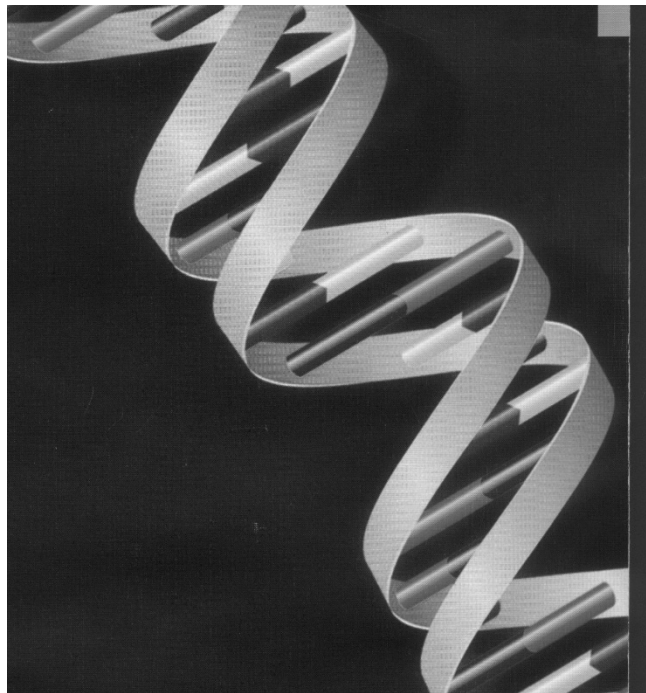


GENE

GENETIK

GENTECHNIK

... was ist das eigentlich ?



**Dem Geheimnis des Lebens
auf der Spur**

Liebe Leserin, lieber Leser,

Bisher sind in der Reihe „Schönberger Blätter“ etwa 160 Beiträge erschienen – die komplette Liste mit der Möglichkeit zum Download finden Sie unter: <http://www.krause-schoenberg.de/materialversand.html>

Die Hefte stehen auch in gedruckter Form zur Verfügung (farbiges Deckblatt, geklammert, A4) und können gegen Erstattung der Unkosten (ca. 5 Cent je bedruckte Seite + Versand) bestellt werden:

Viel Spaß beim Lesen!

Ihr Joachim Krause

Bestellungen, Rückfragen, Hinweise und Kritik richten Sie bitte an:

Ev.-Luth. Landeskirchenamt Sachsens, Beauftragter für Glaube, Naturwissenschaft und Umwelt, (Dipl.-Chem.) Joachim Krause, Hauptstr. 46, 08393 Schönberg,

Tel. 03764-3140, Fax 03764-796761,

E-Mail: krause.schoenberg@t-online.de Internet: <http://www.krause-schoenberg.de>

Die Verantwortung für den Inhalt der „Schönberger Blätter“ liegt allein beim Verfasser.

Verwendung und Nachdruck – auch von Textteilen – bitte nur nach Rücksprache.

Druckdatum: 28.12.23
© Joachim Krause 2004

Inhalt

1. „Papa, was ist das eigentlich – GENTECHNIK?“	3
2. Dem Geheimnis des Lebens auf der Spur	3
3. Spurensuche – wo stecken die GENE ?.....	4
4. Was ist und was macht ein GEN ?.....	7
4.1. Die Zelle als das „Haus des Lebens“	7
4.2. Die Bibliothek – das Geheimnis des Lebens wird gehütet.....	7
4.3. In der Küche: Wie aus Kochrezepten „Lebens-Mittel“ werden....	10
4.4. Die Zelle als das „Haus des Lebens“ (Zusammenfassung)	12
5. Gentechnik – Frevel oder Fortschritt?.....	13
5.1. Was macht ein Gentechniker?	14
5.2. Gentechnik in der Herstellung von HUMAN-INSULIN.....	17
Anhang	19
6. Die Erhaltung und Weitergabe der Erb-Informationen in der Sprache der exakten Naturwissenschaft.....	19
6.1. DNS – das Erbmolekül.....	19
6.2. RE(DU)PLIKATION – die Vervielfältigung des Erbgutes.....	22
6.3. Gen-Expression – die Botschaft der Gene wird umgesetzt.....	22
6.3.1. TRANSKRIPTION – die Botschaft wird abgeschrieben.....	23
6.3.2. TRANSLATION – die Botschaft der Gene wird übersetzt.....	25

1. „Papa, was ist das eigentlich – GENTECHNIK?“

Urlaub. Hitze. Eisdiele. Das 11-jährige Töchterchen saugt nachdenklich an seinem Trinkhalm und fragt so nebenbei: „Papa, was ist das eigentlich – Gentechnik?“

Gentechnik



Ein bisschen schwergewichtig, diese Frage, und hier in versandeter Badekleidung nicht angemessen zu klären. Aber 14 Tage später, zu Hause auf dem Sofa, versuchen wir beide es doch. Wir blättern in Büchern, Skizzen werden gekritzelt. Wir staunen über die Einsichten von Wissenschaftlern, die in den letzten hundert Jahren das Geheimnis des Lebens Stück für Stück enträtselt haben. Auf dem Weg von der Zelle über die Chromosomen zur Molekülstruktur der Erbsubstanz begegnen uns die „Gene“, Bauanleitungen zur Herstellung von Stoffen, die für den Aufbau und den Stoffwechsel eines Organismus benötigt werden. Durch diese tiefen Einblicke der Biologie in das Naturgeschehen eröffneten sich atem-beraubende Möglichkeiten: nun zielgenau in Lebensprozesse einzugreifen, sie zum Wohle des Menschen technisch verfügbar zu machen, zu nutzen und zu verändern. „Gentechnik“ ist eine Werkzeugkiste – damit könnte man zum Beispiel ein „fehlerhaftes“ Stück aus der Perlenkette der Erbsubstanz ausschneiden oder an anderer Stelle ein „fremdes“ Gen mit neuen erwünschten Eigenschaften zusätzlich einfügen.

Frevel oder Fortschritt ?

„Ist das gefährlich?“, fragt die Tochter. Eine einfache Antwort finden wir nicht. Wir sprechen über einen schwer zuckerkranken Jungen aus ihrer Klasse, der sich mehrmals täglich INSULIN spritzt, ein lebensrettendes Medikament, hergestellt mit Hilfe von gentechnisch veränderten Bakterien. Wir lesen in der Zeitung, dass es Nahrungsmittel zu kaufen gibt, deren Erbanlagen „verbessert“ wurden – da ist uns beiden auf dem Sofa doch ziemlich bange zumute.

Zwischen Chancen und Gefahren beim Umgang mit den neuen Techniken unserer Zeit werden wir lernen müssen, uns in Verantwortung zurecht zu finden. Es geht immerhin um Lebens-Fragen.

Für mich waren die Sofa-Gespräche mit meiner Tochter Anlass, einmal aufzuschreiben, was das nun ist, ein „Gen“, wie die elementaren Lebensprozesse in der Natur funktionieren („Genetik“), und wie die „Gentechnik“ sich solche Einsichten zu Nutze macht.

2. Dem Geheimnis des Lebens auf der Spur

Was hinter dem steckt, was uns als „Leben“ begegnet – dieses Geheimnis hat Menschen schon immer neugierig gemacht.

In der Natur treffen wir auf eine ungeheure Vielfalt an Lebensäußerungen, uns begegnen Millionen von verschiedenen Arten – Pflanzen, Tiere, Bakterien. Aber wir wissen auch: Jede Art ist unverwechselbar, hat ihre typischen Eigenschaften, auch wenn es da einen gewissen Spielraum für Variationen gibt. Aus einem kleinen Samenkorn wächst immer ein ganz bestimmter Baum, arttypisch seine Größe, seine Gestalt, die Form seiner Blätter. Wir wissen das auch von uns Menschen: Kinder ähneln – mehr oder weniger – ihren Eltern.

Da wird etwas ver-erbt. Modern gesagt: Informationen werden weitergegeben (wir sprechen auch von Erbinformationen), und diese Informationen prägen sich dann in Eigenschaften und

Merkmale aus. Menschen haben schon immer gestaunt, dass im kleinen Samenkorn einer Pflanze ein umfassendes Programm steckt, dass in einem Apfelkern schon der ganze spätere Baum, sein Bau, sein Stoffwechsel vorgegeben sind. Wissenschaftler haben danach gefragt, wo das Programm steckt. Heute wissen wir: Es befindet sich in jeder einzelnen Zelle eines Lebewesens, noch genauer: im Zellkern. Dort ist die gesamte Erbinformation eines Lebewesens gespeichert.

