krebs, Herz-Kreislauf-Leiden oder Asthma besser zu verstehen.

Bestimmung der individuellen Medikamentendosis

Medikamente treten im Körper mit vielen Proteinen in Kontakt. Enzyme können Medikamente binden und sie in der Leber deaktivieren. Die Aktivität der einzelnen Enzyme ist je nach genetischem Code von Mensch zu Mensch verschieden. Daher wird ein Medikament bei einer Person langsam und bei einer anderen schnell abgebaut. Im zweiten Fall muss eine höhere Dosis verschrieben werden, damit die Arznei richtig wirkt. Dieses Gebiet heisst Pharmakogenetik. Zu welcher Kategorie ein Mensch gehört, kann der Arzt oder die Ärztin mit einem DNA-Chip testen, der die Genvarianten bestimmter Leberenzyme untersucht.



2.2 Gentherapie

Das Prinzip einer Gentherapie ist in der Theorie einfach: Krankheiten, die aufgrund einer Mutation im Erbgut entstehen, werden durch Einschleusen eines gesunden Gens in die Zelle therapiert. Krankheiten können so ursächlich bekämpft werden. Man unterscheidet zwischen der somatischen Gentherapie, die nur Körperzellen gentechnisch verändert, und der Keimbahntherapie. Eine Keimbahntherapie, die auch Ei- und Samenzellen betrifft, würde Auswirkungen auf alle Nachkommen haben. Sie wird aus ethischen Überlegungen abgelehnt.

Viren als Gentaxis

Es gibt zwei Arten der Gentherapie: Die erste ist die Ex-vivo-Therapie. Hier werden dem Patienten oder der Patientin Zellen entnommen. Im Labor wird das fehlerhafte Erbgut in den Zellen korrigiert. Die gentechnisch veränderten Zellen werden dann wieder in den Körper injiziert. Bei der zweiten Gentherapie handelt es sich um die In-vivo-Therapie. Hier werden Gene direkt im Körper in die Zellen eingeschleust. Bei beiden Verfahren dient ein Virus als Gentaxi. Viren können Zellen dazu bringen, die Viren-DNA ins Genom einzubauen. Diese Fähigkeit wird genutzt, um das therapeutische Gen in die kranken Körperzellen zu transportieren.

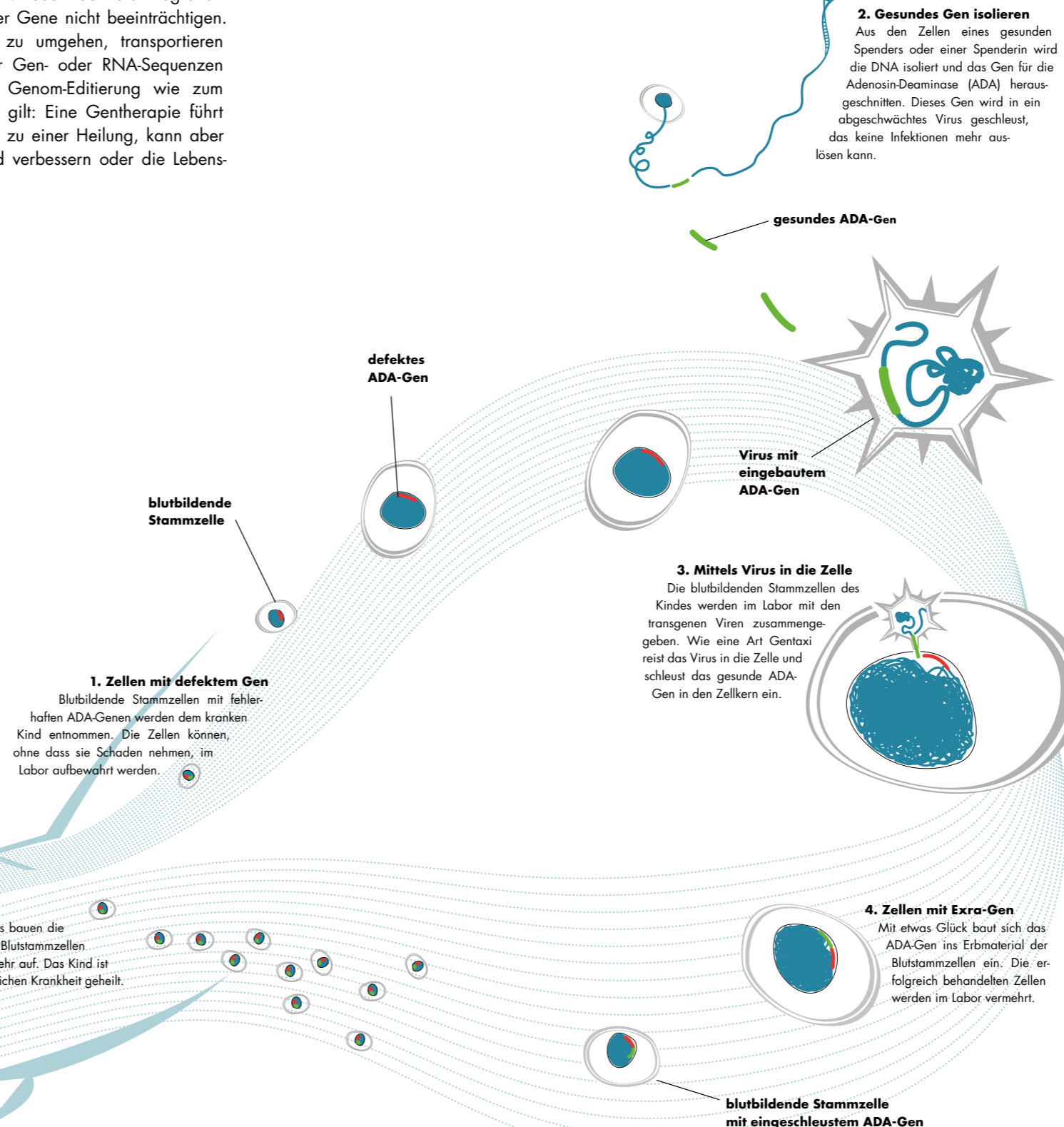
Hoffnungsvoller Weg mit Rückschlägen

Die erste Gentherapie wurde 1990 in den USA an einem vierjährigen Mädchen durchgeführt, das an einer angeborenen Immunschwäche litt. Verursacht wird diese Krankheit durch einen Gendefekt des Enzyms Adenosin-Desaminase (ADA). Fehlt dieses Enzym, sammeln sich im Blut schädliche Abbauprodukte an, wodurch wichtige Zellen des Immunsystems zerstört werden. Dadurch wird jede Infektion lebensgefährlich. Mit Hilfe der Gentherapie konnten betroffene Kinder geheilt werden. Allerdings erkrankten einige in der Folge an Leukämie, worauf die Behandlungen gestoppt wurden. Dieses Beispiel zeigt, wie wichtig es ist, vor jeder Gentherapie Nutzen und Risiken sorgfältig abzuwägen. Inzwischen wurden die Zusammenhänge untersucht und Verbesserungen der Therapie vorgenommen.

Fortschritte trotz Hürden

In den letzten Jahren hat die Gentherapie zahlreiche Fortschritte gemacht. Am idealen Gentaxi wird aber immer noch geforscht. Eine der Herausforderungen ist das Einschleusen der therapeutischen Gene in die Körperzellen. Zudem darf die Integration ins Genom die Funktion anderer Gene nicht beeinträchtigen. Um diese Herausforderungen zu umgehen, transportieren moderne Gentaxis immer öfter Gen- oder RNA-Sequenzen für Werkzeuge zur gezielten Genom-Editierung wie zum Beispiel CRISPR/Cas. Generell gilt: Eine Gentherapie führt derzeit in den seltensten Fällen zu einer Heilung, kann aber die Lebensqualität entscheidend verbessern oder die Lebenserwartung verlängern.

Ex-vivo-Gentherapie bei fehlerhaftem ADA-Gen



Schon gewusst?

Gentaxis können auch Lipide oder Nanopartikel sein.

Schon gewusst?

Heute kommen bei Gentherapien immer öfter Genschere zum Einsatz. Diese Werkzeuge ermöglichen eine stabile und präzise Integration des gewünschten Gens im Erbgut.

2.3 Impfstoffe und Antikörper

Vorbeugen ist besser als heilen oder anders gesagt: Impfen ist besser als krank werden. Vor allem bei lebensbedrohlichen Krankheiten. Es gibt zwei Arten von Impfungen. Bei der aktiven Immunisierung wird der Körper angeregt, Antikörper gegen den Erreger aufzubauen. Die passive Impfung ist eine Notfallmassnahme. Hier werden direkt Antikörper gespritzt, z.B. wenn eine Starrkrampfinfektion droht. Früher mussten die Antikörper aus menschlichen Blutspenden gewonnen werden. Heute werden sie auf gentechnischem Weg hergestellt. Man spricht von monoklonalen Antikörpern. Mit Hilfe der Gentechnik können auch die für die aktive Immunisierung benötigten Bruchstücke des Erregers (Antigene) im Labor hergestellt werden. 1985 wurde der erste gentechnisch hergestellte Impfstoff zugelassen. Er schützt die geimpften Personen vor Hepatitis B, die unbehandelt zu Gelbsucht und Leberkrebs führt. Antikörper helfen neuerdings auch bei der Behandlung von chronischen Krankheiten. Bereits sind 18 gentechnisch hergestellte Antikörper als Therapeutika zugelassen, etwa gegen Rheuma oder Allergien. Ein weiteres Beispiel ist ein Antikörper, der krankhafte Veränderungen im Auge bremst und damit das Sehvermögen bei älteren Menschen erhält.

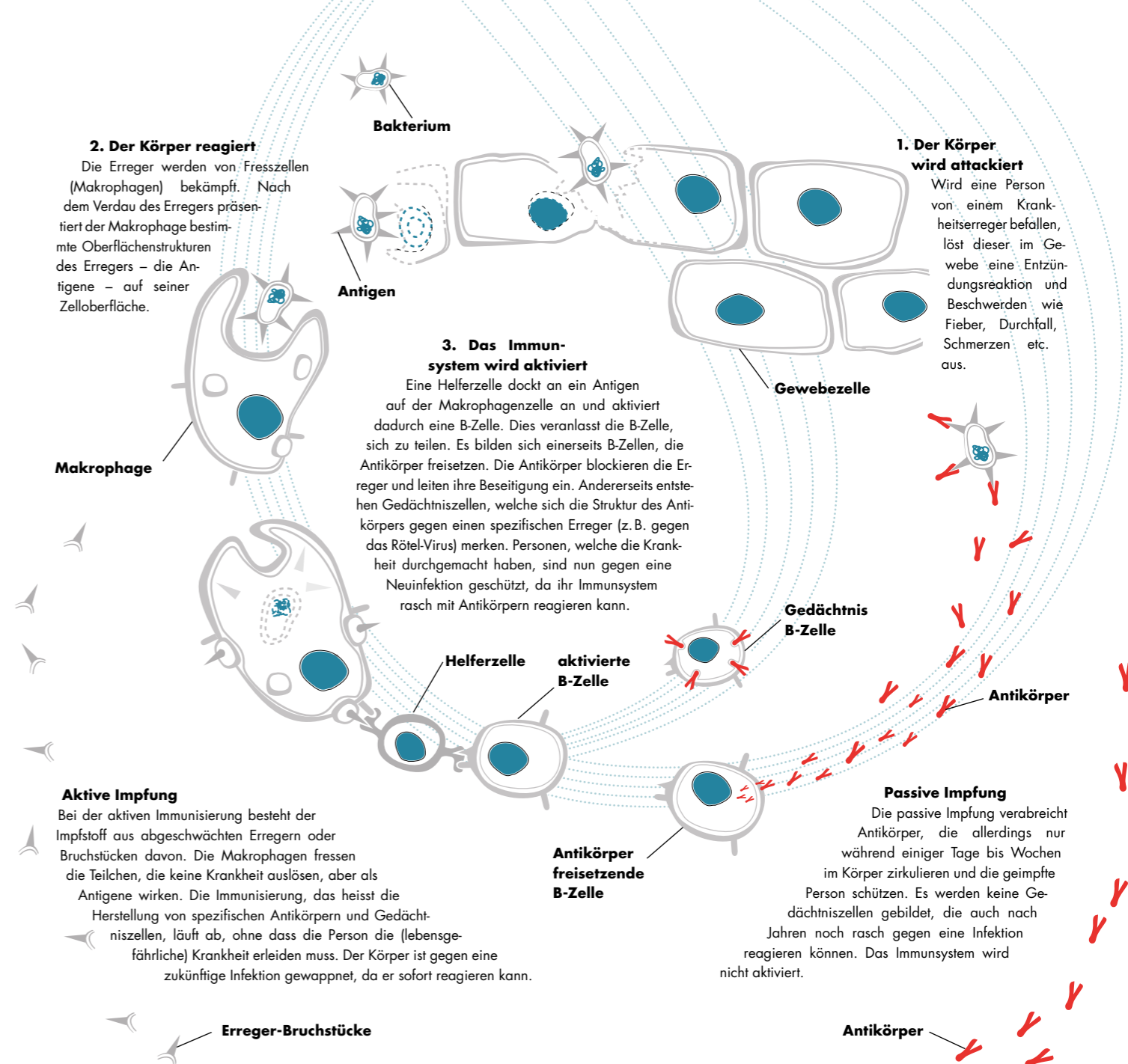
Anna findet impfen doof. Doch Papa hat erklärt, dass die Spritze vor einer Krankheit schützt, bei der sie im Bett bleiben müsste und vielleicht eine gefährliche Gehirnentzündung bekäme. Anna versteht das nicht ganz. Aber Papa hat ihr auch gesagt, dass sie ein neues Bilderbuch bekommt, wenn sie beim Impfen tapfer sei. Das hat Anna sehr gut verstanden.

Optimierte Impfungen

Die Forschung versucht laufend, Impfstoffe zu verbessern. Zum Beispiel gegen Malaria, an der jährlich drei Millionen Menschen sterben. Hier liefert die Sequenzierung des Erbgutes des Erregers die Grundlage für neue Wirkstoffziele. Nicht zuletzt dank Gentechnik kann heute auch effizienter auf neue Erreger wie Sars oder (Vogel-)Grippe-Viren reagiert werden. Ein neuer Ansatz erprobt, DNA-Stücke des Erregers als Impfstoff zu verwenden. DNA-Vakzine haben den Vorteil, dass sie nur einmal verabreicht werden müssen und einfacher lagerbar sind. Für die Länder des Südens wäre dies von grosser Bedeutung.

Impfen gegen Krebs

Impfungen kennen wir vor allem gegen Kinderkrankheiten und als Schutzmassnahme bei Auslandsreisen. Doch die Forschung arbeitet auch an Impfungen gegen Krebs, Diabetes oder Alzheimer, um nur einige zu nennen. Seit kurzem ist eine Immunisierung gegen Gebärmutterhalskrebs möglich. Dies ist die zweithäufigste Krebsart bei Frauen, im Schnitt erkrankt in der Schweiz täglich eine Frau. Das Spezielle an diesem Krebs: Er wird grösstenteils vom Papilloma-Virus (HPV) ausgelöst. Der gentechnisch hergestellte Impfstoff schützt gegen vier Virentypen und verhindert rund 70% der Krebsfälle. Allerdings wirkt die Impfung nur bei Frauen, die noch nicht mit dem Virus in Kontakt gekommen sind, so dass eine Immunisierung vor dem ersten Geschlechtsverkehr stattfinden sollte.



2.4 Nachweisverfahren

Zur Diagnose von Infektionskrankheiten müssen Erreger aus dem Blut, Urin oder Stuhl des Patienten oder der Patientin gezüchtet oder spezifische Antikörper identifiziert werden. Diese Verfahren sind teilweise sehr langwierig. Heute kommen oft gentechnische Verfahren zum Einsatz, die das Erbgut des Erregers nachweisen. Diagnosen können so schneller und zuverlässiger gestellt werden. Ein Beispiel: Zwischen dem Zeitpunkt einer HIV-Infektion und dem nachweisbaren Auftreten von HIV-Antikörpern können einige Wochen verstreichen. Dem-

gegenüber ist der gentechnische Test, bei dem DNA-Stücke des HI-Virus aufgespürt werden, bereits kurze Zeit nach der Ansteckung zuverlässig. Auch wenn der Erreger bekannt ist, ist die Anwendung gentechnischer Methoden hilfreich. Die Analyse der HI-Viren zeigt beispielsweise, ob es sich um eine genetische Variante des Virus handelt, die gegen bestimmte Medikamente resistent ist. Dadurch kann die Behandlung angepasst werden.



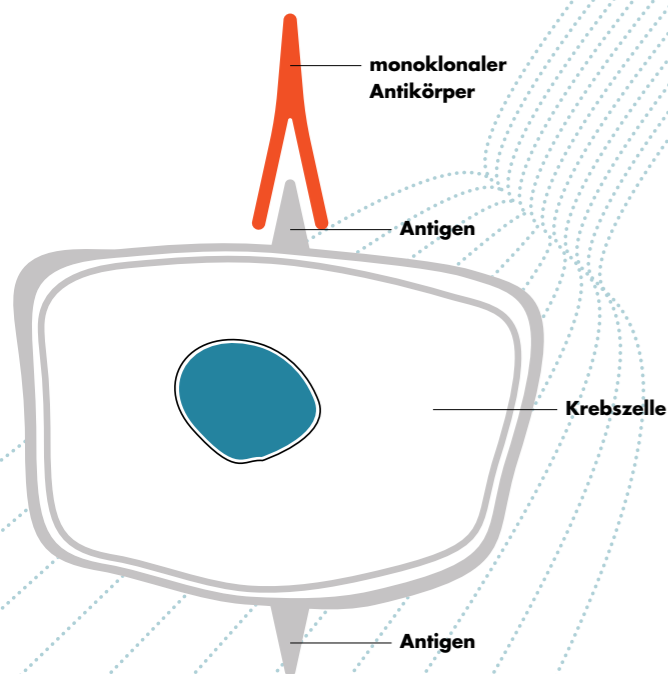
2.5 Krebsimmuntherapie

Mithilfe des eigenen Immunsystems Krebs zu bekämpfen – davon haben Forscher lange Zeit geträumt. Heute gilt die Krebsimmuntherapie als Hoffnungsträger der Medizin. Doch die Therapien wirken nicht immer. Klinische Studien werden in den nächsten Jahren einige offene Fragen klären. Ungeachtet dessen ist die Medizin um vielversprechende Therapien reicher geworden.