Die Wissenschaft, die sich mit Vererbungsvorgängen beschäftigt, ist die GENETIK. Da steckt das Wort GEN drin. Wir werden auf den nächsten Seiten auf diese GENE (= Erbanlagen) stoßen. GENE gibt es nicht erst, seit die GENTECHNIK sich mit ihnen beschäftigt – sie waren schon immer in allen Lebewesen vorhanden. Wir werden uns damit beschäftigen, wie der Bauplan des Lebens, der in den Genen steckt, entschlüsselt, gelesen und umgesetzt wird.

Wir wollen uns in drei Anläufen dem Thema nähern:

1. Wo sind die Gene zu finden?
2. Was bewirken die Erbanlagen in einer Zelle, im „Haus des Lebens“?
3. Wie machen sich Gentechniker die neuen Einsichten der Biologie zunutze?

3. Spurensuche – wo stecken die GENE ?

Wo finden wir die GENE, wie ist die Erbsubstanz materiell aufgebaut?

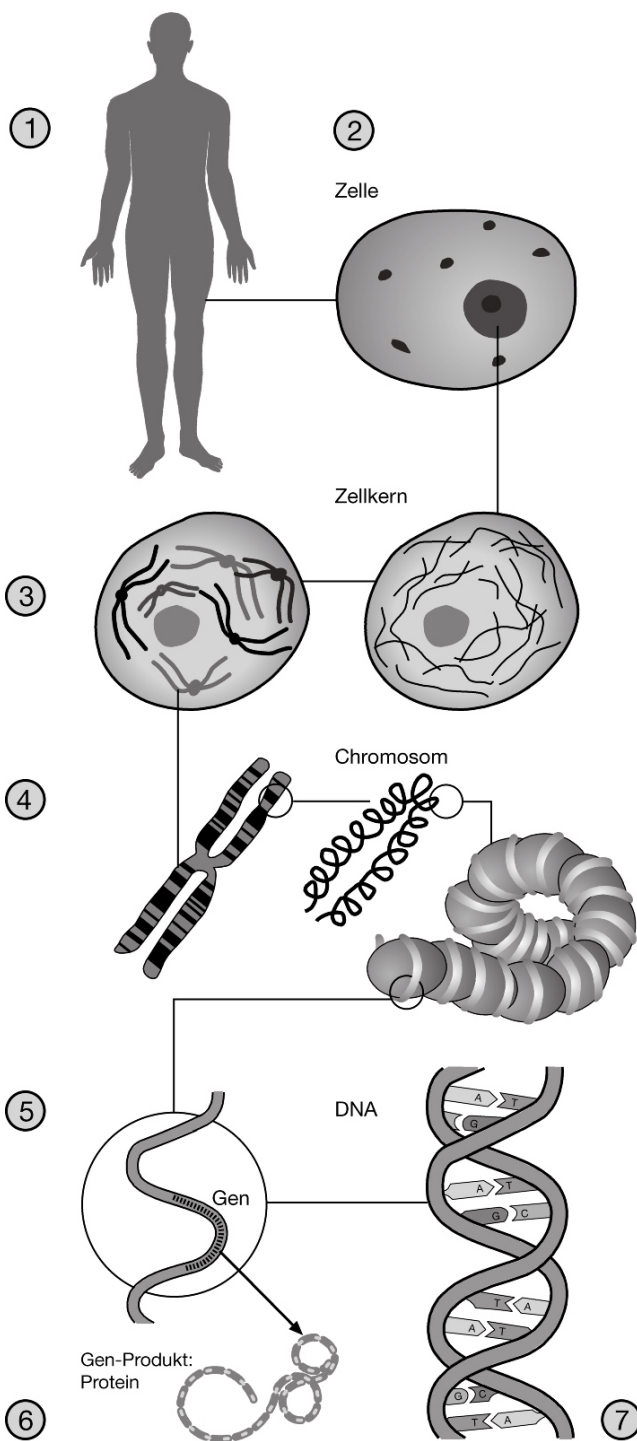
Die Biologie ist in den letzten 140 Jahren immer tiefer in die Geheimnisse des Lebens eingedrungen – von der Beschreibung ganzer Organismen bis hin zur Ebene der chemischen Grundbausteine des Lebens, bis zur Entschlüsselung des „genetischen Codes“. Im folgenden Bild ist der Bauplan des Lebens dargestellt, wie ihn Wissenschaftler in den letzten hundert Jahren Schritt um Schritt aufgeklärt und immer besser verstanden haben (siehe Abb.). Wir kommen gewissermaßen von außen her und nehmen ein immer stärkeres Vergrößerungsglas, um immer feinere Einzelheiten im Bauplan des Lebens in den Blick zu bekommen.

Ebene 1: der komplette Organismus

Wir haben zunächst einen kompletten Organismus mit seinen Merkmalen und Eigenschaften vor uns, hier einen Menschen (siehe 1). Da aber die Art, wie die Erbinformationen festgelegt sind und wie sie wirken, grundsätzlich für alle Lebewesen gleich ist, könnte der weitere Weg genauso am Beispiel einer Maus oder einer Tomatenpflanze dargestellt werden.

Ebene 2: Zellen

Der Körper des Menschen besteht – wie der jedes Lebewesens – aus **ZELLEN**. Bei der Bakterie ist das eine Zelle, bei einem erwachsenen Menschen sind es etwa 100 Billionen (siehe 2). Das ist eine eigentlich nicht vorstellbar große Zahl, in Ziffern geschrieben eine 100 mit 12 weiteren Nullen dahinter. Diese ungeheure Zahl von Zellen bildet sich innerhalb von wenigen Jahren durch fortwährende Teilung aus einer einzigen Zelle, aus der befruchteten Eizelle, mit der jedes menschliche Leben seinen Anfang nimmt und die halb vom Vater und halb von der Mutter stammt. Und auch jede der daraus entstehenden Zellen enthält dieses „Erbe“, die biologischen „Erb“-Eigenschaften von Vater und Mutter. Durch sie wird bestimmt, welche Körpergröße jemand erreicht, welche Augenfarbe er hat, dadurch wird reguliert, wann und wie eine Zelle sich teilt und damit das Gewebe verjüngt, durch sie ist festgelegt, welche Stoffe eine Zelle herstellt, wann sie das tut, in welcher Menge, und was damit im Stoffwechsel bewirkt wird.



Ebene 3: Zellkern

In fast jeder Zelle befindet sich ein **ZELLKERN** (siehe 3). Zum Beispiel haben Bakterien-Zellen keinen Zellkern (bei diesen „Prokaryo(n)ten“ hält sich das Erbmateriale ohne besondere Organisation in der Zellflüssigkeit auf). Alle anderen Lebewesen („Eukaryo(n)ten“) wie Hefen, Pflanzen, Tiere und Menschen haben in allen ihren Zellen einen Zellkern. Normalerweise jedenfalls; auch in unserem Körper gibt es Ausnahmen: die Blutkörperchen, die nur wenige Tage oder Wochen „leben“, besitzen keinen Zellkern.

Ebene 4: Chromosomen

Wir sind immer noch auf der Suche nach der Erbsubstanz. Sie befindet sich im Zellkern. Dort ist sie dicht zusammengepackt. In bestimmten Etappen der Zellentwicklung kann man die „Erbgut-Pakete“ sichtbar machen. Sie werden **CHROMOSOMEN** genannt (siehe 4). Der Name kommt daher, dass man diese Körperchen einfärben kann, wodurch sie gut ihre gestreifte Struktur zu erkennen geben („chroma“ ist im Griechischen das Wort für Farbe, „soma“ für Körper). Chromosomen kommen bei höheren Lebewesen fast immer in Paaren vor; dabei stammt jeweils eines von jedem Paar vom Vater und das andere von der Mutter.

Anzahl der Chromosomen in den Zellen verschiedener Lebewesen

Art	Anzahl der Chromosomen
Pferdespulwurm	2
Fruchtfliege	8
Weizen	42
Mensch	46
Schimpanse	48
Karpfen	104
Natternzunge	480

Die Gene sind in den Chromosomen verpackt. Jedes Chromosom enthält nur einen Teil der Erbanlagen, erst alle Chromosomen einer Zelle zusammen bilden gemeinsam das vollständige Erbgut eines Menschen (sein „Genom“).

Ebene 5: DNS

Die Chromosomen sehen ein bisschen wie Spindeln aus, auf denen ein Faden aufgewickelt ist. Und sie lassen sich tatsächlich aufdröseln. Wenn sich die Spindel abwickelt, wird ein langer Faden sichtbar. Die Chemiker sagen zu diesem zusammenhängenden Faden „Molekül“, und sie benutzen für dieses besondere Molekül im Zellkern den Namen **DESOXYRIBONUKLEINSÄURE** (siehe 5).

Desoxyribonukleinsäure (DNS) ist chemisch eine Säure, die sich im Zellkern (Kern = lat. Nukleus) befindet, und bei der ein wesentlicher Bestandteil der Zucker Desoxyribose ist.

Die DNS ist der materielle Träger der Erbinformationen. Das fadenförmige Molekül ist im Zellkern auf engstem Raum gepackt und vielfach verknäuelte. In Wirklichkeit liegt die DNS nicht in einem Molekül vor, sondern sie ist auf die 46 Chromosomen des Menschen verteilt. Die DNS aus einem einzigen Zellkern des Menschen (Durchmesser: ein Hundertstel Millimeter) wäre gestreckt ein etwa 1,70 Meter langer Faden. Wenn man sich alle Maße um den Faktor 100000 vergrößert vorstellt, dann wäre ein Mensch 170 Kilometer groß (so lang wie das Land Sachsen in West-Ost-Ausdehnung), eine Zelle hätte einen Durchmesser von 2 Metern, das DNS-Molekül wäre 170 Kilometer lang, aber auch in dieser Vergrößerung nur 0,3 Millimeter „dick“!

Ebene 6: Gene

Der DNS-Faden trägt den Bauplan des Lebens. Er enthält wie ein Schriftband hintereinander aufgereiht die „Bauanleitungen“ (oder „Kochrezepte“) für die Herstellung aller Stoffe, die eine Zelle und der ganze Organismus benötigen. Beim Menschen schätzt man, dass es etwa 22.000 verschiedene Bauanleitungen sind.

Und jeweils einen Abschnitt des DNS-Fadens, der eine solche Bauanleitung enthält, nennt man ein **GEN** (= Erbanlage; siehe 6). Und ein Gen ist (im Normalfall) jeweils zuständig für die Herstellung eines ganz bestimmten Eiweißstoffes, eines **PROTEINS**.

Ebene 7: „Doppelhelix“ und „genetischer Code“

Wenn man sich die DNS-Faden ansieht, handelt es sich zunächst um ein fadenförmiges Molekül. Bei genauerer Betrachtung liegen sich zwei einzelne Stränge gegenüber. Diese sind durch eine Art „Brücken“ oder „Sprossen“ miteinander verbunden. Das Ganze sieht aus wie eine verdrehte Strickleiter („Doppelhelix“ = schneckenartig verdrehter Doppelstrang). Und die Sprossen dieser Strickleiter werden von vier Bausteinen gebildet, von denen jeweils zwei zueinander passen, sich verhaken und eine feste Brücke bilden. Die Bausteine der Leitersprossen werden meist nur mit ihren Abkürzungen benannt: A und T liegen einander immer gegenüber, genau so tun das G und C.

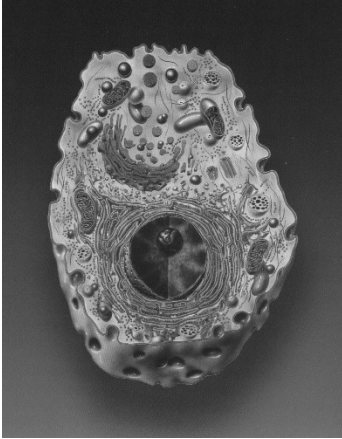
Und in der Reihenfolge, in der diese vier Bausteine A, T, G und C in der DNS aneinandergereiht sind, ist der „Text des Lebens“ festgelegt. Das Schriftband der DNS enthält alle „Kochrezepte“ und „Bauanleitungen“, die ein Lebewesen für seine Körperfunktionen benötigt. Die Informationen sind (in einer Art (Geheim-)Schrift) „verschlüsselt“. Dieser so genannte „genetische Code“ kommt mit den genannten vier „Buchstaben“ aus, von denen jeweils drei ein „Wort“ bilden, das die Zelle „übersetzen“ kann.

(vgl. hierzu auch Kap. 6.1.)

4. Was ist und was tut ein GEN ?

Wir wissen jetzt, wo sich die Gene befinden.

Nun kommt die spannende zweite Frage: Wie wird die Information, die Idee, die in dem Bauplan steht, von der Zelle in lebenswichtige Stoffe umgesetzt?



4.1. Die Zelle als das „Haus des Lebens“

Wir wollen versuchen, uns das Geschehen zunächst an einem Bild aus dem Alltag deutlich zu machen. Wir stellen uns vor, dass eine Zelle das „Haus des Lebens“ ist.

In diesem Haus gibt es verschiedene Räume.

Für uns besonders wichtig ist einmal die „Bibliothek“. In ihr wird das Geheimnis des Lebens aufbewahrt.

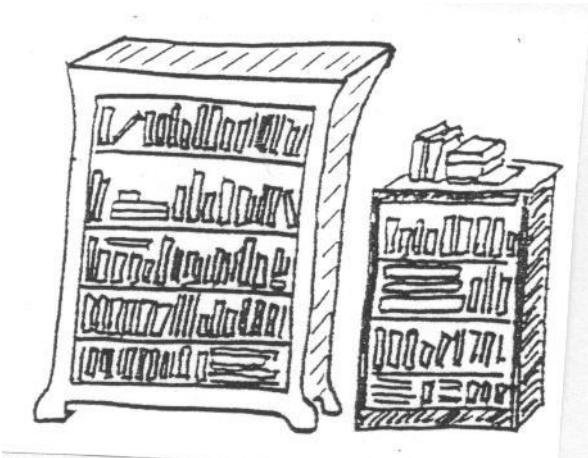
Der zweite wichtige Raum ist eine Art „Küche“ oder „Werkstatt“, in der die Stoffe hergestellt werden, die fürs Leben benötigt werden.

Wir nennen diese Stoffe zunächst einmal einfach „Lebens-Mittel“ und meinen damit die Substanzen, aus denen der Körper eines

Lebewesens aufgebaut ist, die seinen Stoffwechsel regeln, sein Verhalten steuern usw.

Außer diesen beiden Räumen hat die Zelle noch weitere – zum Beispiel ein kleines Kraftwerk zur Energieversorgung oder ein Rohrpostsystem zur Verteilung der Stoffe an die richtige Stelle oder Vorratskammern, in denen Stoffe gespeichert werden.

4.2. Die Bibliothek – das Geheimnis des Lebens wird gehütet



Wir betreten nun die „Bibliothek“. Eine solche (komplette!) Bibliothek befindet sich im Zellkern jeder Zelle des Körpers.

Im Weiteren verwenden wir die uns vertraute Vorstellung, dass Informationen gedruckt in Form von Büchern vorliegen (in der Wirklichkeit einer Zelle wäre mehr an ein endlos langes Schrift-Band zu denken). Wenn die Erb-Informationen, die im Zellkern einer menschlichen Zelle zusammengepackt sind, in der für uns gewohnten Druckschrift in Büchern niedergeschrieben würden, wären etwa 1000 Bücher mit jeweils 1000 Seiten erforderlich.

In unserer gedachten Bibliothek stehen genau 46 Regale und Bücherschränke, vollgestellt mit mehr als 2000 Büchern. Die 46 Regale sollen verdeutlichen, dass die Erbinformation des Menschen in jedem Zellkern auf 46 Chromosomen verteilt ist. Und von diesen 46 Regalen voller Bücher hat ein Mensch jeweils die Hälfte (23 Chromosomen) von seiner Mutter und die andere Hälfte (auch 23) von seinem Vater geerbt (daher bekommen Worte wie „Erb-gut“, „Erb-substanz“, „Erb-information“ usw. ihren Sinn

**Umfang der genetischen Information,
die in einer Zelle bei verschiedenen Lebewesen gespeichert ist**
(Vorstellung: gedruckte Information in Büchern; 3000 Buchstaben auf
einer Seite, 1 Buch = 1000 Seiten)

Lebewesen	Anzahl der „Buchstaben“	Umfang gedruckt
ein Gen	100 bis 1000	wenige Zeilen
Bakterie	4 Millionen	Textumfang der Bibel
einfacher Wurm	97 Millionen	Regal mit 33 Büchern
Mensch	6,6 Milliarden	Bibliothek 2200 Bücher
Weizen	17 Milliarden	Bibliothek 6000 Bücher

Im Prinzip ist also jedes Buch in der Bibliothek zwei Mal vorhanden. Eins steht im väterlichen und ein gleiches Exemplar noch einmal im mütterlichen Schrank. Damit ist die Zelle doppelt abgesichert; ihre Bibliothek beherbergt den Bauplan des Lebens in zweifacher Ausführung! Dass alle Erbinformationen exakt in doppelter Ausführung vorhanden sind, stimmt nicht ganz. Männer und Frauen unterscheiden sich, weil bei Männern in ihren Zell-Bibliotheken gleich ein halbes Regal und damit eine ganze Anzahl Bücher fehlen. Männer haben von manchen Büchern nur ein Exemplar geerbt. Ein Chromosom, das Y-Chromosom heißt und vom Vater stammt, ist bei Männern etwas kürzer als sein zugehöriges Partner-Chromosom, das so genannte X-Chromosom aus dem mütterlichen Erbe. Dieser „kleine Unterschied“ in der Größe von X- und Y-Chromosom macht Männer gewissermaßen zu „Defekt-Lebewesen“, ihnen fehlt etwas. Und wenn zum Beispiel auf dem nur einmal vorhandenen (mütterlichen) X-Chromosom ein „falscher“ Text steht, der für die Erbkrankheit Rot-Grün-Farbenblindheit verantwortlich ist, dann ist im Regal des (väterlichen) Y-Chromosoms keine „richtige“ zweite Fassung von diesem Text vorhanden, die den Fehler korrigieren, ausgleichen könnte. So leiden viel mehr Männer als Frauen an dieser Erbkrankheit, weil Frauen nur erkranken, wenn bei ihnen beide X-Chromosomen den gleichen Fehler tragen.