Immunsystem und Krebs

Unser Immunsystem funktioniert als Abwehrsystem gegen unerwünschte Eindringlinge wie Bakterien, Viren oder Pilze. Es kann aber auch veränderte Zellen in unserem Körper aufspüren und diese eliminieren. Krebszellen sind normale Zellen, die sich genetisch oder epigenetisch verändert haben und sich so unkontrolliert vermehren. Erst einmal in gesundes Gewebe eingedrungen, können Krebszellen dieses verdrängen und zerstören. Sind wir an Krebs erkrankt, reicht die natürliche Immunabwehr in der Regel nicht aus, um alle abnormalen Zellen zu bekämpfen. Darüber hinaus werden Krebszellen zwar von unserem Immunsystem erkannt, aber nicht zerstört. Ein Geheimnis, das erst in den 1990er-Jahren gelüftet wurde und damit den Startschuss für die Krebsimmuntherapie auslöste:

Passive Krebsimmuntherapie



Die Forscher James P. Allison und Tasuku Honjo fanden heraus, dass bestimmte Proteine wie eine Bremse auf das Immunsystem wirken und so die Bekämpfung von Krebszellen durch das eigene Immunsystem verhindern. Zu diesen Proteinen zählen PD-L1 oder CTLA-4. Für ihre bahnbrechende Entdeckung wurden die Forscher im Jahr 2018 mit dem Medizin-Nobelpreis ausgezeichnet. In der Krebstherapie verfolgt man heute zwei Ansätze: Die passive Immuntherapie setzt auf die direkte Zerstörung von Krebszellen, die aktive Immuntherapie hingegen stärkt das Immunsystem und greift die Krebszellen somit indirekt an.

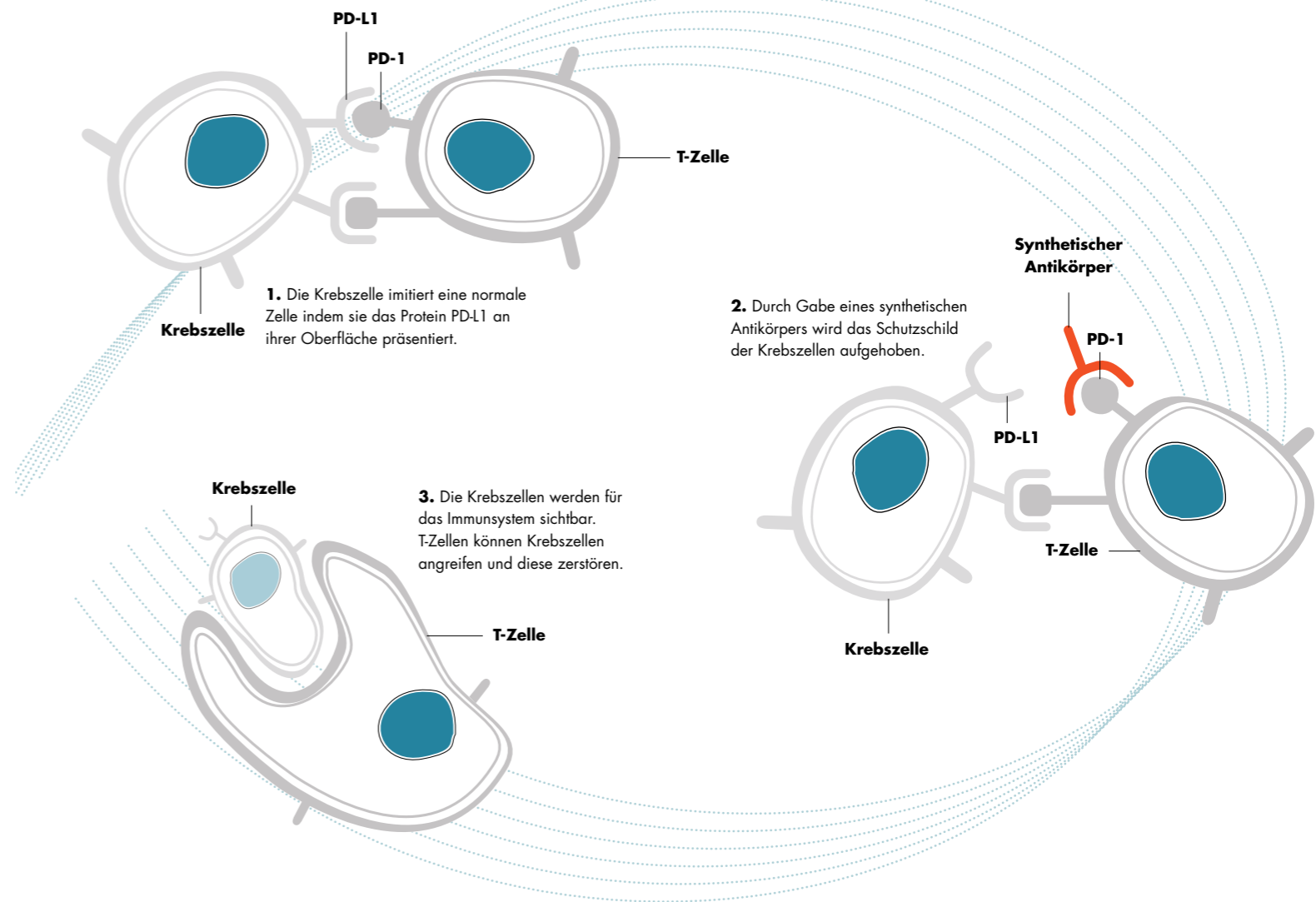
Die passive Krebsimmuntherapie

Bei der passiven Krebsimmuntherapie müssen Forscher genau verstehen, wie sich die Oberflächenproteine von Krebszellen, die sogenannten Antigene, von normalen Zellen unterscheiden. Bei Antigenen handelt es sich also um Proteinfragmente, die in der Zelle produziert und an der Zelloberfläche präsentiert werden. Mit diesem Wissen können spezifische Proteine, sogenannte monoklonale Antikörper, hergestellt werden. Monoklonale Antikörper binden selektiv Antigene auf Tumorzellen. Entscheidend ist, dass sich Antigene von Krebszellen in ihrem Aufbau von denen normaler Zellen unterscheiden. Zudem werden bestimmte Gene in den Krebszellen häufiger abgelesen, was zu einer erhöhten Proteinproduktion führt. Die monoklonalen Antikörper erkennen diese Unterschiede und können sich gezielt an Krebszellen anheften und deren Zerstörung einleiten oder das Wachstum der Zellen verlangsamen. Der erste therapeutische Antikörper wurde im Jahr 1997 zugelassen. Monoklonale Antikörper werden heute erfolgreich bei der Behandlung von Leukämien oder Lymphomen eingesetzt. Für die Behandlung solider Tumore sind monoklonale Antikörper weitgehend ungeeignet.

Eingriff in die Immunregulation

Bei der aktiven Krebsimmuntherapie wird das Immunsystem als Ganzes oder bestimmte Zielzellen des Immunsystems dazu angeregt, Krebszellen anzugreifen. Die Idee, unsere Selbstheilungskräfte zu aktivieren, um Krankheiten zu bekämpfen, ist über 100 Jahre alt. Vielversprechend sind Therapien, die die Bindung von Krebszellen an sogenannte Checkpoints wie PD1 oder CTLA-4 verhindern. Diese Bindung nutzen Krebszellen, um gesunde Zellen zu imitieren. Das macht Krebszellen unsichtbar für unser Immunsystem. Künstlich hergestellte Antikörper wie etwa Ipilimumab oder Nivolumab können anstelle der Krebszellen an Checkpoints binden und so das Schutzschild der Krebszellen neutralisieren. So ermöglichen die Medikamente die Kommunikation zwischen Immun- und Krebszellen, was schliesslich zu ihrer Zerstörung führt. Insbesondere beim schwarzen Hautkrebs (Melanom) konnten erstaunliche Therapieerfolge erzielt werden. Nun gilt es, die Nebenwirkungen wie Entzündungen und Autoimmunreaktionen besser zu verstehen und zu verhindern.

Aktive Krebsimmuntherapie



Adoptiver Zelltransfer mit CAR-T-Zellen

Eine vielversprechende Methode in der aktiven Krebsimmuntherapie basiert auf einer Kombination aus Gen- und Zelltherapie. Bei der sogenannten CAR-T-Therapie werden Patienten bestimmte Zellen des Immunsystems, die T-Zellen, entnommen und im Labor genetisch modifiziert. Die patienteneigenen T-Zellen werden mit einem speziellen Protein, dem chimären Antigenrezeptor (CAR) ausgerüstet. CAR besitzt die Fähigkeit, Antigene auf Krebszellen gezielt zu erkennen und zu binden. So werden Krebszellen vernichtet. Die angepassten CAR-T-Zellen werden im Labor vermehrt und dem Patienten anschliessend

per Infusion wieder zurückgegeben. Aufgrund der starken Nebenwirkungen werden diese Therapien gegenwärtig nur bei austherapierten Patienten eingesetzt. Dort können sie wahre Wunder vollbringen: Bisher unheilbar kranke Krebspatienten können geheilt werden. Die an akuter lymphatischer Leukämie erkrankte Emily Whitehead war die erste Patientin, die im Jahr 2012 von der CAR-T-Therapie profitieren konnte. Die damals erst sechsjährige Amerikanerin gilt heute als kreisfrei. CAR-T-Therapien werden bei verschiedenen Blutkrebsarten erfolgreich eingesetzt.

2.6 Vererbung

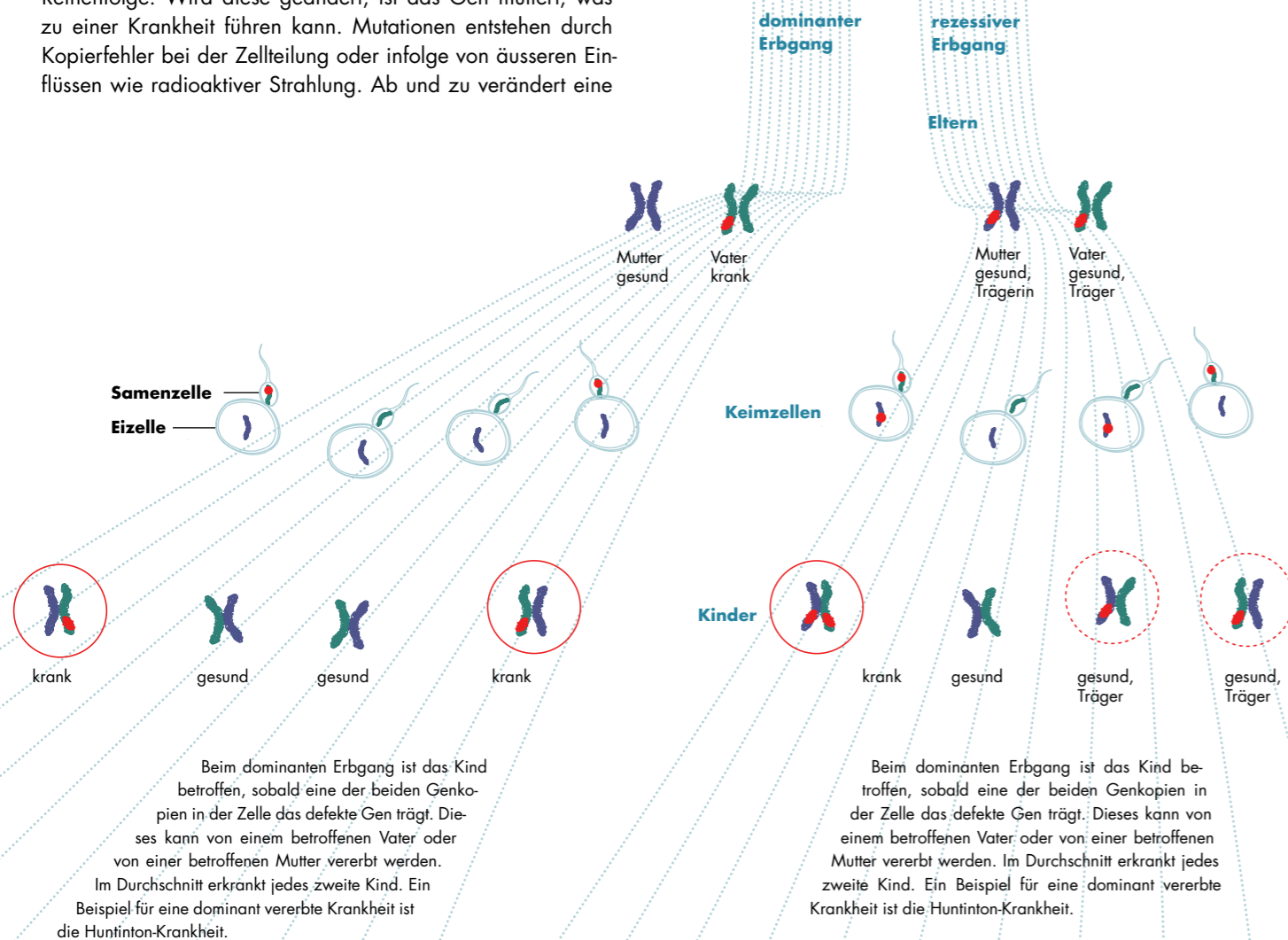
Familienmitglieder gleichen sich. Kinder sehen aber nie gleich aus wie ihre Eltern. Der Grund liegt in der Neukombination der elterlichen Gene bei der Vererbung. Beide Elternteile liefern in der Ei- bzw. Spermazelle einen halbierten Chromosomensatz. Durch die Verschmelzung von Ei- und Spermazelle erhält das Kind wieder ein vollständiges Genom. Entscheidend ist, dass Gene in verschiedenen Varianten vorliegen können, man spricht von Allelen. Beim Gen, das die Blutgruppe bestimmt, unterscheidet man z. B. drei Allele: A, B, Null. Da wir Gene vom Vater und von der Mutter erben, liegt jedes Gen zwei Mal vor – die Allelausprägung kann zwei Mal gleich oder verschieden sein, also z. B. AA oder AO. Das dominante Allel A setzt sich gegenüber dem rezessiven Allel Null durch. Ein Kind mit den Allelen A und Null hat daher die Blutgruppe A. Blutgruppe Null tritt nur auf, wenn das Kind zwei Allele Null geerbt hat.

Mutationen als Motor der Evolution

Jedes Gen besteht aus DNA-Bausteinen in einer bestimmten Reihenfolge. Wird diese geändert, ist das Gen mutiert, was zu einer Krankheit führen kann. Mutationen entstehen durch Kopierfehler bei der Zellteilung oder infolge von äusseren Einflüssen wie radioaktiver Strahlung. Ab und zu verändert eine

Mutation ein Gen so, dass ein verbessertes Eiweiss entsteht. Zum Beispiel ein Protein, das mehr Sauerstoff speichern kann. Dadurch wird das Lebewesen fitter. Im Laufe der Evolution haben Mutationen zu neuen Lebensformen geführt. Tiere mit einer Genveränderung für weisses Fell hatten beispielsweise einen Vorteil in schneebedeckten Gebieten und bildeten mit der Zeit eine neue Art.

Das Ehepaar Schneider ist besorgt. Sie wissen, dass sie Träger der Erbanlage für cystische Fibrose sind. Von dieser rezessiven Krankheit ist eine von 2500 Personen betroffen. Ob das Kind, das sie erwarten, auch dazugehört? Betroffene leiden an einer Verschleimung der Lungen, was zu Atemproblemen und schweren Entzündungen führt. Ob der Fötus das mutierte Gen trägt, kann mit einem Gentest geprüft werden. Schneiders sind unsicher, ob sie das wollen. Sie hoffen, im Gespräch mit einer Fachperson für medizinische Genetik Klarheit zu erhalten.



2.7 Gentests

Die meisten Gentests werden an Personen durchgeführt, die Krankheitssymptome aufweisen. Das Wissen um die genetischen Ursachen hilft, die Krankheit zu verstehen und ihren Verlauf abzuschätzen. In der Krebsbehandlung spielen diagnostische Gentests eine wichtige Rolle. Denn je nach Gendefekt sprechen die Krebszellen auf andere Medikamente an. Neben den diagnostischen gibt es auch prädiktive (vorausschauende) Tests. Diese spüren Krankheiten auf, die noch nicht ausgebrochen sind, etwa die dominant vererbte Huntington-Krankheit. Diese führt zu einem Nervenabbau mit schweren Beeinträchtigungen für die Betroffenen. Da es keine Vorbeugung gibt, ist das Wissen um die Mutation äusserst belastend, kann aber für die Lebensplanung wichtig sein. Bei Erbkrankheiten, deren Ausbruch sich verhindern lässt, sind prädiktive Gentests ein grosser Vorteil. Z. B. bei der Stoffwechselkrankheit Phenylketonurie, auf die in der Schweiz alle Neugeborenen untersucht werden.

Genetische Tests vor der Geburt

Unter pränataler Diagnostik versteht man Untersuchungen, um gewisse Krankheiten beim ungeborenen Kind nachzuweisen bzw. auszuschliessen. Gibt es in der Verwandtschaft Erbkrankheiten oder liegt ein anderweitiger Verdacht vor, kann das Erbmaterial des Fötus untersucht werden. Im Falle eines krankhaften Befundes haben die Eltern in der Regel nur zwei Möglichkeiten: Sie entscheiden sich für das Leben mit dem kranken oder behinderten Kind oder für einen Schwangerschaftsabbruch.

Ethik

Gentests unterscheiden sich von anderen medizinischen Diagnosen: Ihre Aussagen sind über lange Zeiträume gültig und können auch Verwandte betreffen. Das durch Gentests erworbene Wissen um eine schwere Erbkrankheit hat Folgen für die persönliche Lebens- und Familienplanung. Der Umgang mit Krankheitsprognosen ist individuell sehr verschieden. Es gibt Betroffene, welche die Möglichkeit von Gentests schätzen und diese als Zunahme ihrer selbstbestimmten Lebensführung erleben. Andere ziehen es vor, nicht abzuklären, ob sie das Risiko tragen, am schweren Erleiden in ihrer Familie zu erkranken. Aus ethischer Sicht ist zu fordern, dass sich Betroffene nur nach gründlicher Information für oder gegen einen Test entscheiden (informed consent). Denn es gibt auch ein Recht auf Nichtwissen. Betroffenen muss eine umfassende ärztliche Beratung und Begleitung angeboten werden. Liegen Resultate aus Gentests vor, die eine spätere Erkrankung erwarten lassen, ist zu gewährleisten, dass diese nicht zu Diskriminierungen im Versicherungswesen und auf dem Arbeitsmarkt führen. Diese Grundsätze sind in der Schweiz gesetzlich verankert.

2.8 Fortpflanzungsmedizin

Seit 1978 ist die In-vitro-Fertilisation für kinderlose Paare eine Möglichkeit, eine Schwangerschaft herbeizuführen. Bis heute sind mehr als fünf Millionen im Labor gezeugte Kinder auf die Welt gekommen. In der Schweiz kommen jährlich rund 2000 Kinder auf die Welt, die künstlich gezeugt wurden. Die In-vitro-Fertilisation ist keine Anwendung der Gentechnik, sondern ermöglicht die Zeugung durch direktes Zusammenbringen von Eizelle und Spermium. Um die Zeugung im Labor durchzuführen, werden die Eizellen der Frau via Operation entnommen. Ein bis drei Embryonen werden einige Tage nach der Befruchtung in die Gebärmutter übertragen. Wie auch bei der natürlichen Fortpflanzung nistet sich nicht jeder Embryo in der Gebärmutter ein.

Untersuchung des Allerkleinsten

Im Gegensatz zu Embryonen im Mutterleib können Embryonen in vitro im frühesten Entwicklungsstadium vom Arzt oder der Ärztin untersucht werden. Neben der äusserlichen Untersuchung mit dem Mikroskop – die Embryonen sind zu klein, um sie von blossen Auge zu sehen – gibt es genetische Tests. Das Verfahren heisst Präimplantationsdiagnostik (PID). Dem wenige Tage alten Embryo wird eine Zelle entnommen, deren Erbmaterial auf genetische Auffälligkeiten untersucht wird. Der Embryo entwickelt sich trotz des Zellverlustes weiter.

Ethik

Im Ausland wird die PID seit 1990 praktiziert. In der Schweiz ist die PID für Paare, die Träger schwerer Erbkrankheiten sind oder auf natürlichem Weg keine Kinder zeugen können, seit dem 1.9.2017 in akkreditierten Fortpflanzungszentren erlaubt. Aus ethischer Sicht müssen wichtige Gründe vorliegen, um Embryonen bei einem negativen Resultat absterben zu lassen, anstatt sie in die Gebärmutter einzupflanzen. Handelt es sich dabei um Embryonen ohne Entwicklungschancen oder mit tödlich verlaufenden Krankheiten? Werden gesunde Embryonen verworfen, um einem kranken Geschwister eine Zelltransplantation zu ermöglichen? Wie viel psychischen und physischen Schaden kann man den Eltern zumuten? Ein wichtiger Punkt hierbei ist die Einschätzung der PID im Vergleich zur Pränataldiagnostik (PND). Bei der PID wird ein im Labor gezeugter kranker oder behinderter Embryo von der Übertragung in die Gebärmutter ausgeschlossen. Im Gegensatz dazu wird eine PND während der Schwangerschaft durchgeführt.

Anwendungen der Präimplantationsdiagnostik

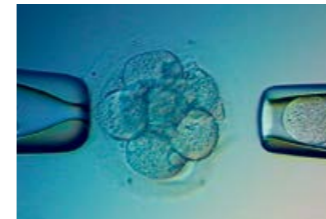
Gibt es in der Familie Erbkrankheiten, kann untersucht werden, ob der Embryo das mutierte Gen trägt. Mit Hilfe der PID können betroffene Paare Embryonen auswählen, welche die Krankheit nicht tragen. Die anderen Embryonen sterben im frühesten Entwicklungsstadium ab. Die PID-Untersuchung zeigt auch, ob überzählige oder unterzählige Chromosomen vorliegen. Die meisten dieser Auffälligkeiten, Monosomien und Trisomien genannt, führen zum Absterben des Embryos während der Schwangerschaft. Die PID ermöglicht, Embryonen ohne Überlebenschance zu erkennen und nicht in die Gebärmutter einzupflanzen. Damit wird die Zahl der Fehlgeburten nach einer In-vitro-Fertilisation gesenkt.

Die PID erlaubt auch die Zeugung sogenannter Retter-Babys. Diese Kinder sind nicht gentechnisch verändert. Vielmehr wird mit Hilfe der PID ein Embryo ausgewählt, dessen Gewebe zu einem bereits geborenen, schwerkranken Geschwister passt. Nach der Geburt des Retter-Babys werden Zellen aus seinem Nabelschnurblut oder aus dem Knochenmark für die Heilung des kranken Geschwisters eingesetzt.

Wird beim Embryo oder Fötus im Mutterleib eine schwere Krankheit oder Behinderung diagnostiziert, entscheidet sich das Paar in den meisten Fällen für eine Abtreibung. Die ethische Beurteilung von PID und PND unterscheidet sich in wesentlichen Punkten. Etwa bei der Belastung für die Frau, die möglichst zu vermeiden ist, oder bei der unterschiedlichen Situation der Entscheidung über einen Embryo ausserhalb der Gebärmutter oder im Mutterleib. Für Paare mit schweren Erbkrankheiten kann die PID ein Segen sein. Auch die Anzahl Fehlgeburten nach In-vitro-Fertilisationen wird durch die PID gesenkt. Diese neuen Möglichkeiten mit Nutzen für Patientinnen und Kinder verlangen angepasste Regelungen. Doch wie sollen die Argumente für und gegen die PID im Einzelfall verantwortungsvoll gewichtet werden? Besteht die Gefahr, dass die PID mit der Zeit auf immer mehr auch weniger schwere Krankheiten ausgeweitet wird? Wer soll entscheiden, ob die Anwendung der PID für die konkrete Situation eines Paares gerechtfertigt ist oder nicht?

Präimplantationsdiagnostik

Das Bild zeigt einen menschlichen Embryo ungefähr am dritten Tag seiner Entwicklung, dem mit einer Saugpipette eine Zelle entnommen wurde. Das Foto wurde mit Hilfe eines Mikroskops gemacht. Von blossen Auge ist der Embryo unsichtbar oder höchstens als winziges Pünktchen zu erkennen. Anhand des Erbmaterials der entnommenen Zelle kann ein im Labor gezeugter Embryo vor der Übertragung in die Gebärmutter genetisch untersucht werden.



2.9 Gerichtsmedizin

Die Polymerase Chain Reaction (PCR) dient der Herstellung messbarer DNA-Mengen (siehe Kapitel 1.2). Mit der PCR-Methode können winzige Spuren von DNA vervielfältigt und dadurch einer Analyse zugänglich gemacht werden. In der Gerichtsmedizin wird dieses Verfahren angewandt, um eine kriminelle Person aufgrund ihres genetischen Fingerabdrucks zu überführen bzw. eine unschuldige Person zu entlasten. Wird eine Person verdächtigt, ein Sexualverbrechen begangen zu haben, wird ihre DNA analysiert. Der Vergleich ihres genetischen Profils mit jenem aus Blut- oder Samenzellen, die beim Opfer gefunden wurden, gibt eine zweifelsfreie Antwort. Das auch DNA-Fingerprinting genannte Verfahren wird auch zur Abklärung umstrittener Vaterschaften eingesetzt. Der DNA-Vergleich zeigt, ob eine fragliche Person der leibliche Vater des Kindes ist.

Information zwischen den Genen

Der genetische Fingerabdruck ist ein spezifisches Bandenmuster, das nach Durchführung einer PCR und Elektrophorese angefärbt und im Gel sichtbar wird. Das charakteristische Muster ist für die Gerichtsmedizin deshalb so aussagekräftig, weil die Wahrscheinlichkeit, dass zwei Individuen dieselben Banden zeigen, verschwindend gering ist (ausgenommen

eineiige Zwillinge). Untersucht werden nicht die Gene, sondern kleine repetitive Abschnitte im Erbgut. Diese liegen auf der DNA zwischen den Genen und werden nicht zu RNA abgeschrieben. Nebeneinanderliegende, sich vielfach wiederholende DNA-Stücke kommen im Genom aller Menschen vor, doch die Anzahl der Wiederholungen unterscheidet sich von Individuum zu Individuum. Diese Unterschiede werden beim genetischen Fingerabdruck untersucht. Werden mehrere dieser Regionen analysiert und die Resultate kombiniert, ist es äusserst unwahrscheinlich, dass zwei Menschen verwechselt werden. Im Gegensatz zur Sequenzierung von Genen lassen sich aus dem Fingerprinting, das nur die Länge und die Wiederholungen ausgewählter Fragmente untersucht, keine Eigenschaften des Individuums ableiten wie die Veranlagung für eine Krankheit.

III Landwirtschaft und Ernährung



Die Anwendung der Gentechnik in Pflanzenzucht, Landwirtschaft und Ernährung wird als grüne Gentechnik bezeichnet. Während transgene Pflanzen in verschiedenen Regionen der Welt seit Jahren auf riesigen Flächen angebaut werden, herrscht in Europa Zurückhaltung und Skepsis gegenüber der neuen Technologie. Sind gentechnisch veränderte Lebensmittel nun ein Nutzen oder ein Risiko für die Menschheit? Eine Frage, über die nicht nur Fachleute, sondern auch die vier Bewohner und Bewohnerinnen einer Wohngemeinschaft intensiv diskutieren.

«Habt ihr Hunger?», erkundigt sich Marc bei seinen Mitbewohnern. «Wie ein Bär!», erwidert Stefan. «Lass uns ein paar Spaghetti mit Salat machen. Das geht schnell und schmeckt immer.» Kopfnickend holt Marc eine Packung Teigwaren aus dem Schrank. «Schon bedenklich», wirft Cécile in die Runde, «hier steht, dass ein unbewilligter Gentech-Mais in die Schweiz importiert wurde. Konsumentenschutzorganisationen warnen vor gesundheitlichen Risiken.» Stefan, der seit vier Jahren Pflanzenbiotechnologie studiert, versucht zu beschwichtigen: «Ach, schon wieder so eine Zeitungsmeldung. Auch diese Suppe wird wohl nicht so heiss gegessen, wie sie gekocht wird.» Cécile schüttelt den Kopf: «Genfood ist gefährlich, das weiss doch jeder. Ich jedenfalls will damit nichts zu tun haben.» «Dann hast du aber ein Problem.» Stefan erklärt Cécile, dass Gentechnik heutzutage im Alltag überall präsent ist: «Dein Pulli und deine Jeans wurden womöglich aus Fasern von Gentech-Baumwolle hergestellt. Beim Waschen verwendest du Gentechnik-Enzyme, und in unserer Schokolade hats Lecithin aus gentechnischer Soja drin. Von den Medikamenten ganz zu schweigen.» In diesem Moment betritt Andrea die Küche. Ihre Augen bleiben bei Céciles Gesichtsausdruck hängen: «Gibts ein Problem?» Marc grinst: «Nö. Bloss eine kleine Debatte. Setz dich doch. Essen ist parat.»

Beim Abwasch greift Stefan das Thema wieder auf: «Ich kann dich gut verstehen, Cécile, dass du Mühe hast mit Genfood. Man hört ja auch ständig Negatives darüber.» «Eben», erwidert seine Mitbewohnerin. Stefan erklärt: «Aber vieles davon stimmt nicht. Es gibt keine Belege, dass die Gentechnik gefährlich ist.» «Sagst du. Aber du bist ja hier schliesslich der Experte...», stichelt Cécile. «Was weiss denn die Forschung heute über mögliche negative Langzeitfolgen?» Während Marc für alle einen Kaffee macht, holt er aus: «Das ist ein wichtiger Punkt, den die Wissenschaft ständig im Auge behalten muss. Noch etwas: Wir bewegen uns hier nicht im rechtsfreien Raum. Die grüne Gentechnik ist bei uns gesetzlich sehr streng geregelt – viel strenger als in den meisten anderen Ländern.» «Und was, wenn nebenan in Frankreich etwas passiert?», erwidert Cécile. «Ein gentechnisch veränderter Organismus, der sich unkontrolliert ausbreitet, macht keinen Halt vor unserer Landesgrenze.»

«Ich brauche noch etwas Süsses. Haben wir Schokolade im Haus?», fragt Andrea. «Ja, gentechnisch veränderte!», hänselt Marc. Andrea nimmt eine Tafel und fängt an, die Zutatenliste zu lesen: «Sojalecithin ist drin, aber von Gentechnik steht hier nichts.» «Das heisst aber nicht, dass das Lecithin nicht doch von gentechnisch veränderter Soja stammt. Gereinigte Bestandteile müssen nicht angeschrieben werden. Man kann sie ja nicht nachweisen», weiss Stefan. Andrea ist überrascht: «Das heisst, ich esse hier vielleicht unbewusst ein Gentechnik-Lebensmittel?» «Kann sein. Aber es ist das haargenau gleiche Lecithin wie bei einer normalen Sojabohne», beruhigt Stefan. «Wie auch immer», entgegnet Cécile, «ich will keinen Genfood essen. Basta.» «Du hast ja deinen Biofood», meint Marc. «Ich leg mal ein bisschen Sound auf. Irgendwelche Wünsche an den DJ?»

Während des Abendessens geht die Diskussion weiter. Cécile schaut sich die Spaghettiverpackung näher an: «Gut haben wir bei uns eine Deklarationspflicht für Genfood. Dann kann man wenigstens beim Essen selber wählen. Diese Spaghetti hier sind jedenfalls natürlich.» «Was ist denn schon natürlich?», entgegnet Marc. «Gute Frage, Marc, diese Teigwaren könnte man als Mutantenfood bezeichnen.» Stefan fängt nach dieser Bemerkung einen bösen Blick von Cécile ein: «Du übertreibst!» «Nein», fährt Stefan fort, «die heutigen Hartweizensorten entstanden durch Mutationszüchtung. Es wurde radioaktive Strahlung angewendet, um das Erbgut des Weizens zu verändern. Und daraus entstanden neue Sorten. Kein Mensch weiss, was mit diesen Pflanzen genau passiert ist.» «Und kein Hahn kräht danach», ergänzt Marc, «aber schmecken tun die Dinger.» Cécile gibt sich unbeeindruckt: «Also mir vergeht gleich die Lust am Essen. Morgen koche ich wieder. Dann gibts wenigstens Bio, da hats keine Gentechnik drin.» Marc zuckt mit den Schultern: «Guten Appetit.»



3.0 Pflanzenzüchtung

Kulturpflanzen bilden die wichtigste Nahrungsgrundlage für Mensch und Tier. Trotz Pflanzenschutzmassnahmen gehen weltweit 25–40 % der Ernte durch Schädlinge, Krankheiten und Unkräuter verloren. Die Züchtung widerstandsfähiger und ertragreicher Sorten ist daher ein wichtiges Ziel der Landwirtschaft. Seit der Mensch vor 10 000 Jahren begann, Ackerbau zu betreiben, wählte er jedes Jahr die besonders wertvollen Pflanzen aus und vermehrte diese weiter. Durch diesen steten Eingriff in die Natur entstand über die Jahrtausende eine Vielzahl von Kulturpflanzen, die sich von ihren Vorfahren, den Wildpflanzen, grundlegend unterscheiden.

«Was machst du eigentlich genau im Labor?», erkundigt sich Andrea bei ihrem Tischnachbarn. «Wir wollen verstehen, wie sich eine Kartoffelpflanze gegen Pilzbefall schützt. Wildkartoffeln können das. Wir versuchen nun, Resistenzgene zu finden und sie auf krankheitsanfällige Kultursorten zu übertragen», erklärt Stefan. «Tönt sehr technisch. Gibts da keine Probleme für die Natur?», doppelt Andrea nach. «Ein wichtiger Punkt. Zum Glück ist gerade die Kartoffel ökologisch wenig problematisch. Sie vermehrt sich durch Knollen, nicht Pollen. Die eingefügten Gene können daher nicht in andere Pflanzen auskreuzen. Unser Ziel ist eine Kartoffel, die sich selber schützt. Dann brauchts weniger Chemie, weniger Spritzmittel.» Stefan bringt seine Haltung auf den Punkt: «Also ich betrachte mich als modernen Grünen.»

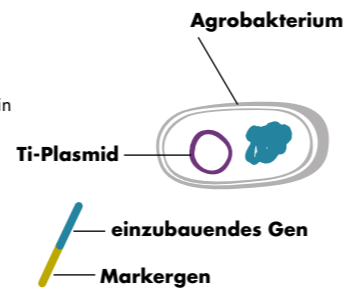
Methoden der Biotechnologie

Die Zuchtmethoden wurden in den letzten 100 Jahren laufend erweitert: kontrollierte Bestäubung (z. B. Weizen), Züchtung von Hybridsaatgut zur Ertragssteigerung durch die Vermehrung des Chromosomensatzes (z. B. Mais) oder Mutationszüchtung, d. h. die Behandlung von Pflanzen mit erbgutverändernden Chemikalien oder radioaktiver Strahlung (z. B. Nektarine). Die Einführung biotechnologischer Methoden erlaubte es, Pflanzen aus Zellkulturen im Labor zu züchten. Diese Technik wird etwa zur Vermehrung virusfreier Kartoffelsetzlinge eingesetzt. Allen Zuchtverfahren liegt ein gemeinsamer Prozess zugrunde: die dauerhafte Veränderung des pflanzlichen Genoms.

1983 gelang es erstmals, eine transgene Pflanze zu züchten: Ein Forschungsteam konnte ein Gen aus einem Bakterium in eine Tabakpflanze transferieren. Dieser Schritt eröffnet ganz neue Perspektiven in der Züchtung. Auch artfremde Gene – beispielsweise aus anderen Pflanzenarten, Pilzen, Tieren oder Bakterien – lassen sich ins pflanzliche Genom einbauen.