Die „Bibliothek des Lebens“ ist bei verschiedenen Lebewesen übrigens unterschiedlich groß. Bei den einfachsten Vorstufen von Leben, bei den Viren, könnte man die notwendigen Informationen auf ein paar Zetteln niederschreiben. Aber schon der Text, der die Lebensprozesse einer Bakterienzelle beschreibt, würde zwei Bücher vom Textumfang der Bibel füllen, und ein einfacher Wurm benötigt für „seinen“ Bauplan schon ein Regal mit 33 Büchern. Beim Weizen wären es drei Mal so viele Bücher wie beim Menschen.



Und stehen da bei jedem Lebewesen andere Bücher mit jeweils ganz unterschiedlichem Inhalt in der Bibliothek? Erstaunlicherweise nicht. Die Lebens-Bücher aller Lebewesen sind in der gleichen „Sprache“ geschrieben. Das heißt, dass grundsätzlich das Einfügen von „fremden“ Texten (aus den Zellen anderer Lebewesen) in die Bibliothek eines Organismus möglich ist, dass also auch ein anderes Lebewesen diesen Text „lesen“ und „verstehen“ kann. Und wenn man unterschiedliche Lebewesen miteinander vergleicht, stellt sich heraus, dass ohnehin ein Großteil des Erbgutes in ihren Bibliotheken gleich ist. So enthält zum Beispiel die Bibliothek eines einfachen Wurmes mit dem

Namen „c. elegans“ zu mehr als der Hälfte Texte (Gene), die auch im menschlichen Erbgut vorkommen!

Wenn wir nun in der Bibliothek ein Buch in die Hand nehmen würden, begegnete uns ein fortlaufend geschriebener Text – ohne Punkt und Komma.

Die Biologen haben in den letzten Jahrzehnten gelernt, einzelne Abschnitte ausfindig zu machen, die sinnvolle, für uns verstehbare Erb-Informationen enthalten (sie werden GENE genannt). Beim Menschen vermutet man, dass etwa 22.000 unterscheidbare Gene vorliegen. Es wird geschätzt, dass nur zwei Prozent, ein Fünzigstel des gesamten Textes in der Bibliothek des Lebens beim Menschen, solche für uns verstehbare, sinnvolle Botschaften beinhalten. Das ist ausreichend Platz, um viele Tausend verschiedene „Kochrezepte“ und „Bauanleitungen“ für die Herstellung wichtiger Stoffe im Körper zu speichern. Dass die „restlichen“ 98 Prozent der Buchseiten nicht nur sinnlosen „Informations-Müll“ enthalten, wie man lange meinte (zum Beispiel Dopplungen von Texten), dass sie wichtige Botschaften „in Reserve“ aufbewahren oder für den Organismus beim Lesen und Verstehen der „echten“ Gene wichtig sind, ist in den letzten Jahren deutlich geworden.

Die Bibliothek bewahrt einen einmaligen, wertvollen Schatz auf. Es handelt sich um die Lebenserfahrungen vieler Generationen, die hier niedergeschrieben sind, um vielfach erfolgreich erprobte Lebens-„Rezepte“.

Dieser Schatz muss zunächst als Ganzes bewahrt, vervielfältigt und an die Nachkommen weiter-vererbt werden.

Deshalb wird jedes Mal, wenn eine Zelle sich teilt, die ganze Bibliothek komplett abgeschrieben, und jede der Tochter-Zellen bekommt eine vollständige Kopie, eine Abschrift aller 2000 Bücher!

Zellteilungen sind einmal dazu nötig, damit aus der einen befruchteten Eizelle, mit der das Leben eines Menschen beginnt, die vielen Billionen Zellen werden können, die später den Organismus bilden. Zum anderen gehen im Laufe des Lebens eines Menschen viele Zellen durch Alterungsprozesse zu Grunde, für die Ersatz zur Verfügung stehen muss – auch hier sorgen bestimmte Zellen (so genannten Stammzellen) für den notwendigen Nachschub, indem sie sich teilen.

Wie schafft es nun so ein winzig kleiner Zellkern, die Information aus 2000 Büchern zu kopieren?



Da entsteht ein hektisches Treiben in der Bibliothek. Einige tausend „Schreiber“ sind gleichzeitig am Werk. Sie beginnen an verschiedenen Stellen im Text mit dem Abschreiben. Und obwohl sie sehr fleißig sind, dauert der Kopiervorgang für den gesamten Bücherbestand in einer menschlichen Zelle etwa acht Stunden. Unter diesen Bedingungen ist es verständlich, dass Abschreibe-Fehler vorkommen, zum Beispiel Buchstaben verwechselt oder vergessen werden.

In den alten „Büchern des Lebens“ sind manche Buchstaben fehlerhaft, manchmal sind auch ganze Seiten irrtümlich in einem anderen Buch eingeklebt worden. Um dennoch die Zahl der Fehler beim Abschreiben möglichst gering zu halten, sind in der Schreibstube ständig „Kontrollure“ unterwegs, die die Originaltexte und die davon hergestellten Abschriften miteinander vergleichen. Diese „Wächter“ können kleinere Abweichungen korrigieren. Wenn die Abweichungen so dramatisch sind, dass eine Korrektur nicht mehr möglich ist und die Gefahr schwerwiegender Störungen für die betroffene Zelle besteht, setzen die „Wächter“ einen Selbstzerstörungsmechanismus in Gang, der die betroffene Zelle abtötet. Aber auch aufmerksame „Wächter“ können einzelne Abschreibe-Fehler übersehen (oder tolerieren). Damit sind die Kopien eben doch nie ganz gleich. Beim Menschen zeigt sich das so, dass durchschnittlich aller 500 bis 1000 Buchstaben im Text eine Abweichung im Buchstaben-Muster vorkommt (in der Regel treten solche Kopierfehler nicht in den sinntragenden, lebenswichtigen Abschnitten der Erbsubstanz, in den Genen, auf, sondern in außerhalb liegenden Bereichen). Dieser „kleine Unterschied“ (eine Abweichung von 0,1 Prozent von Mensch zu Mensch) ist die Ursa-

che dafür, dass wir uns eben doch alle voneinander unterscheiden, dass jeder Mensch einzigartig (ein „Individuum“) ist.

4.3. In der Küche: Wie aus Kochrezepten „Lebens-Mittel“ werden

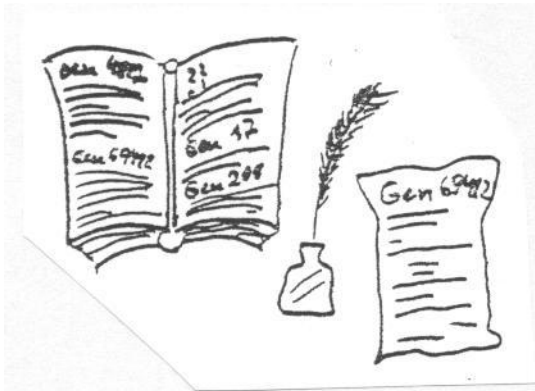
Das war die eine Aufgabe im Haus des Lebens, das wertvolle „Erbe“ von Generation zu Generation, von Zelle zu Zelle, aber auch in der Vererbung im Großen an Kinder und Kindes-kinder weiter zu geben.

Die zweite Aufgabe ist nun, aus den theoretischen Botschaften, die in den Büchern des Lebens aufgeschrieben sind, greifbare stoffliche Lebens-Wirklichkeit werden zu lassen.

Wir stellen uns vor, aus irgendeiner anderen Zelle wird Bedarf angemeldet. Benötigt wird ein bestimmter Stoff zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort in einer bestimmten Menge!

Der Bote, der diese Nachricht überbringt, sorgt für Aufregung in der Bibliothek.