1. Ein Bakterium als Gentaxi

«Agrobacterium tumefaciens» ist ein Bodenbakterium, das Teile seines Erbguts ins Genom von Pflanzen transferieren kann. Die übertragenen Gene veranlassen die Wirtspflanze, Proteine herzustellen, die das Bakterium zum Leben benötigt.



2. Das Gentaxi wird vorbereitet

Agrobakterien besitzen sogenannte Ti-Plasmide. Diese DNA-Ringe dienen der Forschung als Instrument, um gewünschte Gene einzubauen. Mit Hilfe von Markergenen können nach dem Gentransfer jene Pflanzenzellen aufgespürt werden, welche die zuvor ins Plasmid eingefügten Fremdgene ins Genom eingebaut haben.

3. Ein Unkraut steht Modell

Bei den im Labor verwendeten Pflanzen handelt es sich oft um die Ackerschmalwand («Arabidopsis thaliana»). Dank ihrem kleinen Genom und ihrer einfachen Kultivierung dient sie seit den 1940er-Jahren als ideale Modellpflanze für die Wissenschaft.

Blattscheibchen der Ackerschmalwand

4. Bakterien- und Pflanzenzellen werden zusammengebracht

Die Agrobakterien mit den Zusatzgenen im Plasmid werden mit Blattscheibchen der Ackerschmalwand zusammen kultiviert.

5. Einschleusen der Gene

Die verletzten Pflanzenzellen am Scheibenrand locken die Bakterien an und veranlassen sie, ihre DNA durch einen kleinen Verbindungskanal in die Pflanzenzelle zu spritzen. Einige der Pflanzenzellen bauen die gewünschten Gene in ihr Genom ein.

Pflanzenzelle

6. Kleiner Unterschied, grosse Wirkung

Das Markergen verleiht den Pflanzenzellen die Fähigkeit, die Zuckerart Mannose als Nahrung zu nutzen. Normalerweise kann dies die Pflanze nicht. Enthält das Nährmedium Mannose statt Rohrzucker, überleben nur jene Zellen, welche das Markergen besitzen. Aus diesen Zellen werden ganze Pflanzen regeneriert, die dank dem eingebauten Fremdgen über eine neue Eigenschaft verfügen.

3.1 Vom Labor aufs Feld

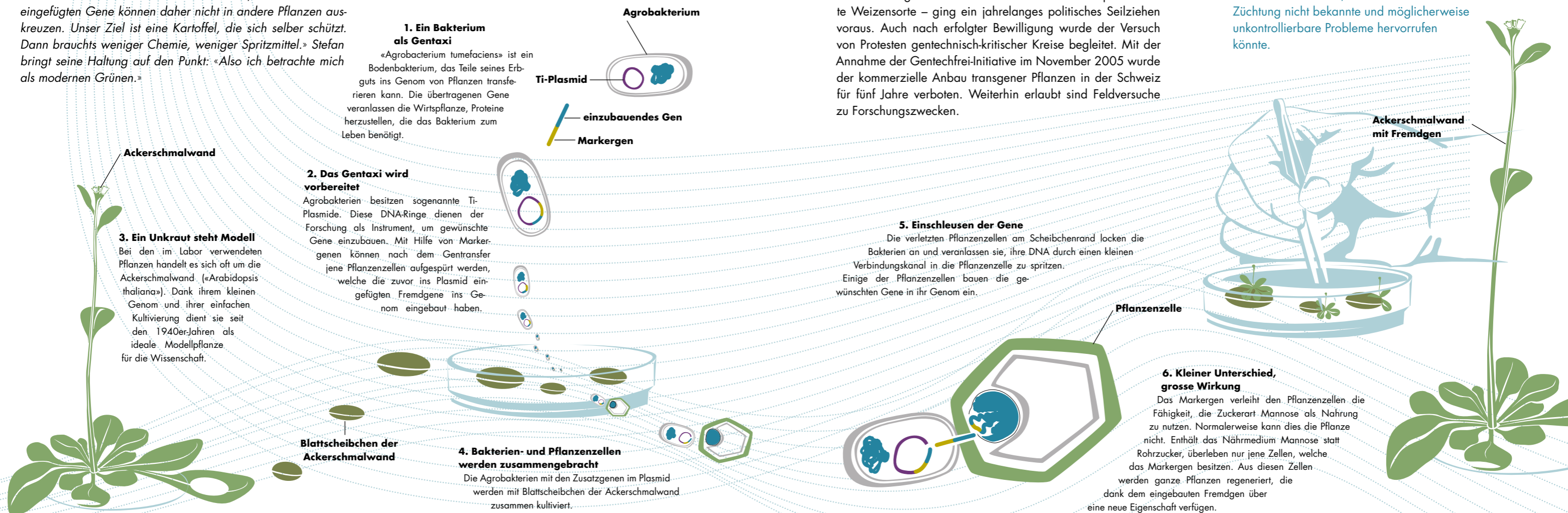
Gemäss dem Schritt-für-Schritt-Konzept werden gentechnisch veränderte Organismen (GVOs) vor ihrer Freisetzung umfangreichen Sicherheitsprüfungen unterzogen. Erst wenn nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft gesichert ist, dass eine transgene Pflanze ebenso unbedenklich ist wie andere Gewächse, folgt der Schritt ins Freiland. Kontrollierte Feldversuche sind entscheidend, denn nur im Freiland zeigt sich, ob sich eine transgene Pflanze unter den komplexen Bedingungen der Natur bewährt. Neben der Wirksamkeit der gentechnisch eingefügten Eigenschaft werden mögliche unerwünschte Auswirkungen auf die Gesundheit von Mensch und Tier sowie auf die Umwelt überprüft. Bis eine GV-Sorte die Zulassung für den kommerziellen Anbau erhält, vergehen durchschnittlich 10 bis 15 Jahre.

Situation in der Schweiz

Die ersten Freisetzungsvorhaben in der Schweiz wurden 1991/92 von der landwirtschaftlichen Forschungsanstalt in Changins mit transgenen, virusresistenten Kartoffeln durchgeführt. Dem dritten und vorläufig letzten Feldversuch – ein Forschungsteam der ETH Zürich testete eine pilzresistente Weizensorte – ging ein jahrelanges politisches Seilziehen voraus. Auch nach erfolgter Bewilligung wurde der Versuch von Protesten gentechnisch-kritischer Kreise begleitet. Mit der Annahme der Gentechfrei-Initiative im November 2005 wurde der kommerzielle Anbau transgener Pflanzen in der Schweiz für fünf Jahre verboten. Weiterhin erlaubt sind Feldversuche zu Forschungszwecken.

Sicherheit

Die Schweiz verfügt über eines der weltweit strengsten Regelwerke für transgene Pflanzen. Wird eine transgene Pflanze kommerziell angebaut, sind Langzeituntersuchungen – man spricht von Monitoring – vorgeschrieben. Die Biosicherheitsforschung konzentriert sich auf Fragestellungen wie: Beeinträchtigen insektenresistente Kulturpflanzen neben dem Schädling auch andere Organismen auf dem Feld oder im Boden? Können sich Transgene via Pollenflug auf verwandte Wildarten ausbreiten? Führt ein solcher Gentransfer zu negativen ökologischen Auswirkungen? Die bisher vorliegenden Erkenntnisse aus weltweit Tausenden von Feldversuchen und jahrelangem kommerziellem Anbau liefern allerdings keine Hinweise, dass transgene Kulturpflanzen zu Umweltschäden geführt haben. Bislang deutet nichts darauf hin, dass die Gentechnik neue, aus der klassischen Züchtung nicht bekannte und möglicherweise unkontrollierbare Probleme hervorrufen könnte.



3.2 Globale Situation

Seit 1996 werden transgene Kulturpflanzen kommerziell angebaut. Und seither hat sich die grüne Gentechnik weltweit imposant entwickelt: Im Jahre 2006 wurden in 22 Ländern auf einer Fläche von 102 Millionen Hektar gentechnisch veränderte Sorten angepflanzt. Dies entspricht etwa der gemeinsamen Fläche von Deutschland, Frankreich und Italien. Zu den bedeutendsten Anbauländern gehören die USA, Argentinien, Brasilien, Kanada, Indien und China. Die gentechnisch veränderten Pflanzen der ersten Generation konzentrieren sich primär auf vier Arten – Soja, Mais, Baumwolle und Raps – und zeichnen sich durch verbesserte Anbaueigenschaften aus. Bei Soja beträgt der Anteil transgener Pflanzen mittlerweile 64 % der Weltenernte, bei Baumwolle 38%. Über zehn Millionen Bäuerinnen und Bauern, grösstenteils aus Entwicklungsländern, kultivierten 2006 transgene Kulturpflanzen. In Europa sind die Anbauflächen vergleichsweise bescheiden. In der Schweiz wurden noch nie transgene Pflanzen kommerziell angebaut.

Beiträge zur Sicherung der Welternährung

Weltweit leiden über 850 Millionen Menschen an Unterernährung und Hunger. Das ist jeder achte Mensch. Gemäss Prognosen der UNO wird die Weltbevölkerung bis ins Jahr 2025 auf neun Milliarden Menschen anwachsen. Gleichzeitig schrumpft vielerorts die landwirtschaftliche Nutzfläche durch Erosion, Versalzung oder Zersiedelung. Damit die Menschheit

langfristig ausreichend mit Lebensmitteln versorgt werden kann, braucht es neben einer Umverteilung der Güter auch Ertragssteigerungen auf den verfügbaren Anbauflächen. Eine weitere Herausforderung besteht darin, Kulturpflanzen zu züchten, die auch bei Hitze, Dürre oder auf salzhaltigen Böden gedeihen können. Schliesslich gilt es Pflanzen mit verbessertem Nährstoffgehalt zu züchten, um Mangelernährung entgegenzuwirken. Es ist unbestritten, dass die Gentechnik alleine das komplexe Hungerproblem nicht lösen kann. Handlungsbedarf besteht auf sozialer, politischer und ökonomischer Ebene sowie bei der Ausbildung, insbesondere von Frauen. Gentechnische Zuchtmethoden können aber einen Beitrag leisten, um die drei genannten Ziele zu erreichen.

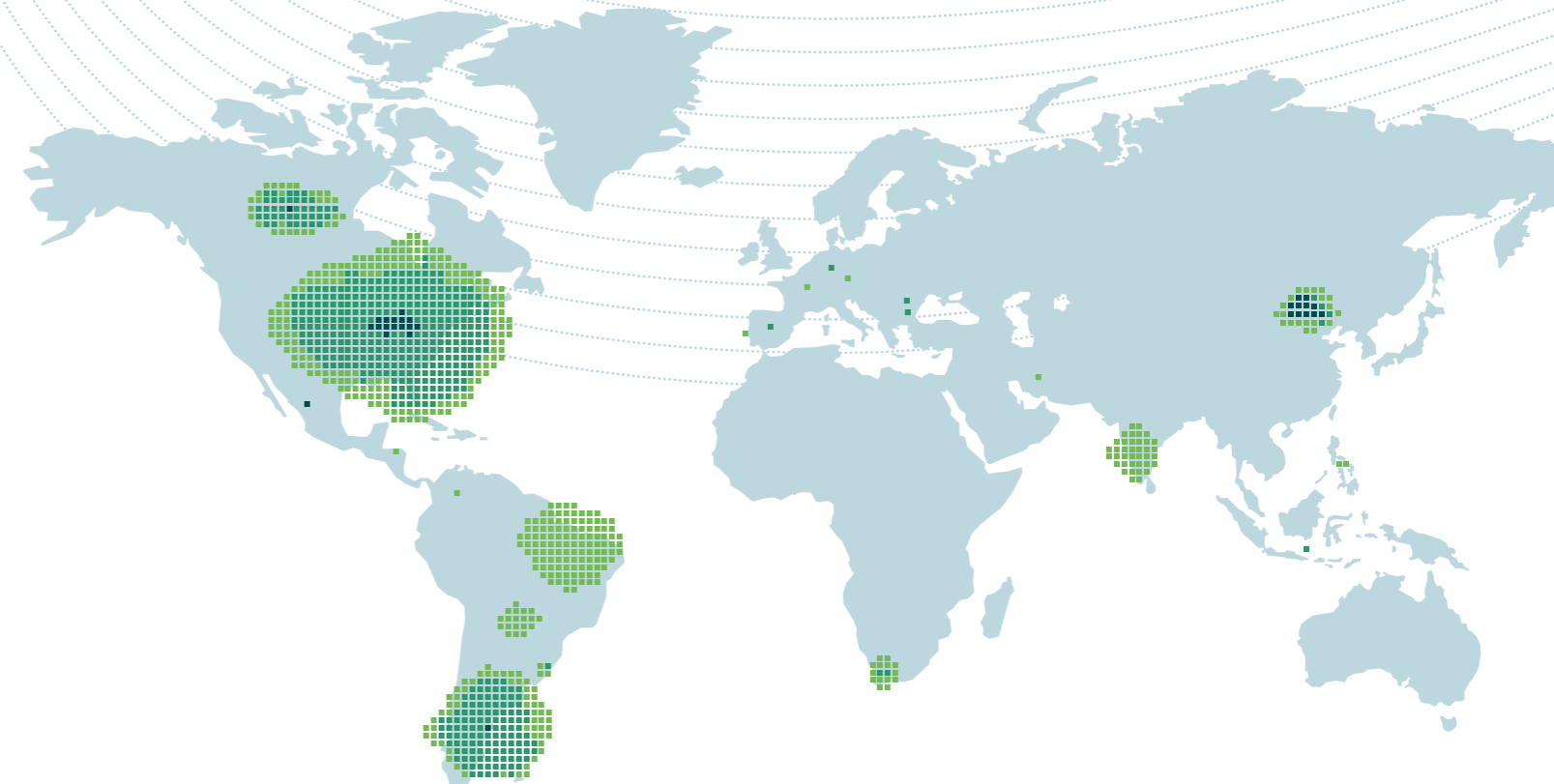
Cécile hat sich in ihr Zimmer zurückgezogen. Auf dem Bett liest sie einen Brief von Saranya, ihrer indischen Freundin. Zweimal schon ist Cécile durch Indien gereist. Sie ist fasziniert von dieser Kultur. Aber auch deprimiert angesichts der Armut und des Hungers, den sie dort vorfand. Stefan hat ihr vom «Goldenen Reis» erzählt. Einem Reis, der helfen soll, Vitamin-A-Mangel in Entwicklungsländern zu bekämpfen. Cécile ist nachdenklich. Könnte es sein, dass dieser Gentech-Reis vielleicht doch sein Gutes hat? Ich frage mal Saranya, was sie davon hält. Ihr Onkel ist ja Bauer. Denkt sie und beginnt zu schreiben.

Insektenresistente Baumwolle

Baumwollpflanzen liefern die Hälfte der Rohstoffe für die globale Textilindustrie. Ihr Hauptschädling ist der Baumwollkapselbohrer, gegen den grosse Mengen an Insektiziden gespritzt werden müssen. Analog zum Mais (siehe Folgeseiten) wurden transgene Baumwollsorten gezüchtet, die in ihren Zellen das Bt-Protein bilden. Dieses Eiweiss schützt die Pflanzen gegen Frassinsekten wie den Baumwollkapselwurm. In verschiedenen Studien wurden die Erfahrungen der Bauern mit Bt-Baumwolle untersucht, insbesondere in China und Indien. Ergebnisse aus Indien von 2001 bis 2006 zeigen für die Landwirte deutliche Vorteile gegenüber dem Anbau herkömmlicher Sorten: Der Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel konnte bei Bt-Baumwolle um bis zu 70% gesenkt werden. Damit sank nicht nur die ökologische Belastung auf den Feldern, sondern sanken auch die gesundheitlichen Risiken für die Produzentinnen und Produzenten durch Insektizidvergiftungen. Gleichzeitig stiegen die Erträge im Durchschnitt um knapp die Hälfte. Der Reingewinn der Landwirte wuchs um durchschnittlich zwei Drittel. Diese Zahlen variieren allerdings je nach Land, Anbauregion und -saison.

«Goldener Reis»

Ein Beispiel, wie die grüne Gentechnik helfen kann, der Mangelernährung in Entwicklungsländern zu begegnen, ist der Provitamin-A-Reis. Reis wird vorwiegend geschält gegessen, da er ohne Schale nicht ranzig wird und besser gekocht werden kann. Geschälter Reis enthält jedoch kein Provitamin A (Beta-Karotin). Deshalb leiden Menschen, die sich fast ausschließlich von Reis ernähren, häufig an Vitamin-A-Mangel. Bei Kindern führt dies zu einer erhöhten Infektionsanfälligkeit sowie Sehstörungen und Blindheit. Millionen von Menschen sind davon betroffen. Forschern der ETH Zürich und der Universität Freiburg im Breisgau ist es gelungen, durch die Übertragung von drei Genen aus einem Bakterium und der Osterglocke eine Reissorte zu entwickeln, die im Korn selber Provitamin A produziert. Dies verleiht dem Reiskorn eine gelbgoldene Farbe, weshalb die Sorte unter dem Namen «Goldener Reis» bekannt wurde. Der Provitamin-A-Reis soll als humanitäres Projekt den Kleinbäuerinnen und Kleinbauern in Entwicklungsländern kostenlos zur Verfügung stehen. Die beteiligten Unternehmen haben weitgehend auf ihre Patentansprüche verzichtet. Aufgrund der langwierigen Zulassungsverfahren wird noch einige Zeit vergehen, bis die Bäuerinnen und Bauern den «Goldenen Reis» anpflanzen und damit die Versorgung der lokalen Bevölkerung mit Vitamin A verbessern können.



Weltweiter Anbau von GV-Pflanzen

Quelle: International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA), www.isaaa.org

- Entspricht 100 000 ha Anbaufläche für transgene Pflanzen
- Anbaufläche transgener Pflanzen 1996
- Zunahme Anbaufläche transgener Pflanzen bis 2001
- Zunahme Anbaufläche transgener Pflanzen bis 2006

3.3 Lebensmittel

In der Schweiz sind einige gentechnisch veränderte Pflanzen sowie verschiedene Produkte aus transgenen Mikroorganismen als Lebensmittel bzw. als Bestandteile von Nahrungsmitteln zugelassen.

Enzyme und Zusatzstoffe

Enzyme sind spezielle Proteine, die chemische Reaktionen beschleunigen. Sie kommen als Verarbeitungshilfsstoffe in der Lebensmittelproduktion seit Jahrzehnten zum Einsatz. Beispiele aus der Praxis sind das Enzym Chymosin (Labferment) zur Herstellung von Käse oder Pektinasen zur Produktion von Fruchtsäften. Mehr als 90% der eingesetzten Enzyme stammen heute aus gentechnisch veränderten Mikroorganismen. Diese erlauben es, die Enzyme reiner, effizienter und umweltfreundlicher herzustellen. Auch Zusatzstoffe wie Vitamine, Süsstoffe, Farb- und Konservierungsstoffe werden zunehmend mit gentechnisch veränderten Mikroorganismen gewonnen.

Mikroorganismen

Mehr als ein Viertel unserer Nahrungsmittel wird mit Hilfe von Mikroorganismen hergestellt. Als Starterkulturen werden Hefen zur Produktion von Brot, Wein und Bier eingesetzt, Milchsäurebakterien helfen bei der Herstellung von Joghurt oder Sauerkraut. Zudem finden Mikroorganismen Verwendung als Schutz-

kulturen, um empfindliche Frischprodukte wie Fleisch vor dem Verderb zu bewahren, indem sie krankheitserregende Keime am Wachstum hindern. Die Forschung erprobt gentechnische Methoden zur Optimierung von Starter- und Schutzkulturen.

Soja mit integrierter Herbizidtoleranz

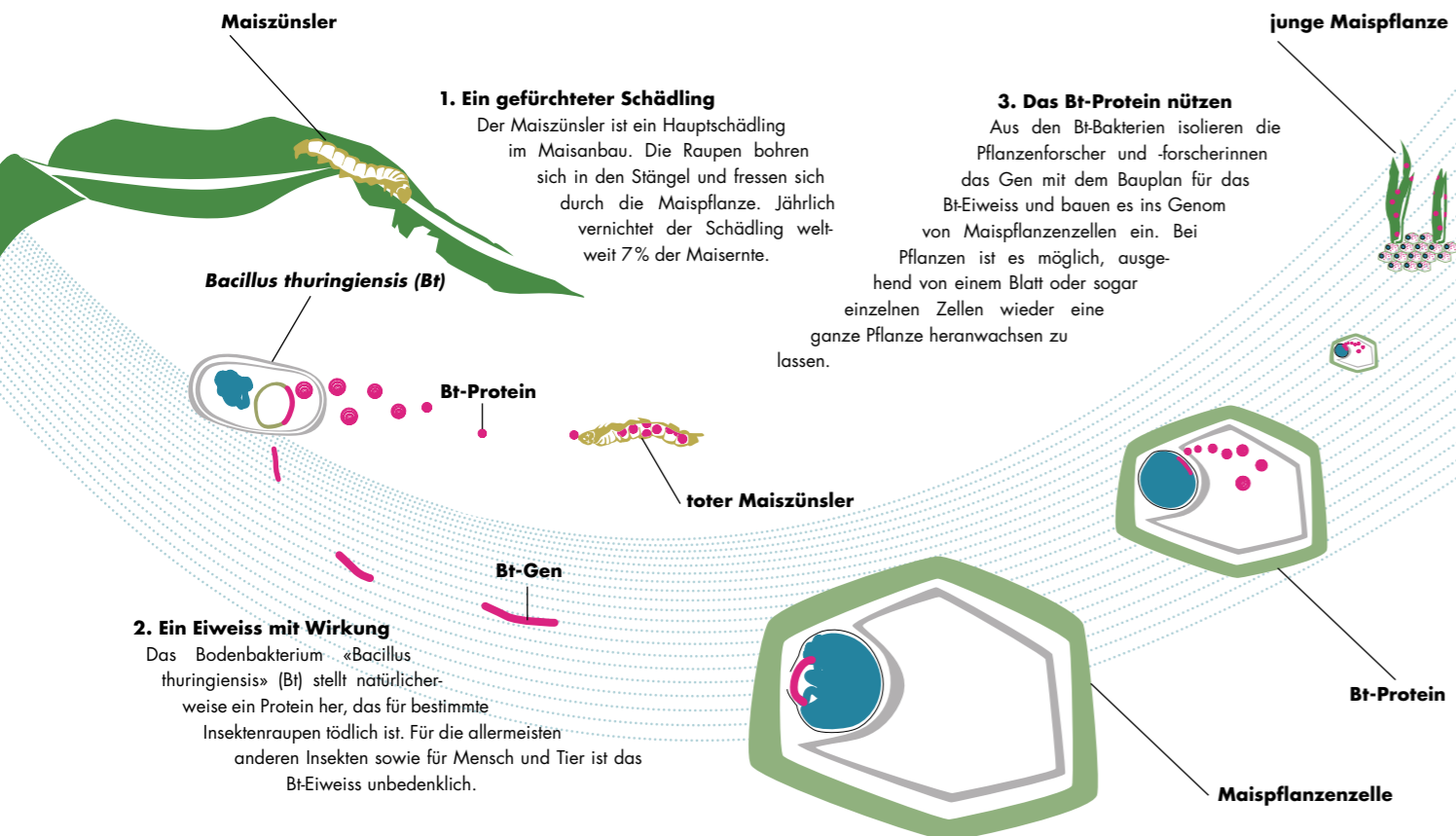
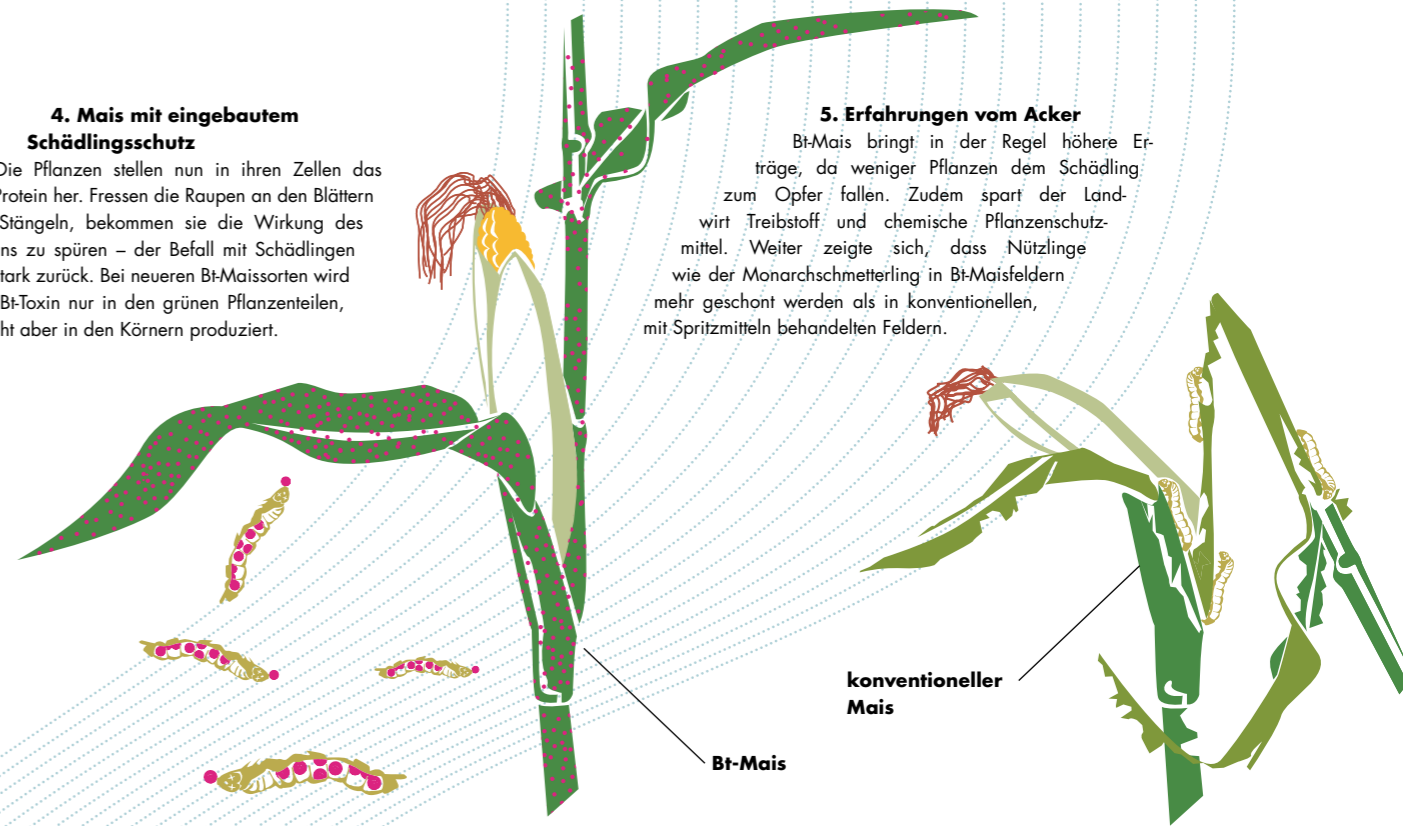
Seit 1996 ist bei uns eine transgene herbizidtolerante Sojabohne als Nahrungs- und Futtermittel zugelassen. Tausende Lebensmittel enthalten Sojaerzeugnisse, beispielsweise Lecithin als Emulgator in Süswaren. Grosse Schwierigkeiten beim Sojaanbau bereiten Unkräuter, die nur durch Spritzen von Unkrautbekämpfungsmitteln in Schach zu halten sind. Um die Unkrautkontrolle zu vereinfachen, züchteten Forschende eine Sojasorte, die unempfindlich ist gegen Glyphosat. Glyphosat ist ein Herbizid, das im Boden rasch abgebaut wird. Werden die transgenen Sojafelder mit Glyphosat besprüht, werden die Unkräuter vernichtet, während die Sojapflanze weiter gedeiht. Die Bäuerinnen und Bauern müssen daher das Spritzmittel erst dann einsetzen, wenn die Konkurrenz der Unkräuter für die Sojapflanzen zu gross wird. Die transgene Soja erlaubt zudem eine pfluglose Bodenbearbeitung der Felder, was der Boden-erosion entgegenwirkt. So spart der Landwirt nicht nur Zeit, Energie und Spritzmittel, sondern schont auch die Umwelt.

4. Mais mit eingebautem Schädlingsschutz

Die Pflanzen stellen nun in ihren Zellen das Bt-Protein her. Fressen die Raupen an den Blättern und Stängeln, bekommen sie die Wirkung des Bt-Toxins zu spüren – der Befall mit Schädlingen geht stark zurück. Bei neueren Bt-Maissorten wird das Bt-Toxin nur in den grünen Pflanzenteilen, nicht aber in den Körnern produziert.

5. Erfahrungen vom Acker

Bt-Mais bringt in der Regel höhere Erträge, da weniger Pflanzen dem Schädling zum Opfer fallen. Zudem spart der Landwirt Treibstoff und chemische Pflanzenschutzmittel. Weiter zeigte sich, dass Nützlinge wie der Monarchschmetterling in Bt-Maisfeldern mehr geschont werden als in konventionellen, mit Spritzmitteln behandelten Feldern.



3.4 Ein GV-Produkt für die Schweiz

Der Pilz «Phytophthora infestans» löst die Kraut- und Knollenfäule aus und vernichtet jährlich rund ein Fünftel der weltweiten Kartoffelernte. Im Schweizer Kartoffelanbau werden jedes Jahr 50 Tonnen Fungizide (Pilzbekämpfungsmittel) gegen diese Krankheit gespritzt. Im Biolandbau verwenden die Bäuerinnen und Bauern bis zu 4 kg Kupfer pro Hektar. Kupfer reichert sich im Boden an und kann diesen auf die Dauer unfruchtbar machen. In Südamerika existieren Phytophthora-resistente Wildformen der Kartoffel. Bisherige Versuche, die Resistenzgeneigenschaften der Wildarten mit traditionellen Zuchtmethoden in kommerzielle Kartoffelsorten einzukreuzen, waren nur wenig erfolgreich. Der Forschung ist die Isolierung einiger der zugrunde liegenden Resistenzgene gelungen. Eine transgene Sorte mit zwei Resistenzgenen wurde 2006 in Deutschland in Feldversuchen getestet. Die Gene lösen in den Kartoffeln Abwehrreaktionen aus, welche die Ausbreitung des Pilzes erschweren. Transgene, pilzresistente Kartoffeln wären auch für Schweizer Bauern eine interessante Option, um den Fungizideinsatz bedeutend zu reduzieren.

Sicherheit

Gentechnisch veränderte Lebensmittel gehören zu den bestuntersuchten Nahrungsmitteln überhaupt. Sie durchlaufen umfassende Sicherheitsprüfungen. Dazu gehört die Abklärung, ob die neu gebildeten Proteine Allergien auslösen können. Zur Beantwortung dieser Frage stehen verlässliche Computer-, Labor- und Hauttests zur Verfügung. Ein zweiter wichtiger Aspekt ist die Toxikologie: Sind transgene Eiweisse oder andere Inhaltsstoffe giftig für Mensch und Tier? Wichtiges Element dieser Prüfungen sind Fütterungsstudien an Tieren. Nur wenn sämtliche Untersuchungen zeigen, dass ein GV-Produkt gleich sicher ist wie ein herkömmliches Lebensmittel, wird es zugelassen. Seit über zehn Jahren werden gentechnisch veränderte Lebensmittel weltweit von Millionen von Menschen konsumiert, ohne dass bisher irgendein gesundheitliches Problem aufgetaucht ist. Übrigens: Gene zu essen, ist nichts Neues. Wir nehmen täglich mit unseren Nahrungsmitteln – ob gentechnisch verändert oder nicht – etwa ein Gramm DNA auf.

3.5 Bewilligung, Deklaration, Grenzwerte

Eine Mehrheit der Schweizerinnen und Schweizer steht der Gentechnik in Landwirtschaft und Ernährung skeptisch oder gar ablehnend gegenüber. Die Gründe dafür sind vielschichtig. Tatsache ist, dass die bisher zugelassenen GVO-Erzeugnisse den Konsumentinnen und Konsumenten keine direkten Vorteile bringen. Fakt ist auch, dass die Diskussion um GV-Pflanzen und GV-Nahrungsmittel häufig von undifferenzierter Kritik und hypothetischen Gefahrenszenarien geprägt ist. Und dies, obwohl sich die bisher zugelassenen GV-Produkte als sicher für Mensch, Tier und Umwelt erwiesen haben. Genau dies ist im Gentechnikgesetz und im Lebensmittelgesetz vorgeschrieben: GV-Produkte werden von den Behörden erst bewilligt, wenn nach dem Stand der Wissenschaft eine Gefährdung der Gesundheit und der Umwelt ausgeschlossen werden kann.

Wahlfreiheit dank Kennzeichnung

Zweiter zentraler Eckpfeiler neben dem Gesundheitsschutz ist der Täuschungsschutz der Konsumentinnen und Konsumenten: GV-Produkte müssen in der Schweiz gekennzeichnet werden. Die Lebensmittelverordnung schreibt vor, dass ein Nahrungsmittel als «gentechnisch bzw. genetisch verändert» deklariert werden muss, wenn es mehr als 0,9% GVO-Anteil enthält. Da sich bei Ernte, Transport oder Verarbeitung unbeabsichtigte

Vermischungen von herkömmlichen mit GV-Produkten nicht restlos vermeiden lassen, wurde eine solche Deklarationslimite eingeführt. Bei Futtermitteln beträgt dieser Wert ebenfalls 0,9%, bei Saatgut liegt der Schwellenwert bei 0,5%.

Koexistenz heisst nebeneinander

Auch die landwirtschaftliche Produktion ohne gentechnisch veränderte Organismen ist per Gesetz geschützt. Es ist unbestritten, dass ein Nebeneinander von Anbausystemen mit und ohne Gentechnik in der kleinräumigen Schweizer Landwirtschaft hohe Anforderungen an die Umsetzbarkeit stellt. Verschiedene Studien haben jedoch gezeigt, dass die Koexistenz – je nach Pflanzenart – durchaus möglich ist. Bei Kartoffeln zum Beispiel ist eine Auskreuzung durch Pollenflug kein Problem, da sich Kartoffeln via Knollen vermehren. Auch Weizen ist als Selbstbefruchter unproblematisch. Bei Mais reicht ein Isolationsabstand von 50 Metern zwischen einem Feld mit und einem ohne GVO, um die Auskreuzungsrate unter 0,5% zu halten. Daneben existieren Kulturen wie Roggen, deren Pollen sehr weit fliegen, ohne ihre Fruchtbarkeit zu verlieren. Hier ist eine saubere Trennung problematisch. Nötig ist auch eine strikte Warenflusstrennung bei Ernte und Verarbeitung.

3.6 Neue Produkte am Horizont

Längst arbeiten die Pflanzenbiotechnologinnen und -biotechnologen an der zweiten und dritten Generation transgener Kulturen. Die Fortschritte der funktionellen Genomik und Proteomik sowie Automatisierungen und die Bioinformatik ermöglichen detaillierte molekulare Einsichten in die Pflanzenzelle. Zunehmend können mit der Gentechnik auch komplexere Zielsetzungen verfolgt werden. Drei Beispiele zeigen dies exemplarisch auf:

Optimierte Kartoffelstärke

Die Kartoffel ist nicht nur ein wichtiger Stärkelieferant für die Ernährung, sondern auch ein bedeutender Rohstofflieferant für die Papier-, Textil- und Klebstoffindustrie. Kartoffelstärke besteht aus Amylose und Amylopektin. Deutsche Forschende züchteten eine transgene Kartoffel, bei der das Gen für die Amylosebildung abgestellt ist. Dadurch enthält ihre Stärke praktisch nur noch Amylopektin, einen idealen Ausgangsstoff für vielfältige industrielle Verwendungszwecke.

Pflanzenbasierte Arzneimittel

Seit Jahren wird an Pflanzen gearbeitet, die Medikamente oder Impfstoffe produzieren. Von diesen pflanzlichen Pharmafabriken erhoffen sich die Forscherinnen und Forscher eine kostengünstige Herstellung in grossen Mengen. In transgenen

Tabakpflanzen, Tomaten oder Disteln werden Impfstoffe gegen Cholera oder Sars sowie Medikamente wie Insulin oder Interferon hergestellt. Mehrere davon werden derzeit in klinischen Studien am Menschen getestet.