Zunächst wird ein „Schreiber“ beauftragt herauszufinden, in welchem Buch an welcher Stelle das Kochrezept für den benötigten Stoff aufgeschrieben ist. Dann fertigt er – diesmal nur von dem benötigten Text-Abschnitt – eine Abschrift an. Warum wird nicht gleich das ganze Kochbuch in die Küche gebracht? Das Original des Koch-Rezeptes ist viel zu wertvoll. Es darf die Bibliothek nicht verlassen, nur eine Kopie wird nach draußen abgegeben, das Original wird ordentlich ins Regal zurückgestellt.



Ein „Bote“ (das Boten-Molekül heißt messenger-RNA) bringt den Zettel mit der Abschrift in die „Küche“ (oder auch „Werkstatt“) der Zelle. Auf dem Türschild zu diesem Raum steht bei den Biologen die Bezeichnung „Ribosom“.

In der Küche warten bereits die „Köche“. Sie verstehen es, die Geheimschrift des Textes, der nun vor ihnen liegt, zu lesen und den Inhalt der Botschaft zu verstehen und zu übersetzen.

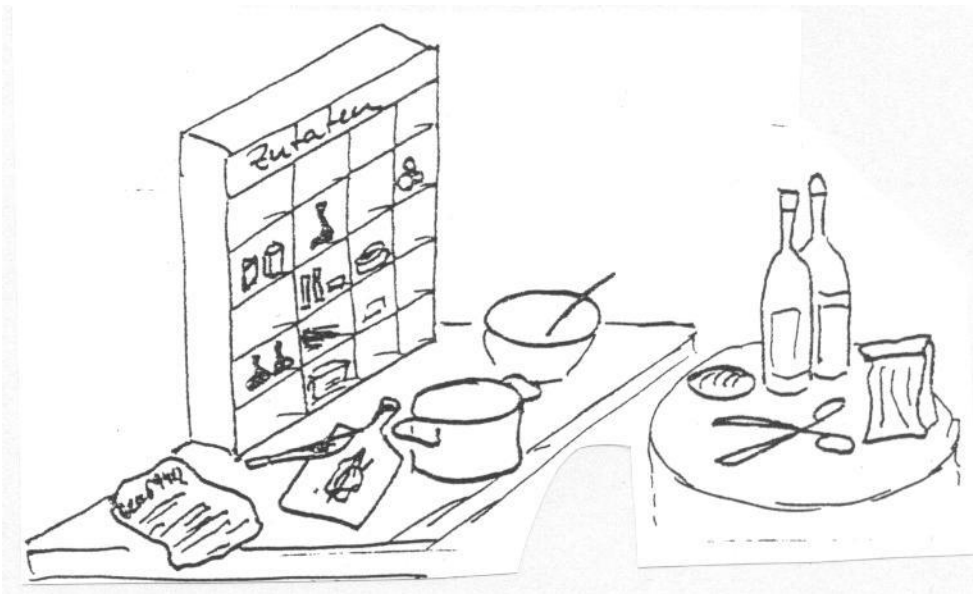
Und in der Küche steht ein Regal, in dem sich alle „Zutaten“ befinden, die für die Stoffe in Lebensprozessen benötigt werden.

Nur *ein* Regal? In der „Küche“ im Haus des Lebens geht es tatsächlich extrem sparsam zu: Im Zutaten-Regal befinden sich nur 20 Grund-Bausteine (es sind verschiedene Aminosäuren), aus denen sich die vielen tausend verschiedenen Substanzen zusammen-puzzeln, zusammen-rühren lassen, die in Lebewesen vorkommen.

In dem Koch-Rezept, das die Köche jetzt vor sich liegen haben, bilden je drei aufeinander folgende „Buchstaben“ jeweils ein „Wort“. Und am Regal mit den 20 Zutaten steht jeweils als Bezeichnung der Zutat das gleiche Wort.

Die Köche nehmen nun also in der Reihenfolge der Worte in der Vorschrift eine Zutat nach der anderen aus dem Regal und kleben sie eine an die andere. Es entsteht eine Kette (ein langes Eiweiß-Molekül, das aus einzelnen Aminosäuren zusammengesetzt ist). Und irgendwann steht im Rezept ein Wort, das STOPP bedeutet.

Die Kocherei wird beendet. Jetzt ist der gewünschte Stoff fertig. Bei Bedarf kann das gleiche „Rezept“ gleich wieder eingesetzt werden (unter Umständen viele tausend Male hintereinander), bis die „bestellte“ Menge des gewünschten Stoffes vorliegt.



Die „Rezepte“ (Gene) werden von den Zellen oft in unterschiedlicher Weise gelesen und interpretiert, einzelne Textabschnitte können zu verschiedenen Kombinationen zusammengestellt werden, sodass das „Menü“ einmal reichhaltiger und ein andermal sparsamer ausfallen kann.

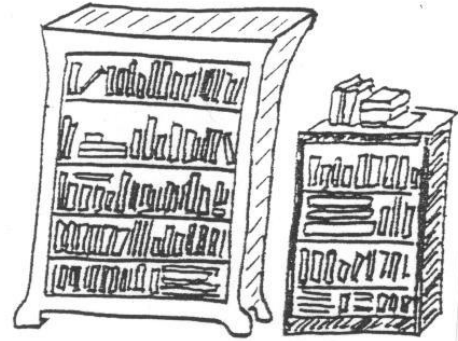
Das Produkt wird abschließend noch mit einem Adressaufkleber versehen und in eine Art Rohrpost-System gegeben, das ihn an die richtige Stelle befördert, dorthin, wo er im Haus des Lebens gebraucht wird.

Die vorstehende Darstellung war der Versuch, die Vorgänge in einer Zelle in vorstellbare Bilder aus dem Alltag zu übertragen. Ein bisschen anders laufen die wirklichen Vorgänge in einer Zelle natürlich ab. Wie das alles in der Sprache der Wissenschaft benannt und beschrieben wird, steht im Anhang (Kap. 6).

Auf der nächsten Seite ist aber zunächst ist noch einmal das ganze Bild vom Haus des Lebens dargestellt – und was so in den einzelnen Zimmern passiert.

4.4. Die Zelle als das „Haus des Lebens“ (Zusammenfassung)

1) Im Kern jeder Zelle befindet sich die komplette „Bibliothek des Lebens“. Die Erbinformationen sind dort in „chemischer Schrift“ niedergelegt. Das verwendete „Alphabet“ hat nur vier Buchstaben. Beim Menschen entspräche das in ausgedruckter Form einer kleinen Bibliothek von zwei Mal Tausend Büchern mit je 1000 Seiten, bedruckt mit jeweils 3000 Buchstaben je Seite. Dieser „Text“ ist auf 46 Regale (= Chromosomen) verteilt.



2) Der Inhalt der „Bücher des Lebens“: „Koch-Rezepte“ und „Bauanleitungen“ für „Lebens-Mittel“ (beim Menschen gibt es etwa 40.000 solcher „Gene“).



A) die erste Aufgabe:

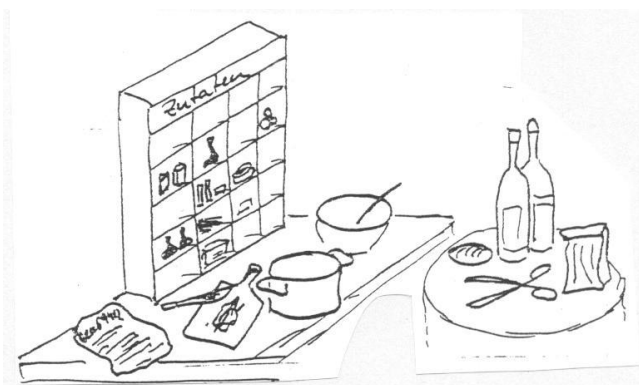
Die wertvollen Informationen sollen aufbewahrt und an die Nachkommen weitergegeben („vererbt“) werden.

3) Vor jeder Zellteilung wird der Text der gesamten Bibliothek abgeschrieben.

B) die zweite Aufgabe: Je nach Bedarf des Organismus (Wann wird an welcher Stelle welche Menge von einem bestimmten Stoff benötigt?) werden einzelne Kochrezepte kopiert, um danach die gewünschten Stoffe herzustellen.



4) Das wertvolle Originalrezept bleibt in der Bibliothek. Dort wird nur der benötigte Einzeltext abgeschrieben und eine Kopie des Kochrezepts wird in die Werkstatt gebracht.



5) Aus lediglich 20 Zutaten werden viele Tausend verschiedene „Lebensmittel“ und „Werkzeuge“ zur Regulierung des Stoffwechsels hergestellt.

5. Gentechnik – Frevel oder Fortschritt?

„Gentechnik“ – der Begriff klingt für viele Ohren immer noch recht neu und fremdartig. Dabei gehört Gentechnik schon länger zu unserem Alltag. Zuerst hat sie in den Labors der Biologie Fuß gefasst, wo schon vor 30 Jahren zum ersten Mal Erbanlagen erfolgreich isoliert und auf andere Arten von Lebewesen übertragen wurden. Obwohl also das Zeitalter der modernen Biotechnologie langsam in die Jahre kommt, bestimmen Neuigkeiten aus der Gentechnik, aus der Fortpflanzungsmedizin immer wieder die Schlagzeilen der Medien.