Trockenheitsresistente Gewächse

Ägyptische Wissenschaftler testen gentechnisch optimierte Weizensorten in Freilandversuchen, die gegenüber herkömmlichen Sorten mit deutlich weniger Wasser auskommen. Ein zusätzliches Gen aus der Gerste macht's möglich.

«Schau mal, was ich hier habe.» Stefan drückt Marc eine Bierflasche in die Hand. «Maisbier?», meint dieser erstaunt. «Ja, und erst noch ein Spezielles: gebraut aus Gentech-Mais», antwortet Stefan. «Ich habe die Flasche an einer Ausstellung über die grüne Gentechnik erhalten.» «Au ja, da steht: GVO – gentechnisch veränderte Organismen. Und was soll ich jetzt damit?», reagiert Marc. «Probier mal. Ist gar nicht übel», schlägt Stefan vor. «Es ist das erste Mal, dass ich bewusst ein Gentech-Produkt in den Händen halte. In den Läden habe ich Genfood noch nie gesehen.» Marc nimmt einen kräftigen Schluck: «Hm, tatsächlich. Gar nicht so schlecht. Schmeckt wie Bier.» «Ist es ja auch», erwidert Stefan.

Ethik

Gentechnisch veränderte Lebensmittel werden von der US-amerikanischen Bevölkerung anders bewertet als von den Europäerinnen und Europäern. Während die Gentechnik in den USA auch in der Ernährung als grundsätzlich positive Entwicklung angesehen wird, sind viele Menschen in Europa neuen Techniken gegenüber skeptisch eingestellt, gerade auch in der Lebensmittelproduktion. Zentral in der ethischen Beurteilung von GV-Lebensmitteln ist – neben der Sicherheit für Mensch, Tier und Umwelt – die Wahlfreiheit der Konsumentinnen und Konsumenten. Diese ist bei uns durch Deklarationsvorschriften und regelmäßige Kontrollen gewährleistet. Deklarationslimiten sind Voraussetzung für die praktische Umsetzbarkeit der Vorschriften. Angesichts des Beispiels Provitamin-A-Reis, der möglicherweise einen wichtigen Beitrag zur Bekämpfung des Vitamin-A-Mangels in Entwicklungsländern leisten kann, und der umweltschonenden Wirkungen vieler GV-Pflanzen, stellt sich aber auch die Frage, ob es ethisch gerechtfertigt ist, auf den potenziellen Nutzen der grünen Gentechnik zu verzichten.



IV Weisse Biotechnologie und Umweltschutz



Unter weisser Biotechnologie versteht man industrielle Produktionsverfahren, die natürliche oder gentechnisch optimierte Enzyme, Zellen oder Mikroorganismen einsetzen. Die biotechnologischen Verfahren bieten wirtschaftlich und ökologisch interessante Alternativen zu chemischen Prozessen. Die Zahl der auf solche Produkte spezialisierten Firmen nimmt ständig zu. Besuch in einem Biotech-Unternehmen.

Beim Fermenter hinten links blinkt es. Dirk Bächler schaut auf den Monitor und kontrolliert die Einstellungen der Produktionsanlage. Die Bakterien im Tank, die ein Lipase-Enzym herstellen, reagieren sehr sensibel auf Wechsel in ihrer Umwelt wie Temperatur- oder Nährstoffschwankungen. Das computergesteuerte Programm schlägt Anpassungen vor, die Dr. Bächler bestätigt. Während er darauf wartet, dass sich die Signale auf dem Bildschirm angleichen, widmet er sich wieder den Unterlagen aus der gestrigen Sitzung: «Die Biotechnologie verspricht, einen bedeutenden Beitrag zur Lösung grundlegender Umweltpro-

4.0 Biokatalyse

Enzyme sind biologische Katalysatoren – sie beschleunigen chemische Reaktionen. Sie arbeiten nicht nur sehr schnell und genau, sondern auch umweltfreundlich: in wässrigem Milieu, bei gemässigtem pH-Wert, Druck und gemässiger Temperatur. Der grosstechnische Einsatz der Biokatalyse löst daher viele umweltbelastende Verfahren ab, etwa in der Papier-, Leder- und Textilindustrie sowie bei der Herstellung von Reinigungsmitteln und anderen Chemikalien. Die Produktion von Enzymen erfolgt heute fast ausnahmslos mit gentechnisch veränderten (GV) Organismen. Die gentechnische Produktion ist bedeutend umweltschonender als alle herkömmlichen Methoden. Für die Gewinnung des Enzyms Glucosidase z. B. werden dank gentechnisch veränderter Hefe 80% weniger Strom verbraucht, und die Produktionsabfälle sind um 97% reduziert.

Waschen und Entrosten

In unserem Alltag setzen wir Enzyme beispielsweise in der Waschküche ein. Die handelsüblichen Waschmittel enthalten Enzyme, die darauf spezialisiert sind, Fette, Stärke und Eiweisse abzubauen, wodurch die Sauce- und Spaghetti-Flecken verschwinden. Dank dieser Enzyme konnte die Waschtemperatur von 90 auf 40 Grad reduziert und die Waschleistung verbessert werden. In der Textilindustrie kommen Enzyme bei der Bleichung von Jeans zum Einsatz. Statt umweltschädlicher chlorhaltiger Substanzen wird das gentechnisch hergestellte Enzym Laccase eingesetzt, um «stonewashed» Jeans herzustellen. Ein anderes Beispiel kommt aus dem Bereich des Metallbaus: Die zur Entrostung eingesetzten Stoffe enthalten

bleme zu leisten, indem sie beispielsweise (...) eine verbesserte Trinkwasserversorgung, effizientere Industrieprozesse für die Rohstoffumwandlung, Unterstützung für nachhaltige Aufforstungs- und Wiederaufforstungsverfahren und die Entgiftung gefährlicher Abfälle ermöglicht.» Herr Bächler ist verblüfft, als er liest, woher das Zitat stammt: Dieser Satz wurde an der Umweltkonferenz in Rio de Janeiro festgehalten. Er steht in Kapitel 16 der «Agenda 21», des umweltpolitischen Aktionsprogramms. Für Dirk Bächler ist klar, dass die weisse Gentechnik einen grossen Beitrag zum Umweltschutz leistet. Aber er merkt immer wieder, wie schwierig es ist, dies seiner Familie und seinen Freunden zu erklären. Industrielle Verfahren bringen viele Leute automatisch mit Umweltverschmutzung in Verbindung. Dank den Enzymen, die seine Firma herstellt, sind Verfahren möglich, die im Vergleich zu den herkömmlichen chemisch-synthetischen Techniken massiv Energie, Abfall und Abwasser einsparen.

gesundheits- und umweltschädliche Chemikalien. Es gibt Mikroorganismen mit der Fähigkeit, Rostschichten abzutragen. Die Forschung arbeitet daran, diesen Vorgang zu verbessern und eine umweltfreundliche Entrostungsalternative zu entwickeln.



4.1 Biosynthese

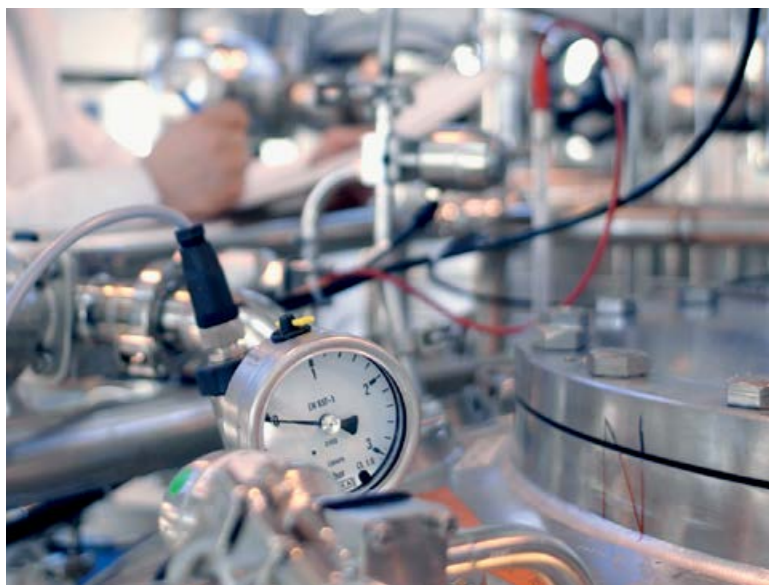
Ein weiterer Einsatz der Gentechnik für den Umweltschutz ist die Biosynthese. Die Herstellung hochwertiger Stoffe mit Hilfe transgener Organismen wird vor allem in der pharmazeutischen Industrie angewendet. Doch GV-Organismen werden auch dazu eingesetzt, Produkte statt aus fossilen Rohstoffen wie Erdöl oder Erdgas aus erneuerbaren Ressourcen herzustellen. In einem gross angelegten Projekt in Frankreich arbeiten Forschende z. B. daran, chemische Produkte auf der Basis von Getreide zu entwickeln. Zu den möglichen Anwendungsgebieten gehören Lösungsmittel, Kunststoffe oder innovative Strassenbeläge.

Kompostierbare Shampooflaschen

Einige Mikroorganismen bilden in kleinen Mengen plastikartige Reservestoffe. Durch Gentechnik kann die mikrobielle Produktion gelenkt und gesteigert werden. Als biologisch abbaubares Plastik sind die Stoffe ideal für kurzlebige Güter wie Tragtaschen oder Shampooflaschen. In den USA gibt es bereits Unternehmen, die im industriellen Stil Bioplastik herstellen, etwa Polylactid. Das kompostierbare Plastik wird vor allem für die Verpackung von Lebensmitteln eingesetzt. Es findet sich aber auch in Wasserflaschen, Teppichen, Telefonkarten und Autos – seit 1998 baut Toyota Bioplastik-Bauteile in einige Fahrzeugmodelle ein.

Spinnenseide: stärker als Stahl

Spinnen produzieren für ihre Netze einen Seidenfaden aus Proteinen. Der Forschung ist es gelungen, das Gen dafür ins Erbgut eines Bakteriums einzubauen. In grossen Fermentern produzieren die Mikroorganismen das Material, das sich durch eine äusserst hohe Zugfestigkeit und Elastizität auszeichnet. Ähnlich wie Wolle vermag Spinnenseide Wasser aufzunehmen und wieder abzugeben und ist biologisch abbaubar. Der gentechnisch erzeugte Stoff kann in der Textilindustrie, für Oberflächenbeschichtungen oder in der Medizintechnik eingesetzt werden.



4.2 Bioindikatoren

Arsen ist als giftige Substanz im Grundwasser eine grosse Bedrohung. In Entwicklungsländern wird das Wasser vielerorts mit Handpumpen gefördert und ohne Kontrolle und Aufbereitung konsumiert, was bei belastetem Wasser zu Arsenvergiftungen und Krebs führt. Da die Menge des Giftes stark schwankt, muss das Wasser in den Brunnen regelmässig kontrolliert werden. Dazu ist ein einfaches und billiges Nachweisverfahren nötig. Dies bietet ein Bioindikator, der auf gentechnisch veränderten Bakterien beruht. Bioindikatoren erlauben den Nachweis von Chemikalien in einer Luft-, Boden- oder Wasserprobe. Der Arsenachweis beruht auf der Fähigkeit von Darmbakterien, Arsen zu erkennen und mit der Produktion eines Abwehrproteins zu reagieren. Forschenden ist es gelungen, die Bakterien so zu verändern, dass sie in Reaktion auf Arsen ein Enzym produzieren, das eine farblose Substanz in einen blauen Farbstoff umwandelt. Die transgenen Bakterien werden auf Papierstreifen aufgetragen. Wird der Teststreifen mit Brunnenwasser benetzt, kann an der Blaufärbung der Arsengehalt abgelesen werden. Das preisgekrönte Verfahren wird bereits in der Praxis eingesetzt.

Sicherheit

Als 1973 die erste gentechnische Veränderung eines Bakteriums gelang, war die Wissenschaftswelt nicht nur fasziniert, sondern auch wachsam. Forscherinnen und Forscher aus aller Welt trafen sich im kalifornischen Asilomar, um Risiken der Gentechnik zu diskutieren. Die erarbeiteten Richtlinien bildeten die Basis für sicheres Arbeiten mit GV-Organismen. Seither wurden sie laufend erweitert. Bereits vor der Zeit der Gentechnik arbeiteten Forscherinnen und Forscher mit Mikroorganismen, teils auch mit gefährlichen wie dem Pockenvirus. Diese Erfahrung im sicheren Umgang mit Bakterien und Viren war sehr nützlich für das Handhaben gentechnisch veränderter Organismen in Laboratorien und Produktionsanlagen. Bei den Verfahren der weissen Gentechnik wie Biokatalyse und Biosynthese werden keine GV-Organismen in die Umwelt freigesetzt. Die Produktion erfolgt in geschlossenen Systemen. Im Endprodukt findet sich keine DNA, sondern nur das Enzym (etwa beim Waschmittel). Strenge Vorschriften über die technischen Vorkehrungen wie Sicherheitsfilter oder Abwasserbehandlungen gewährleisten die Sicherheit im Labor und in den biologischen Produktionsstätten.

4.3 Biologische Sanierung

Die Reinigung von Abwasser und Abluft und die Sanierung von Altlasten sind zentrale Anliegen im Umweltschutz. Teilweise geschehen sie über biologische Verfahren. Der klassische Fall des Einsatzes von Mikroorganismen findet sich in Kläranlagen. Das Stoffwechsellpotenzial von Bakterien, Hefen und Pilzen ist so vielfältig, dass es sich zum Abbau von Schadstoffen zu unproblematischen Substanzen eignet. Mikroorganismen können sogar Erdöl abbauen. Nach dem Tankerunglück der Exxon Valdez reinigten Mikroorganismen rund 1800km der Küste Alaskas von ungefähr 40 Millionen Litern Öl.

Mikroben und Pflanzen als Aufräumtruppe

Die Mikroorganismen in Kläranlagen sind nicht gentechnisch verändert. Es gibt jedoch Anwendungen der biologischen Sanierung, wo Gentechnik sinnvoll wäre. Beispielsweise für die Eliminierung von Substanzen wie langkettigen Kohlenwasserstoffen oder Dioxin, die bislang nicht biologisch abbaubar sind. Zahlreiche Projekte befassen sich mit der Erforschung geeigneter Stoffwechselwege in Mikroorganismen. Andere Teams arbeiten daran, Schwermetall transformierende Pflanzen zu verbessern. Bereits ist es gelungen, Senfpflanzen mit Hilfe der Gentechnik so zu verändern, dass sie aus dem Boden Quecksilber aufnehmen und in eine unproblematischere Form umwandeln.

4.4 Biokraftstoffe

Die Umstellung von fossilen Ausgangsstoffen auf der Basis von Erdöl und Erdgas auf nachwachsende Rohstoffe ist weltweit eine Herausforderung. Zwei flüssige Biotreibstoffe sind bereits breit auf dem Markt: Biodiesel und Bioethanol. Dieselmotoren wurden ursprünglich für den Betrieb mit pflanzlichen Ölen entwickelt, etwa mit Rapsöl. Eine Idee, die nun erneut aufgegriffen wird. Zur Gewinnung von Bioethanol (Alkohol) werden stärke- und zuckerhaltige Pflanzen vergärt. In mehr als 30 Ländern wird heute Bioethanol in grossem Stil aus Biomasse gewonnen. In Brasilien liegt der Marktanteil von Bioethanol am gesamten Kraftstoffverbrauch schon bei 16%. In Europa hat Schweden die Vorreiterrolle inne.

GV-Mais und Stroh im Tank

Die Gentechnik unterstützt die Produktion von Biokraftstoffen zweifach. Einerseits hilft sie, geeignete Pflanzensorten zu züchten. In den USA wird ein GV-Mais erprobt, der in den reifen Körnern ein Stärke spaltendes Enzym produziert, das die Körner vorverdaut. Dadurch kann bei der Ethanolherstellung ein Viertel der Energie eingespart werden. Zudem sind dank Gentechnik Enzyme in grossen Mengen herstellbar. Um bisher nicht nutzbare (Abfall-)Stoffe wie Stroh, Maisstängel oder Holzabfälle für die Gewinnung von Biokraftstoff zu nutzen, muss die Cellulose in den Pflanzen enzymatisch aufgeschlossen werden. Die billige Produktion geeigneter Enzyme in GV-Mikroorganismen ist die Voraussetzung dafür.

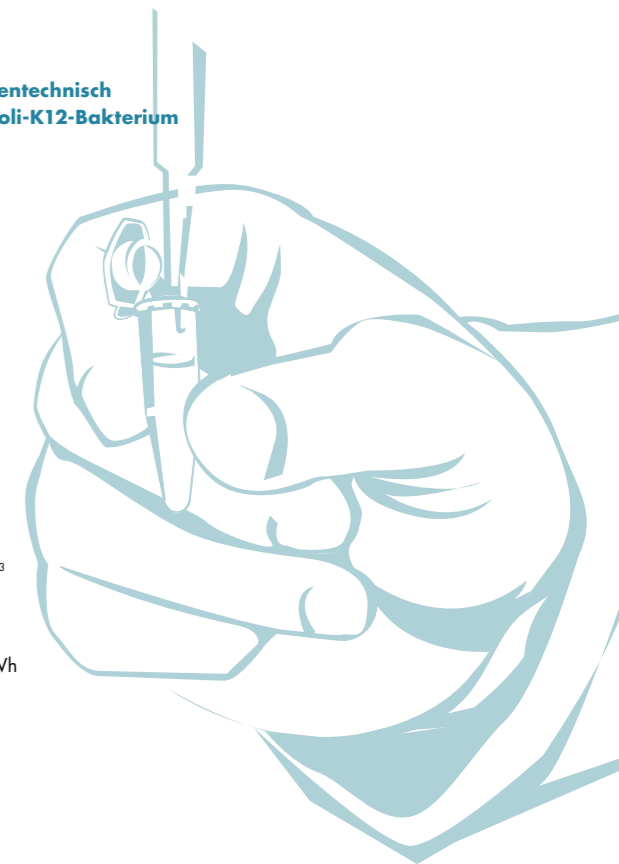
Herstellung eines Enzyms zur Blutzuckerbestimmung

Herkömmliche Produktion im Bakterium *Leuconostoc*

Verbrauch an Nährstoffen	6400 kg = 100%
Verbrauch an Trinkwasser	120 m ³ = 100%
Einsatz von Ammoniumsulfat	13000 kg = 100%
Verbrauch an Kühlwasser	1500 m ³ = 100%
Abwassermenge	1200 m ³ = 100%
Stromverbrauch	4000 kWh = 100%

Produktion im gentechnisch veränderten *E. coli*-K12-Bakterium

2,5% = 160 kg
0,8% = 1 m ³
1,5% = 200 kg
2,0% = 30 m ³
0,02% = 0,2 m ³
2,5% = 100 kWh



Quelle: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz

V Gesetzgebung



Die Gentechnik betrifft viele Bereiche unseres Lebens. Entsprechend ist die Regelung der Gentechnik in zahlreichen Gesetzen festgeschrieben und immer wieder im Umbruch. Das Volk entscheidet beim Prozess der Gesetzgebung mit. Dass dies nicht immer einfach ist, zeigt sich beim öffentlichen Vortrag «Gentechnik im Einkaufskorb – was ist zugelassen?».

Der Saal ist gut gefüllt. Nach einer Einführung über Gentechnik kommt die Referentin auf die Gesetzgebung zu sprechen. In diesem Zusammenhang erwähnt sie drei Schweizer Abstimmungen zum Thema: die Verfassungsartikel über Gentechnologie 1992, die Genschutzinitiative 1998 und das Stammzellforschungsgesetz 2004. Die Rednerin wendet sich ans Publikum: «Denken Sie an eine der Abstimmungen zurück. War das Aus-

füllen des Stimmzettels für Sie eine einfache Entscheidung?» Etwa die Hälfte des Publikums nickt, die anderen schütteln die Köpfe. «Das ist verständlich», fährt sie fort, «solche Vorlagen sind komplex und nicht einfach zu beurteilen.» Doch die Abstimmungen haben ein klares Bild ergeben: Das Stimmvolk hat sich in den letzten 15 Jahren immer wieder gegen generelle Verbote und für eine kontrollierte Nutzung der Gentechnik ausgesprochen. Das heisst, Missbräuche sollen verhindert und Risiken möglichst ausgeschlossen werden. Diese Abstimmungen stellten die Weichen für die Gentechnik-Gesetzgebung in der Schweiz. Die Referentin betont: «In Ihren Einkaufskörben liegen daher verschiedene zugelassene gentechnisch hergestellte Produkte, darunter Medikamente, Fruchtsaft, Waschmittel oder T-Shirts.»

5.0 Schweizerische Bundesverfassung

Die Grundlage für die Gentechnikregelung in der Schweiz bilden zwei Abschnitte in der Bundesverfassung. Artikel 119 regelt die Gentechnologie im Humanbereich und die Fortpflanzungsmedizin, Artikel 120 die Gentechnologie bei Tieren, Pflanzen und Mikroorganismen. Diese Verfassungsbestimmungen wurden vom Stimmvolk mit einer grossen Mehrheit von 74% gutgeheissen. Die Artikel schützen den Menschen vor Missbräuchen, schreiben aber auch mehrere Verbote fest. So ist jede Art des Klonens von Menschen untersagt, und es ist nicht erlaubt, Embryonen gentechnisch zu verändern. Neben den Verboten enthalten die Artikel einen Auftrag. Sie weisen den Bund an, unter Einhaltung der Menschenwürde und der Würde der Kreatur Vorschriften über den Umgang mit Erbgut

zu erlassen. Ziel ist es, die Sicherheit von Mensch und Umwelt zu wahren sowie die genetische Vielfalt zu schützen. Um den Auftrag der Bundesverfassung zu erfüllen, wurde in den 90er-Jahren das Gesetzespaket «Gen-Lex» vorbereitet. Gleichzeitig reichten verschiedene Organisationen die Genschutzinitiative ein. Diese forderte, die Herstellung transgener Tiere, die Patentierung im Gentechnikbereich und die Freisetzung von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) zu verbieten. Im Juni 1998 kam die Initiative vors Volk und wurde mit einer Zweidrittelmehrheit abgelehnt. Das Stimmvolk wollte keine generellen Verbote, sondern eine klare Regelung der Gentechnik, wie sie die Gen-Lex anstrebte.

5.1 Internationale Abkommen

Die Gentechnik wird weltweit und länderübergreifend angewandt. Diverse europäische Regelungen und internationale Abkommen sind auch für die Schweiz relevant. Beispielsweise hat die Schweiz wie viele andere Länder das Übereinkommen über Menschenrechte und Biomedizin (Bioethikkonvention) unterschrieben. Darin ist jede Form von Diskriminierung einer Person aufgrund ihres Erbmaterials verboten. Weiter ist festgesetzt, dass Veränderungen des menschlichen Erbgutes nur zu therapeutischen Zwecken erlaubt sind und nicht, um gentechnisch veränderte Nachkommen zu erzeugen.

Im Bereich der Landwirtschaft regelt das Cartagena-Protokoll den Umgang und Import von gentechnisch verändertem Saatgut, Tierfutter und GV-Lebensmitteln. Diese wichtige internati-

onale Vereinbarung, die von der Schweiz mitgetragen wird, verhindert, dass GV-Organismen ohne Genehmigung staatlicher Stellen grenzüberschreitend gehandelt werden. Ziel ist es, allfällige Risiken für Mensch, Tier und Umwelt gemäss dem Vorsorgeprinzip zu minimieren.

Grundsätzlich strebt die Schweiz auch bei den nationalen Gesetzen im Bereich Gentechnik eine Harmonisierung mit dem europäischen Recht an. Ohne dringenden Grund soll von diesem nicht abgewichen werden. Da Insellösungen angesichts einer weltweit angewandten Technik wenig Sinn machen, setzt sich die Schweiz europaweit und international für eine strenge und praktikable Gentechnikregelung ein.



5.2 Gesetze im Humanbereich

Die Gesetzgebung über genetische und gentechnische Anwendungen beim Menschen im Bereich der Biomedizin ist in den letzten Jahren durch mehrere Bundesgesetze vervollständigt und konkretisiert worden. Einige Regelwerke sind noch in Arbeit.

Genetische Untersuchungen

Für die gesetzliche Regelung von Gentests wurde das Gesetz über genetische Untersuchungen beim Menschen (GUMG) geschaffen. Es regelt Genuntersuchungen im medizinischen Bereich sowie die Handhabung von Vaterschaftstests. Für Strafverfahren kommt das DNA-Profil-Gesetz zur Anwendung. Im GUMG werden alle zentralen Aspekte der Tests geregelt, etwa die Rechte der betroffenen Personen und die Durchführung der genetischen Beratung. Die Qualität der Gentests ist durch eine behördliche Aufsicht der Laboratorien gesichert. Um den modernen molekularbiologischen Methoden und dessen Möglichkeiten und Risiken gerecht zu werden, wird das GUMG gegenwärtig revidiert.

Forschung am Menschen

Das Humanforschungsgesetz (HFG) ist seit Januar 2014 in Kraft. Dieses Gesetz regelt alle Bereiche der Forschung am Menschen. Darunter fallen Studien mit Erwachsenen, Kindern und Föten sowie die Forschung an menschlichem Material wie Blutproben und anhand von Personendaten. Zentrale Anliegen des HFG sind der Schutz von Würde und Persönlichkeit des Menschen und die Beachtung der Forschungsfreiheit. Damit Forschung erlaubt ist, müssen Betroffene aufgeklärt und ihr Einverständnis «informed consent» eingeholt werden.

Umgang mit Embryonen und Stammzellen

Die Leitplanken für den Umgang mit Embryonen ausserhalb des Mutterleibs finden sich im Fortpflanzungsmedizinengesetz (FMedG). Es setzt fest, wann eine Befruchtung im Labor zulässig ist, und verbietet missbräuchliche Anwendungen der Gentechnologie. Verboten sind das Klonen, die Keimbahntherapie und das Verschmelzen von menschlichem und nicht-menschlichem Erbgut. Die Untersuchung des Embryos durch die PID ist für Paare, die Träger einer schweren Erbkrankheit sind oder auf natürlichem Weg keine Kinder bekommen können, seit September 2017 in der Schweiz erlaubt.

2004 haben zwei Drittel der Bevölkerung dem Stammzellforschungsgesetz (StFG) zugestimmt, das die Gewinnung embryonaler Stammzellen regelt. Embryonale Stammzellen dürfen nur aus Embryonen gewonnen werden, die im Rahmen der medizinisch unterstützten Fortpflanzung gezeugt wurden, aber nicht zur Herbeiführung einer Schwangerschaft verwendet werden können. Aus den überzähligen Embryonen dürfen Stammzellen gewonnen werden, wenn das Paar sein Einverständnis dazu gibt und die Behörden sowie die Ethikkommission ebenfalls zustimmen.

Ethikkommissionen im Humanbereich

Angesichts der Aktualität medizinethischer Themen hat der Bundesrat die Nationale Ethikkommission im Bereich Humanmedizin (NEK) eingesetzt. Sie verfolgt die Entwicklung der Biomedizin und äussert sich aus ethischer Sicht zu den auftretenden Fragen. Zu den Aufgaben der Kommission gehört es, die Öffentlichkeit zu informieren und die Diskussion über ethisch relevante Themen zu fördern. Zudem erarbeitet sie Empfehlungen für die medizinische Praxis und macht die Politik auf Gesetzeslücken aufmerksam. Die Beurteilung von einzelnen Forschungsprojekten, z.B. Medikamentenstudien, erfolgt durch kantonale Ethikkommissionen. Diese prüfen, ob die Richtlinien der «Good Clinical Praxis» eingehalten werden.

5.3 Gesetze im Ausserhumanbereich

Die Schweiz verfügt über sehr strenge Massstäbe für die Regelung gentechnischer Anwendungen bei Tieren, Pflanzen und in der Umwelt. Da die Gentechnik im Ausserhumanbereich viele verschiedene Bereiche umfasst, mussten sowohl bestehende Gesetze ergänzt als auch neue geschaffen werden.

Transgene Tiere

Das Tierschutzgesetz verfolgt das Ziel, den Schutz der Würde und das Wohlergehen von Tieren zu sichern. Tierversuche sind verboten, wenn sie – gemessen am erwarteten Erkenntnisgewinn – dem Tier unverhältnismässiges Leiden zufügen oder wenn geeignete Alternativmethoden zur Verfügung stehen. Für das Erzeugen, Züchten und Halten von gentechnisch veränderten Tieren schreibt das Gesetz eine Bewilligungspflicht vor.

Sicherheitskommission EFBS

Vor zehn Jahren setzte der Bundesrat die Eidgenössische Fachkommission für biologische Sicherheit (EFBS) ein, der Personen aus Universitäten, der Industrie sowie von Konsumentinnen- und Umweltschutzorganisationen angehören. Damit sind sowohl die erforderlichen Fachkenntnisse in Gentechnik, Ökologie und Medizin verfügbar als auch die verschiedenen Interessenkreise mit ihren Standpunkten vertreten. Die EFBS arbeitet bei der Vorbereitung von Gesetzen mit und unterstützt die Umsetzung: Bevor zum Beispiel ein Freilandversuch mit gentechnisch veränderten Pflanzen bewilligt wird, muss die Stellungnahme der EFBS eingeholt werden.

Ethikkommission EKAH

Die Eidgenössische Ethikkommission für Gentechnik im ausserhumanen Bereich (EKAH) wurde im Jahr 1998 gegründet. Ihre Aufgabe ist es, die Entwicklungen und Anwendungen der Gentechnik bei Pflanzen, Tieren und in der Umwelt zu beobachten und dazu aus ethischer Sicht Stellung zu beziehen. Insbesondere prüft sie gesetzliche Vorlagen und Gesuche betreffend Umgang mit gentechnisch veränderten Organismen. Bei ihrer Prüfung wägt die Ethikkommission die betroffenen Güter gegeneinander ab. Dabei achtet sie auf die Einhaltung von Grundsätzen wie die Achtung der Würde der Kreatur und den Schutz der genetischen Vielfalt der Tier- und Pflanzenarten. Das Spektrum der in der Kommission vertretenen Standpunkte ist gross und widerspiegelt die unterschiedlichen Meinungen in der Öffentlichkeit.

Landwirtschaft und Lebensmittel

Lebensmittel aus gentechnisch veränderten Organismen müssen von den Behörden bewilligt und deklariert – also klar gekennzeichnet – werden. Dies schreiben das Lebensmittelgesetz und verschiedene Verordnungen vor, um den Gesundheits- und Täuschungsschutz zu garantieren. Massgebend für die Erteilung von Bewilligungen ist die Sicherheit für den Menschen und für die Umwelt. Eine Bewilligung wird nur erteilt, wenn alle Vorschriften des Umwelt- und Tierschutzgesetzes erfüllt sind. Bestehende Lücken in der Gesetzgebung werden laufend geschlossen. Ein Beispiel ist die Arbeit an der Koexistenzverordnung. Diese wird das Nebeneinander von gentechnischen und konventionellen Anbaumethoden regeln und schreibt z.B. Schwellenwerte für GV-Anteile im herkömmlichen Anbau vor.

GVOs in der Umwelt

Seit 2004 ist das Gentechnikgesetz in Kraft. Dessen Ziel ist es, bei der Anwendung der Gentechnologie dem Wohl von Mensch, Tier und Umwelt zu dienen. Zentrale Punkte des Gesetzes sind der Schutz der biologischen Vielfalt, der Schutz der landwirtschaftlichen Produktion ohne gentechnisch veränderte Organismen und die Sicherstellung der Wahlfreiheit für alle Beteiligten. Bis 2021 besteht in der Schweiz ein Moratorium für den Anbau von GMO in der Landwirtschaft. Das Volk stimmte 2005 der Initiative «Für Lebensmittel aus gentechnikfreier Landwirtschaft» mit 56% Ja-Stimmen zu. Die Frist wird genutzt, um Chancen und Risiken des Anbaus von GV-Pflanzen in der Schweiz zu überprüfen. Unter den Forschungsprojekten befinden sich auch Freisetzungsversuche, welche das Moratorium nicht verbietet.



VI Glossar

A

Adulte Stammzelle = Undifferenzierte → Stammzelle im Körpergewebe, z. B. Blutstammzelle.

Agrobakterium = Bodenbakterium, das Pflanzen befällt und → Gene ins → Genom der Pflanze übertragen kann.

Aids = Englisch Acquired immune deficiency syndrome. Erworbene Immunschwäche, die durch das → HI-Virus übertragen wird.

Allel = Eine von mehreren Ausprägungen eines → Gens. Für das Gen der Blutgruppe gibt es z. B. drei verschiedene Ausprägungen, die Allele Null, A und B. Es gibt → rezessive und → dominante Allele.

Aminosäure = Baustein der → Proteine. Es gibt 20 verschiedene Aminosäuren.

Antibiotika = Stoffe aus → Mikroorganismen, die auf andere → Bakterien wachstumshemmend oder abtötend wirken.

Anticodon = Drei → Basen (z. B. GUA), die sich an einem Ende einer gefalteten → tRNA befinden. Während der → Translation haftet sich das Anticodon an ein passendes → Codon auf der → mRNA (im Beispiel an CAU).

Antikörper = → Proteine, die als Abwehrstoffe des → Immunsystems dienen.

B

Bakterium = Einzeller → Mikroorganismus.

Base = Die Basen Adenin (A), Guanin (G), Cytosin (C) und Thymin (T) sind die Bausteine der → DNA. In der → RNA findet sich Uracil (U) statt Thymin.

Basenpaar = Aufgrund ihrer chemischen Struktur paaren sich die Basen A und T (bzw. U) sowie C und G. Die Basenpaarung ermöglicht z. B. das Abschreiben der → DNA zu → RNA (→ Transkription) und die Paarung von → Codon und → Anticodon.

Biobank = Sammlung von Körperproben wie Blut, Tumorgewebe oder → DNA verknüpft mit den zugehörigen Daten zu Gesundheit und Lebensstil des Probenpenders.

Bioindikator = Biologisches System (meist → Bakterien) zum Aufspüren von Umweltgiften und anderen Stoffen.

Bioinformatik = Wissenschaft, die sich mit der computergestützten Speicherung und Auswertung biologischer Daten befasst.

Biologika, Biologics = Bio- bzw. → gentechnisch hergestellte → Proteine, die als Medikamente eingesetzt werden.

Biotechnologie = Einsatz von → gentechnisch veränderten oder unveränderten → Mikroorganismen, → Zellen und → Enzymen zur Stoffumwandlung und Stoffproduktion.

Bt-Mais/Bt-Baumwolle = → Transgene Pflanzen mit einem → Gen aus dem Bodenbakterium *Bacillus thuringiensis*, aufgrund dessen die Pflanzenzellen ein Insektengift produzieren. Die Pflanzen sind dadurch gegen bestimmte Insektenschädlinge geschützt.

C

Cas = Endonuklease = Enzym, das DNA oder RNA schneidet

Chromosom = Unter dem Mikroskop sichtbare, im → Zellkern zu Stäbchen aufgeknaulte → DNA. Der Mensch hat 46 Chromosomen bzw. 23 Chromosomen-Paare pro → Zelle.

Codon = Abfolge von drei → Basen (z. B. CGA) der → DNA oder → RNA. Das Codon enthält den Code für eine → Aminosäure oder für ein Stopp- bzw. Startsignal, welche Anfang bzw. Ende des → Gens markieren.

CRISPR = clustered regularly interspaced short palindromic repeats

CRISPR/Cas = gentechnische Methode, um Gene gezielt zu verändern

D

DNA/DNS = Desoxyribonukleinsäure (englisch -acid für -säure). Chemischer Stoff, aus dem die → Gene aufgebaut sind.

DNA-Chip → Microarray.

Dominanter Erbgang = Vererbung eines → Allels, das sich gegen ein → rezessives Allel durchsetzt und als Körpermerkmal erscheint. Dominante Allele zeigen sich im → Phänotyp immer.