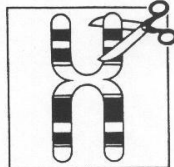
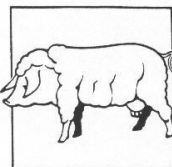
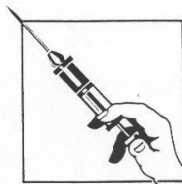
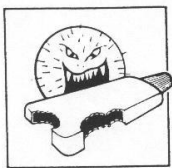
Für eine breitere Öffentlichkeit ist das Thema Mitte der 1990er Jahre spannend geworden, seit die Gentechnik unübersehbar auch Einzug in den Alltag gehalten hat. Im Regal von Tankstellen lag der Erdnuss-Riegel „Butterfinger“ – das erste Nahrungsmittel in Deutschland mit der Kennzeichnung: „Aus genetisch verändertem Mais hergestellt“. Die Einwohner mancher Dörfer staunten darüber, dass gleich hinter ihrem Gartenzaun (noch als Versuchs-Pflanzung) gentechnisch veränderte Raps- oder Maispflanzen aufwuchsen. Viele Schwangere erleben es heute fast schon als Standard-Angebot, dass sie dazu aufgefordert werden, das heranwachsende Kind doch zur Sicherheit auch genetisch testen zu lassen. Und manche Patienten lesen auf ihrem Beipackzettel, dass das vom Arzt verschriebene Medikament gentechnisch hergestellt worden ist.

Solche Nachrichten oder direkten Begegnungen mit „Gentechnik“ machen manche Zeitgenossen neugierig, sie staunen, sind fasziniert, welche Möglichkeiten sich dem Menschen im beginnenden 21. Jahrhundert neu bieten. Andere Beobachter reagieren auf die gleichen Meldungen mit Nachdenklichkeit, bekommen vielleicht auch Angst vor unwägbareren Folgewirkungen.

Wenn Anfang des Jahres 2000 gleich zwei Mal (in der Wissenschaftszeitschrift GEO und später wortgleich im Wochenmagazin DER SPIEGEL) die Überschrift auftaucht:

„Gentechnik – die zweite Schöpfung“,

dann werden in solchen Formulierungen sehr schnell die tieferen Dimensionen des Themas deutlich. Wenn von TECHNIK die Rede ist, dann schwingt wohl immer auch der Stolz des modernen Menschen mit, zu welcher erstaunlichen Leistungen er bei der Gestaltung und Veränderung der Welt fähig ist. Uns ist längst klar: Umgang mit Technik bedeutet immer auch Umgang mit Macht, und da liegt die Frage nicht fern, wie ein verantwortlicher Umgang mit



Macht aussehen könnte. Und wenn Technik sich nicht mit mechanischen oder chemischen Neuerungen präsentiert, sondern Lebensprozesse genutzt und gestaltet werden („BIO“-Technologie) oder die Erbanlagen von Lebewesen verfügbar werden („GEN“-Technik) – dann sind diese neuen Möglichkeiten von Biologie und Medizin im Umgang mit dem Leben wesentlich aufregender als andere technische Neuerungen.

Und dann wird überraschenderweise noch eine Dimension angesprochen, die man in einem populär-wissenschaftlichen oder in einem politischen Magazin gar nicht ohne weiteres erwartet: SCHÖPFUNG, eine zweite Schöpfung gar, die über das hinausgeht, was der Mensch an Lebens-Wirklichkeit in dieser Welt vorgefunden hat. Eine Gratwanderung deutet sich an, auf die wir uns begeben. Ist das nun „... ein Schritt auf dem Weg ins menschengemachte Paradies ... oder eher gefährliche Anmaßung“ (so fragte GEO)? Der

Balance-Akt lässt sich in seiner Tiefendimension wohl nur in religiöser Sprache angemessen auszudrücken.

Wenn man sich den täglichen Medienberichten aussetzt, prasseln die Versprechen und Verheißungen der Gentechnik auf uns nieder. Da ist von neuen Möglichkeiten in der Biologie der Fortpflanzung die Rede (Menschen nach Maß durch vorgeburtliche Kontrolle?), da geht es um Linderung oder sogar ursächliche Heilung von Krankheiten (von der Herstellung von Medikamenten bis zur gentechnischen „Reparatur“ von Erbkrankheiten), Haustiere und Nutzpflanzen werden verändert mit dem Ziel höherer Erträge oder verbesserter Nährstoffzusammensetzung (ein immer wieder beschworenes Ziel: Lösung des Welt-Hungerproblems), und es gibt Berichte über den Einsatz von Mikroorganismen im Umweltschutz.

Was wir da so erfahren, aus Zeitung und Fernsehen – wie erlebe ich das, sind das für mich Hoffnungssignale oder sind es Schreckensmeldungen?

Was bringe ich zum Gespräch über das Thema Gentechnik mit, an Erfahrungen, an Wertungen? Bin ich für die Anwendung der Gentechnik oder spricht für mich mehr dagegen? Ist Gentechnik für mich Frevel oder bedeutet sie Fortschritt? Oder erlebe ich sie in der einen Anwendung als durchaus segensreich, in einem anderen Fall aber als gefährlich?

In (Streit-)Gesprächen wird schnell deutlich: es geht nicht nur um nüchterne, rationale Naturwissenschaft. Gefühle, Interessen, die eigene Betroffenheit, Werte oder Rechte sind berührt und spielen in die Diskussion hinein.

Von vielen Menschen werden Anwendungen der Gentechnik in der Humanmedizin positiv bewertet. Große Hoffnungen verbinden sich mit der Aussicht auf Heilung oder Linderung von Krankheit und Leid. Das Auftauchen gentechnischer Bestandteile in Nahrungsmitteln wird meist kritischer betrachtet. Um sich selbst eine Meinung bilden zu können, werden wertfreie, nicht-interessengebundene Informationen gesucht. Manchmal werden im Gespräch spektakuläre Vermutungen (ich habe da gehört ...) als gesichertes Faktenwissen eingebracht (und mit positiven Erwartungen oder mit Ängsten befrachtet), obwohl vieles davon bei nüchterner Betrachtung eher in den Science-Fiction- und Horror-Bereich gehört. Viele Beobachter sind hin und her gerissen wegen der grundsätzlichen Ambivalenz (= der Doppel-Gesichtigkeit) von Technik. Neben dem gewünschten guten Gebrauch könnten Probleme durch nicht vorhergesehene Neben- und Folgewirkungen auftreten. Wirtschaftliche, politische oder militärische Interessen könnten zu Missbrauch führen. Wissenschaftlicher Ehrgeiz könnte sich verselbständigen. Um alldem zu steuern, werden Grenzziehungen eingefordert. Allerdings erwartet man von der Politik hier in der Regel nicht allzu viel, und auch den Akteuren in Wirtschaft und Wissenschaft wird (zu) wenig Verantwortung für gesellschaftliche Auswirkungen ihres Tuns zugetraut. Die eigene Verantwortung, die auch der Verbraucher als potenzieller Nutznießer gentechnischer Angebote zu tragen hat, wird kaum wahrgenommen und in ihrer Tragweite (und den damit verbundenen Handlungsmöglichkeiten) oft unterschätzt.

5.1. Was macht ein Gentechniker?

Gentechnik ist kein neuer Wissenschaftszweig. Gentechnik ist eine Art „Werkzeug-Kiste“, eine Sammlung von verschiedenen Techniken, die zum Verstehen von Lebensprozessen auf der Ebene der Gene beitragen oder Veränderungen im Erbgut ermöglichen.

Definitionen:

GENTECHNIK: „Unter dem Begriff Gentechnologie versteht man die Gesamtheit der Methoden zur Charakterisierung und Isolierung von genetischem Material, zur Bildung neuer Kombinationen genetischen Materials sowie zur (Wieder-)Einführung und Vermehrung des neu-

kombinierten Erbmateriale in anderer biologischer Umgebung.“ (Enquete-Kommission „Gentechnologie“ des Deutschen Bundestages 1987)

Der Begriff **BIOTECHNOLOGIE** umfasst die technisch gesteuerte Produktion organischer Substanzen durch Lebewesen. Auch die moderne Land- und Forstwirtschaft, nicht nur mikrobielle Verfahren, zählen im weiteren Sinn zur Biotechnologie.

Stichworte wie Klonierung, In-vitro-Fertilisation („Retorten-Babys“) oder Leihmütter gehören in die Rubrik **FORTPFLANZUNGSBIOLOGIE**. Zu Gentechnik oder Biotechnologie besteht kein unmittelbarer Zusammenhang.

Methoden der GENTECHNIK

Verschiedene Methoden der Gentechnik haben es möglich gemacht, dass man heute das Genom (das gesamte Erbgut) lebender Organismen wie mit einem Textverarbeitungsprogramm bearbeiten kann: interessante Textbausteine suchen, markieren, kopieren, ausschneiden, löschen, korrigieren, verändern, neu entwerfen, in andere Texte einfügen.

Die Methoden der Gentechnik sind weithin nicht Erfindungen des Menschen, sondern von Bakterien, die diese biochemischen Werkzeuge benutzen (z.B. Verdauungs-Enzyme, mit deren Hilfe wie durch chemische Scheren große Moleküle zerschnitten werden, oder „Klebstoffe“, mit deren Hilfe DNS-Fragmente unterschiedlicher Herkunft zusammengefügt werden können).

Als „Vektoren“ (Überträger, „Schmuggler“) für fremdes Erbgut dienen z.B. Plasmide (kleine Ringe von DNS in Bakterien) oder Viren. Sie können in Zellen eindringen und nehmen dabei auch die ihnen eingebauten fremden Gene mit.

Welche Möglichkeiten sich durch Nutzung der Gentechnik grundsätzlich eröffnen, wollen wir uns deutlich machen, indem wir das Bild vom Haus des Lebens aus Kapitel 4 noch einmal aufgreifen.

lesen

Gentechniker möchten die Reihenfolge der chemischen Buchstaben herausfinden, die die Erbsubstanz bilden. Für das menschliche Erbgut mit seinen mehr als 3 Milliarden Buchstaben liegt der „Text“ inzwischen fast vollständig vor – ohne dass damit auch schon verstanden wäre, welcher Informations-Inhalt sich hinter diesem „Buchstabensalat“ verbirgt!

verstehen

Man möchte verstehen, welche Informationen in dem Text niedergelegt sind, welcher Textabschnitt ein Kochrezept darstellt, und für die Produktion welchen Stoffes er zuständig ist. Um das herauszubekommen, kann jemand in der Bibliothek des Lebens einen Textteil entfernen oder unleserlich machen. In der „Werkstatt“ kann dann die entsprechende Substanz nicht mehr hergestellt werden und ihr Fehlen im Stoffwechsel einer Zelle würde sich in veränderten oder ausfallenden Funktionen des Organismus bemerkbar machen. Gentechnik macht es so möglich, die Funktion von einzelnen Genen aufzuklären und zu verstehen. Gene werden der Reihe nach unwirksam gemacht (z.B. indem man sie zerschneidet), und danach kann festgestellt

werden, welche Wirkung nun fehlt. Eine Anwendung besteht in der Aufklärung der molekulargenetischen Ursachen für Krankheiten.

analysieren

Gentechnik ermöglicht die gezielte Suche nach bestimmten Text-Abschnitten im Erbgut. Dazu würde beispielsweise die Antwort auf die Frage gehören, ob ein Mensch als Täter bei einem Verbrechen in Frage kommt. Gentechnische Verfahren machen es möglich, durch Analyse seiner Erbsubstanz ein unverwechselbares Gen-Profil zu erstellen („genetischer Fingerabdruck“ als ein einmaliges, für dieses Individuum typisches Buchstabenmuster), das mit Erbgut-Spuren vom Tatort verglichen werden kann. Auch bei der Feststellung von Verwandtschaftsbeziehungen (Vaterschafts-Test, Abstammungs-Nachweise in Familien oder Volksgruppen) werden solche Methoden heute routinemäßig angewandt. Man schickt z.B. „Spürhunde“ auf die Suche, so genannte Gensonden. Dabei handelt es sich um kurze Stücke Erbsubstanz, die künstlich hergestellt werden und die eine ganz bestimmte Buchstabenfolge enthalten. Sie schwimmen in einer Lösung, in der sich auch die zu untersuchende Erbsubstanz befindet. Die Sonde lagert sich an fremde Erbsubstanz an, aber nur dann, wenn dort genau das passende Gegenstück vorhanden ist, also alle Buchstaben der Sonde genau durch ihr Gegenstück ergänzt werden können.

(aus-)schneiden

Gentechnik setzt gezielt Enzyme (Restriktionsendonukleasen) als „chemische Scheren“ ein, um den Molekülfaden der DNS an genau definierten Stellen aufzuschneiden. Damit können einzelne Gene zugänglich und verfügbar gemacht und evtl. auf andere Lebewesen übertragen werden. Es gibt einige hundert verschiedene „Scheren“, die jeweils ganz typische „Buchstaben-Folgen“ im Erbgut erkennen und dort eine Trennung durchführen.

(ein-)kleben

Gentechnik kann bestimmte Enzyme (Ligasen) als „Kleber“ nutzen, um Gene miteinander zu verbinden. Die Herkunft der Gene kann beliebig unterschiedlich sein: es wäre, bildlich gesprochen, kein Problem, ein Bibelzitat mit einem Abschnitt aus der Steuererklärung dauerhaft zu verbinden.

vervielfältigen

Es gibt Techniken, mit deren Hilfe ein gewünschtes Stück Erbsubstanz immer neu um die notwendigen Bausteine ergänzt, kopiert und vervielfältigt werden kann.

übertragen

Gentechnik macht es möglich, Gene einer biologischen Art in das Erbgut einer ganz anderen Art einzufügen und in der neuen Umgebung zur Ausprägung ihrer mitgebrachten Eigenschaften zu bringen. Die Artgrenzen der Biologie, die unter anderem so definiert sind, dass ein Austausch von Erbgut im Normalfall nicht erfolgt, gelten damit im Zeitalter der Gentechnik nicht mehr. Menschliche Gene können auf Bakterien übertragen werden und sind dort funktionsfähig, Gene aus dem Erbgut von Schweinen lassen sich erfolgreich auf Tabakpflanzen übertragen.

Wie das alles konkret funktioniert, soll an einem Beispiel deutlich gemacht werden. Es geht um eine Anwendung der Gentechnik, die schon seit mehr als 20 Jahren großtechnisch durchgeführt wird, die Herstellung eines wichtigen Medikaments: INSULIN.

5.2. Gentechnik in der Herstellung von HUMAN-INSULIN

Michael ist elf Jahre alt. Vor drei Jahren geriet er, ganz plötzlich, in eine lebensbedrohliche Situation. Seine Bauchspeicheldrüse funktionierte nicht mehr, ihre „Inselzellen“ stellten kein Insulin mehr zur Verfügung. Dieses Hormon sorgt im gesunden menschlichen Organismus dafür, dass der Zuckergehalt des Blutes in erträglichen Grenzen ausbalanciert wird. Michael erfuhr schmerzlich, dass er Diabetiker ist, „zuckerkrank“. Seitdem muss dieser Junge sich mehrmals täglich selbst eine Spritze geben und seinem Körper Insulin zuführen. Beim Blick auf die Packungsbeilage seines Medikaments wird klar: Es handelt sich zum einen um „Human-Insulin“, das heißt, es ist chemisch der gleiche Stoff, den sonst nur gesunde Zellen im menschlichen Organismus bereitstellen können, und dieser Stoff wird „gentechnisch hergestellt“.

Das Verfahren wird großtechnisch seit Anfang der 1980er Jahre eingesetzt.

Das Prinzip der gentechnischen Herstellung von Insulin soll anhand eines Bildes verdeutlicht werden. Man benötigt zunächst den „Bauplan“ zur Insulinherstellung. Im Zellkern jeder Zelle des menschlichen Körpers ist die Erbsubstanz dicht zusammengepackt. Sie enthält – auf einem Faden-Molekül aneinander gereiht – alle notwendigen Informationen und Baupläne, die festlegen, wie der Organismus aufgebaut ist und wie sein Stoffwechsel funktioniert. Der Zellkern wird ins Reagenzglas verbracht und das Erbmolekül (DNS) dort freigesetzt. Mit Hilfe von Enzymen (das sind chemische Substanzen, die wie Scheren wirken), wird die Erbsubstanz in kleine Stücke zerschnitten. Ein solcher Schnipsel enthält den gesuchten Bauplan (das Gen) zur Herstellung von menschlichem Insulin (siehe 1).

Nun wird ein Organismus benötigt, der mit Hilfe dieses Bauplans Insulin herstellen kann. Hier haben sich Bakterien als geeignet erwiesen. Bakterienzellen enthalten einen Teil ihrer Erbsubstanz in Form kleiner, übersichtlicher Molekül-Ringe (Plasmide). Ein solcher Plasmid-Ring wird im Labor mit den gleichen „chemischen Scheren“ aufgeschnitten, die schon beim Zerlegen der menschlichen Erbsubstanz verwendet wurden (siehe 2).