E

Elektrophorese = Die Wanderung elektrisch geladener Teilchen (z. B. → DNA) in einem Gel, durch das Strom fließt. Ermöglicht die Trennung unterschiedlich langer DNA-Stücke.

Embryo = Die frühe Entwicklungsform eines Lebewesens, beim Menschen die ersten acht Wochen. Danach spricht man vom Fötus.

Embryonale Stammzelle = Aus dem wenige Tage alten → Embryo gewonnene undifferenzierte → Zelle, die sich im Labor zu praktisch allen Zelltypen des Körpers entwickeln kann.

Enzym = → Protein, das als biologischer → Katalysator Stoffwechsellvorgänge (chemische Prozesse) auslöst und beschleunigt.

Erbkrankheit = Durch einen Genfehler (→ Mutation) ausgelöste oder begünstigte Krankheit.

Evolution = Entwicklung aller Lebewesen aus einfachen Urformen nach dem Prinzip der natürlichen Auslese: Aufgrund ihrer → Gene und ihres Verhaltens besonders gut angepasste Organismen überleben eher und haben daher mehr Nachkommen.

Exon = Codierender Bereich eines → Gens, der beim → Spleissen nicht weggeschnitten wird.

F

Farming → Pharming.

Fermenter = Reaktionsgefäß, in dem → Mikroorganismen und andere → Zellen gezüchtet werden.

Freisetzungsversuch = Ausbringen gentechnisch veränderter Organismen (→ GVO) vom geschlossenen Forschungslaboratorium in die Umwelt.

Fungizid = Chemischer Stoff, der Pilze abtötet.

G

Gen = Abschnitt auf der → DNA, der die Information zur Herstellung einer → RNA enthält. Die meisten RNAs dienen als Bauanleitung für → Proteine. Gene sind die Grundelemente der Vererbung.

Genetik = Wissenschaft der Vererbung.

Genetischer Code = Bezeichnet die vorgegebene Zuordnung der → Codons der → DNA bzw. → RNA zu den 20 → Aminosäuren. Der genetische Code ist bei allen Lebewesen identisch.

Genetischer Fingerabdruck = Bestimmte Abschnitte des Erbmaterials, die für jeden Menschen charakteristisch sind. Die Untersuchung und der Vergleich des genetischen Fingerabdrucks ist eine Methode zur eindeutigen Identifikation einer Person.

Genom = Gesamtheit der Erbinformation, d. h. aller → Gene, einer → Zelle oder einer Art.

Genomik = Wissenschaft, welche das → Genom eines Lebewesens entschlüsselt und untersucht.

Genotyp = Genetische Ausstattung eines Individuums. Im Gegensatz zum → Phänotyp, der nur die körperlich ausgeprägten Merkmale bezeichnet, wird der Genotyp an die Nachkommen weitervererbt.

Gentechnik = Wissenschaft, die sich mit der Untersuchung, der Isolierung und der Neukombination von Erbmaterial (→ DNA) befasst.

Gentechnologie = Die gesamten Kenntnisse, Verfahren und Anwendungen, die auf → Gentechnik beruhen.

Gentest = Untersuchung von → DNA, um Rückschlüsse auf verschiedene Aspekte eines Individuums zu ziehen, z. B. Krankheitsursachen oder Verwandtschaft.

Gentherapie = Behandlung einer → (Erb-) Krankheit durch Einschleusen eines → Gens in die → Zellen. Man unterscheidet zwischen → somatischer und → Keimbahn-Gentherapie.

Gentransfer = Übertragung von → Genen in Empfängerzellen.

Good Clinical Practice = Ethisch überprüfte Regeln für die Durchführung von medizinischen Behandlungen und → klinischen Studien.

Grüne Gentechnik = Umgangssprachliche Bezeichnung für die → Gentechnik in der Pflanzenzucht und in der Landwirtschaft.

Güterabwägung = Methode der Ethik zur Entscheidungsfindung. Alle Argumente für und gegen eine umstrittene Frage werden gesammelt und gewichtet.

GVO = Gentechnisch veränderter Organismus, auch → transgener Organismus genannt.

H

Herbizid = Chemisches Unkrautvertilgungsmittel, Pflanzen abtötender Stoff.

HIV = Englisch Human Immunodeficiency Virus. → Virus, das die Krankheit → Aids auslöst.

Hormon = → Protein, das als Botenstoff dient und in → Zellen Reaktionen auslöst (z. B. Insulin).

Hybridsorte = Kultursorte (z. B. Getreide), die durch die Kreuzung von zwei genetisch weit entfernten Organismen entstanden ist. Erbringt dank vervielfältigtem → Chromosomensatz höhere Erträge.

I

Immunsystem = System zur Abwehr körperfremder Substanzen und Organismen wie Pollen, → Bakterien oder → Viren.

Informed consent = Zustimmung zur Durchführung einer Behandlung, die Betroffene geben, nachdem der Arzt oder die Ärztin (bzw. die verantwortliche Person eines Experimentes) die Betroffenen ausführlich über die Behandlung informiert und aufgeklärt hat.

Insektizid = Chemisches Schädlingsbekämpfungsmittel, Insekten abtötender Stoff.

Intron = Bereich eines → Gens, der beim → Spleissen aus der → mRNA ausgeschnitten wird.

In vitro = Lateinisch «im Glas». Vorgang im Reagenzglas, der im Labor durchgeführt wird.

In-vitro-Fertilisation (IVF) = Künstliche Befruchtung der Eizelle ausserhalb des Körpers. Der → Embryo wird anschliessend in die Gebärmutter eingepflanzt.

In vivo = Lateinisch «im Lebenden». Vorgang im lebenden Organismus.

K

Katalysator = Reaktionsbeschleuniger.

Keimbahn-Gentherapie = → Gentechnischer Eingriff in Ei- und Samenzellen. In der Schweiz verboten.

Keimzelle = Überbegriff für Ei- und Samenzelle. Keimzellen enthalten nur 23 → Chromosomen.

Kerntransfer = Verschmelzung des → Zellkerns einer Körperzelle mit einer entkernten Eizelle zur Herstellung eines → Klons, der mit dem Zellkern-Donator bzw. der -Donatorin genetisch identisch ist.

Klinische Studie = Wissenschaftliche Untersuchung einer (neuen) medizinischen Behandlung unter kontrollierten Bedingungen.

Klon = Genetisch identisches Lebewesen. Z. B. sind durch Zellteilung entstandene → Bakterien Klone. Auch eineiige Zwillinge sind genetisch identische Klone.

Knock-out-Tier = Maus oder anderes Labortier, bei dem mittels eines gentechnischen Eingriffs ein → Gen deaktiviert wurde.

Koexistenz = Gleichzeitiges Vorhandensein verschiedener Systeme. In der grünen → Gentechnik das Nebeneinander von Feldern mit → GV-Pflanzen und solchen mit herkömmlichen Sorten.

Krebs = Bösartige Zellwucherungen (Tumore), die durch unkontrollierte Zellteilungen entstehen.

L

Leukämie = → Krebs des blutbildenden Systems.

Ligase = → Enzym, das → DNA-Stücke miteinander verklebt.

Lipase = → Enzym, das Fette abbaut.

M

Markergen = → Gen, das einem Organismus eine leicht erkennbare Eigenschaft vermittelt. Z. B. ein Gen für ein → Enzym, das einem → Bakterium die Fähigkeit verleiht, eine farblose Substanz in eine farbige umzuwandeln.

Meiose = Zellteilung bei der Bildung von Ei- und Samenzellen. Die Meiose halbiert den Chromosomensatz in den → Zellen. Beim Menschen von 46 → Chromosomen in einer Körperzelle auf 23 Chromosomen in den Ei- und Samenzellen.

Microarray = DNA-Chip. Liefert Informationen über die → Gen-Aktivität einer → Zelle durch Aufspüren der → mRNAs.

Mikroorganismen = → Bakterien, → Viren, einzellige Pilze und Algen.

Mitose = Mechanismus bei der Zellteilung. Die → DNA wird verdoppelt und an beide Tochterzellen weitergegeben.

Molekularbiologie = Wissenschaft, die sich mit den molekularen Vorgängen in einer → Zelle befasst.

Monogenetische Erkrankung = Von einem einzigen → Gen ausgelöste → Erbkrankheit.

Monoklonaler Antikörper = Im Labor hergestellter → Antikörper. Die Produktion erfolgt in → Zellen, die aus der Verschmelzung einer antikörperbildenden Zelle mit einer Krebszelle entstanden sind.

Monosomie = Fehlen eines → Chromosoms. Statt als Chromosomenpaar liegt ein Chromosom im → Zellkern nur ein Mal vor.

mRNA = Englisch messenger RNA. Einzelsträngige Kopie eines → Gens, welche die Anleitung für den → Proteinaufbau trägt. Auch Boten-RNA genannt.

Multifaktoriell = Durch mehrere Ursachen ausgelöst.

Mutation = Spontane oder durch äussere Einflüsse (z. B. Strahlung, Chemikalien) erzeugte Veränderung des Erbmaterials.

N

Nanobiotechnologie = Wissenschaft, die Methoden der → Biotechnologie mit der Nanotechnologie (Technologie im Bereich von Milliardstel Metern) kombiniert.

P

Patent = Schutzrecht des geistigen Eigentums, das die zeitlich befristete kommerzielle Nutzung einer Erfindung regelt. Die Erkenntnisse werden offen gelegt.

PCR = Englisch Polymerase Chain Reaction. Labormethode zur Vervielfältigung von → DNA-Stücken.

Phänotyp = Gesamtheit der äusserlichen Merkmale eines Organismus wie Grösse, Augenfarbe, Blutgruppe etc. Wird vom → Genotyp und der Umwelt bestimmt.

Pharmakogenetik/-genomik = Wissenschaft, welche die vererbaren Besonderheiten der Stoffwechsellung von Medikamenten untersucht, z. B. die durch → Enzyme bestimmte Geschwindigkeit des Abbaus einer Arznei in der Leber.

Pharming = Produktion von → Enzymen und Arzneimitteln in gentechnisch veränderten Pflanzen und Tieren. Auch Farming genannt.

Plasmid = Kleines ringförmiges → DNA-Stück, das vor allem in → Bakterien vorkommt.

Polymerase = → Enzym, das den Aufbau von → DNA- oder → RNA-Molekülen ermöglicht.

Prädiktive Diagnostik = Vorausschauende Untersuchung. → Gentests zur Vorhersage der Wahrscheinlichkeit, mit der eine Krankheit auftreten wird.

Präimplantationsdiagnostik (PID) = → Gentest am → in vitro gezeugten → Embryo im Labor. Gesunde Embryonen werden anschliessend in die Gebärmutter übertragen.

Pränataldiagnostik (PND) = Untersuchungen am → Embryo bzw. Fötus während der Schwangerschaft.

Protein = Eiweiss. Aus → Aminosäuren aufgebauter Naturstoff, aus dem alle → Zellen aufgebaut sind. Proteine erfüllen im Körper verschiedenste Aufgaben.

Proteom = Gesamtheit aller Proteine in einer Zelle oder in einem Gewebe. Je nach Lebensphase oder Zustand (krank, gesund) ist das Proteom aus unterschiedlichen Eiweissen zusammengesetzt.

Proteomik = Wissenschaft, welche das → Proteom untersucht. Analysiert wird z. B. das Zusammenspiel von → Proteinen bei der Entstehung einer Krankheit.

R

Rekombination = In der → Gentechnik die Verknüpfung von → DNA-Stücken, auch von verschiedenen Lebewesen.

Reproduktives Klonen = Durchführung eines → Kerntransfers mit dem Ziel, ein geklontes Kind heranwachsen zu lassen. In der Schweiz verboten.

Resistenz = Widerstandskraft eines Organismus gegen negative äussere Einflüsse, z. B. gegen Trockenheit, Schädlinge oder Krankheiten.

Resistenzgen = → Gen, das für ein → Protein codiert, welches den Organismus gegen bestimmte Umwelteinflüsse z. B. Schädlinge, Gifte oder Kälte widerstandsfähig macht.

Restriktionsenzym = → Enzym, das die → DNA an bestimmten Stellen zerschneidet.

Rezessiver Erbgang = Vererbung von → Allelen, die nur als Merkmal erscheinen, wenn sie in doppelter Kopie vorliegen, da sie von → dominanten Allelen unterdrückt werden.

Ribosom = Eiweissfabrik. Komplex aus → rRNA und → Proteinen, welcher unter Verwendung einer → mRNA als Vorlage den Proteinaufbau aus → Aminosäuren steuert.

RNA/RNS = Ribonukleinsäure (englisch -acid für -säure). → mRNA, → rRNA, → tRNA, → siRNA.

rRNA = Ribosomale RNA, Bestandteil der → Ribosomen.

RNA-Interferenz = Mechanismus, der den Aufbau bestimmter → Proteine hemmt. Dabei binden sich kurze → siRNA-Stücke an die → mRNA und veranlassen deren Abbau.

Rote Gentechnik = Umgangssprachliche Bezeichnung für die → Gentechnik in der Medizin.

S

Sars = Englisch Severe acute respiratory syndrome. Durch einen → Virus ausgelöste Krankheit, die 2002 erstmals auftrat. Das Virus stammt vermutlich von einem Erreger ab, der zuvor nur Tiere befallen hatte.

Screening = Das Durchsuchen grosser Mengen verschiedener Gewebeprobe oder einer Bevölkerungsgruppe nach bestimmten → Mutationen oder Genvarianten.

Sequenzierung = Methode zur Entschlüsselung der → Basenreihenfolge eines → Gens bzw. des ganzen → Genoms.

siRNA = Englisch small interfering RNA. Kurze → RNA-Stücke die sich an → mRNA binden und durch den Mechanismus der → RNA-Interferenz die Gen-Aktivität regulieren.

Somatische Gentherapie = Gen-Übertragung in Körperzellen (→ Keimzellen ausgenommen) zur Behandlung von → Erb- und anderen Krankheiten.

Spleissen = Das Herausschneiden bestimmter Sequenzen aus der → mRNA nach der → Transkription.

Stammzelle = → Zelle, die sich selbst erneuert und zu verschiedenen Zelltypen ausreifen kann.

T

Täuschungsschutz = Verpflichtung zur ausreichenden Kennzeichnung (Deklaration) von Lebensmitteln und anderen Produkten, damit Konsumentinnen und Konsumenten im Einklang mit ihrer Weltanschauung einkaufen können.

Therapeutisches Klonen = Durchführung eines → Kerntransfers mit dem Ziel, für den Zellkern-Spender bzw. die -Spenderin genetisch identische → embryonale Stammzellen zu gewinnen und diese zur Reparatur defekter → Zellen einzusetzen.

Transgen = → Gentechnisch verändert.

Transgene Lebewesen = → Gentechnisch veränderte → Mikroorganismen, Tiere oder Pflanzen.

Transkription = Umschreibung von → DNA zu → RNA. Auf dem Prinzip der → Basenpaarung beruhende Synthese von einzelsträngiger → RNA, basierend auf der Vorlage doppelsträngiger → DNA.

Translation = Umsetzung der → Basensequenz der → mRNA in die → Aminosäurereihenfolge des → Proteins. Der Vorgang findet an den → Ribosomen statt.

Transkriptom = Die Gesamtheit der zu einem bestimmten Zeitpunkt in einer → Zelle vorliegenden → RNA-Moleküle.

Transkriptomik = Erforschung der → RNA-Moleküle. Z. B. wird die Frage untersucht, zu welchem Zeitpunkt und in welchen → Zellen bestimmte → Gene aktiv sind, d. h. ihre → mRNA vorliegt.

Trisomie = Vorliegen eines überzähligen → Chromosoms. Am häufigsten ist das dreifache (statt doppelte) Vorliegen des Chromosoms Nummer 21, was zum Down-Syndrom führt. Betroffene Menschen haben eine geistige und teilweise auch körperliche Behinderung.

tRNA = Transfer-RNA. An eine der 20 verschiedenen → Aminosäuren gebundene → RNA, die sich mit ihrem → Anticodon an ein → Codon auf der → mRNA bindet und so den korrekten Einbau der entsprechenden Aminosäure ins entstehende → Protein sicherstellt.

V

Virus = Kleiner Partikel (→ Mikroorganismus) aus → Proteinen und → DNA bzw. → RNA, der sich nur mit Hilfe lebender → Zellen vermehren kann. Häufig Krankheitserreger.

W

Wahlfreiheit = Die Möglichkeit, sich zwischen mehreren Angeboten zu entscheiden. Z. B. zwischen herkömmlichen und GV-Lebensmitteln.

Weisse Gentechnik = Umgangssprachliche Bezeichnung für die → Gentechnik in der industriellen Produktion.

Z

Zelle = Kleinste selbständig lebensfähige Einheit. Grundelement aller Vielzeller (Mensch, Tiere, Pflanzen).

Zellkern = Umhüllter Bereich im Innern von Tier- und Pflanzenzellen, welcher das genetische Material enthält.

Herausgeber: Stiftung Gen Suisse, Bern
Konzeption und Text: Sibylle Ackermann, Kurt Bodenmüller, Daniela Stebler, Daniela Suter, Geschäftsstelle Gen Suisse
Fotos: Carmela Odoni, Bern. S. 31 © Dr. Lev Levkov, Karolinska Institute, Stockholm.
Gestaltung und Illustration: Burson-Marsteller, Bern

6. Auflage in deutscher und französischer Sprache
© Gen Suisse, Bern 2018

Dank

Wir danken den folgenden Institutionen, die uns freundlicherweise für die Fotoaufnahmen zur Verfügung standen:

- Institut für Pflanzenbiologie der Universität Fribourg
- Institut für Biochemie der Universität Fribourg
- Praxis Dr. Beat Herrmann, Bern
- Bioengineering AG, Wald ZH.

Zudem danken wir allen Protagonistinnen und Protagonisten für ihre Rollen als WG-Bewohner, Patientinnen, Maturanden, Arzt etc.

«Der Dialog ist unser Ziel.»
Stiftung Gen Suisse
Aarberggasse 29
3011 Bern
Tel.: +41 (0)31 356 73 84
Fax: +41 (0)31 356 73 01
info@gensuisse.ch
www.gensuisse.ch



GEN SUISSE.