Dass in beiden Fällen die gleichen „Scheren“ zum Einsatz kommen, bewirkt, dass die erzeugten Schnittstellen wie in einem perfekten Puzzle exakt zusammenpassen.

Der Insulin-Bauplan aus dem menschlichen Erbgut wird nun in die offene Stelle des Bakterien-Plasmids eingefügt. Die Enden werden biochemisch miteinander verklebt (siehe 3). Der solcherart veränderte, vergrößerte Molekül-Ring wird in Bakterienzellen der gleichen Art eingebracht (siehe 4).

Bei jeder Zellteilung geben die gentechnisch veränderten Bakterienzellen auch die neue Erbeigenschaft an alle ihre Nachkommen weiter. Der Bioreaktor, in dem sie leben, füllt sich schnell mit Lebewesen, die die neue Eigenschaft in ihrem Erbgut tragen. Und die Bakterien stellen jetzt in ihrem Stoffwechsel sehr effektiv einen Eiweiß-Stoff her, den sie selbst nicht benötigen: Insulin. Die Bakterien lagern den Stoff in ihren Zellen ab, werden abgetötet, und danach ist noch einiges an chemischer Nachbereitung nötig, ehe das gewünschte Medikament zur Verfügung steht: reines Human-Insulin, ein lebenswichtiges Eiweiß in der gleichen chemischen Zusammensetzung, wie es sonst nur im gesunden menschlichen Organismus vorkommt (siehe 5).

Hintergrund

Die Verabreichung von gentechnisch hergestelltem Insulin ist inzwischen zum „Normalfall“ geworden: Mehr als 80 Prozent aller insulinpflichtigen Diabetiker in Deutschland sind auf gentechnisch hergestellte Präparate eingestellt. Für die anderen Patienten stehen als alternatives Ersatz-Medikament Insuline zur Verfügung, die aus den Bauchspeicheldrüsen von Rindern und Schweinen aus Schlachthofabfällen gewonnen werden. Das war vor 1980 die einzige

Insulin-Quelle. Allerdings zeichneten sich schon damals – bei einer ständig wachsenden Zahl von Patienten – Engpässe in der Versorgung ab. Außerdem konnte das Insulin von Rindern und Schweinen nicht bei allen Patienten eingesetzt werden; es stimmt in seiner chemischen Zusammensetzung nicht ganz mit dem des Menschen überein, so dass es bei manchen Patienten zu Unverträglichkeiten und allergischen Reaktionen kam.

In den dreißig Jahren der gentechnischen Herstellung von menschlichem Insulin sind bis heute keine problematischen Neben- und Folgewirkungen eingetreten. Der Patient entscheidet sich freiwillig (und nach Aufklärung) für die Nutzung von Human-Insulin. Er kommt nicht mit gentechnisch veränderten Organismen (hier: den Bakterien) in Kontakt – in der Medikamentenspritze befindet sich nur der chemisch reine Stoff Insulin. Die Bakterien leben in einem geschlossenen System (Bioreaktor). Wenn doch Einzel-Exemplare in die freie Natur entkommen sollten, haben sie dort keine Überlebenschancen. Ihnen wurde – auch per Gentechnik – eine weitere zusätzliche Eigenschaft „eingebaut“, die sie von einem Nahrungsbestandteil abhängig macht. Diesen können sie selbst nicht mehr in ihrem eigenen Stoffwechsel herstellen (Thiamin – Vitamin B1). Dieses steht aber nur im Bioreaktor zur Verfügung und kommt „draußen in der Natur nicht vor.“

Am Beispiel der gentechnischen Insulin-Herstellung werden die atemberaubenden Möglichkeiten der neuen Techniken deutlich. In der Natur ist der Austausch von Erbgut über Artgrenzen hinweg kaum möglich. Diese Barrieren existieren jetzt praktisch nicht mehr. Biologisch können Lebewesen nicht weiter voneinander entfernt sein als Bakterien und Menschen. Und doch – das Insulin-Beispiel zeigt es – ist es möglich, eine einzelne Erbinformation, die nur in gesunden menschlichen Zellen vorkommt, erfolgreich auf Bakterienzellen zu übertragen, und sie vollführt dort die gleiche Funktion. Man kann demnach versuchen, jede Erbeigenschaft, die in irgendeinem Lebewesen auf dieser Welt vorkommt und uns nützlich erscheint, in das Erbgut von völlig anderen Organismen einzubauen, also von Bakterien auf Maispflanzen oder von Fischen auf Tomaten zu übertragen.

Die hier geschilderte Anwendung der Gentechnik zur Herstellung von Medikamenten ist inzwischen allgemein akzeptiert. Es werden keine Gene in den menschlichen Körper eingebracht. Daher steht man hier im Prinzip vor keinen anderen Fragen als bei der Gabe jedes anderen Medikaments. Freilich müssen die üblichen Sorgfaltspflichten in der Erprobung und Anwendung von Medikamenten beachtet werden.

Kann man in Kenntnis dieser – nicht nur von Betroffenen als segensreich erlebten – Anwendung der Gentechnik pauschal jede Art gentechnischer Veränderung ablehnen? Ist es wichtiger, ein Prinzip durchzuhalten (etwa: „keine Gentechnik!“) oder nach den konkreten Folgen einer Handlung zu fragen (etwa: wem nützt die Technik, wem schadet sie)?

„Im Übrigen aber gehört es zum verantwortlichen Umgang mit der ‚Freiheit eines Christenmenschen‘, sich in jedem einzelnen Fall aufgrund der entwickelten Entscheidungshilfen selbst ein Urteil zu bilden.“

(„Einverständnis mit der Schöpfung – Ein Beitrag zur ethischen Urteilsbildung im Blick auf die Gentechnik“, erarbeitet im Auftrag des Rates der Ev. Kirche in Deutschland, Gütersloh 1997, S.168)

Anhang

6. Die Erhaltung und Weitergabe der Erb-Informationen in der Sprache der exakten Naturwissenschaft

6.1. DNS – das Erbmolekül

Tatsächlich finden wir im Zellkern, in der „Bibliothek des Lebens“, keine „Bücher“ und „Texte“ vor.

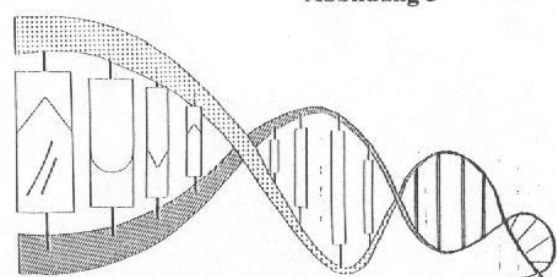
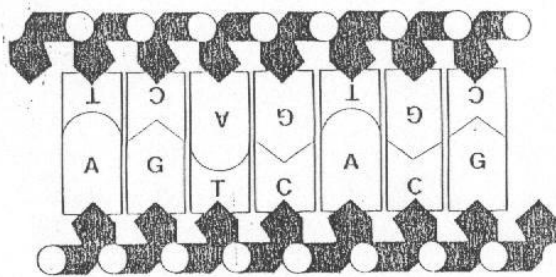
Materieller Träger der Erb-Informationen ist das Molekül der Desoxyribonukleinsäure (DNS).

DNS:

Desoxyribonukleinsäure; DNS (englisch auch DNA wegen acid für Säure):

Bei der DNS handelt es sich chemisch um eine Säure, die im (Zell-)Kern gefunden wird (Kern = lateinisch Nukleus) und die als einen wesentlichen Baustein das Zuckermolekül Desoxyribose enthält.

Die DNS ist ein fadenförmiges Molekül (siehe Abb.). Sie liegt im Zellkern nicht in einem Stück vor, sondern die gesamte Erbsubstanz (das Genom) ist bei höheren Lebewesen auf mehrere Chromosomen verteilt und verpackt.



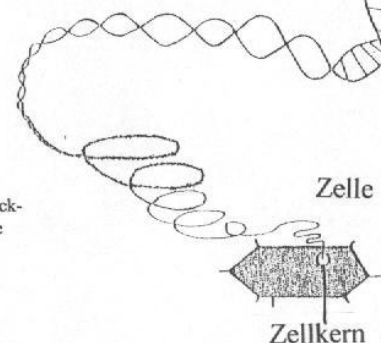
Desoxyribonukleinsäure (DNS)

Nukleotidbasen

(Basen-Paarung,
Basen-Sequenz):

A = Adenin
T = Thymin
G = Guanin
C = Cytosin

Die DNS-Moleküle der Zelle sind überwiegend im Zellkern untergebracht. Man kann die DNS als Strick-Leiter auffassen, die schraubig verdreht wurde. Ihre beiden Holme (aus Zucker- und Phosphorsäure bestehend) bilden eine linksläufige Doppelwendel (Doppel-Helix). Die Basenpaare wären in diesem Modell die Sprossen.

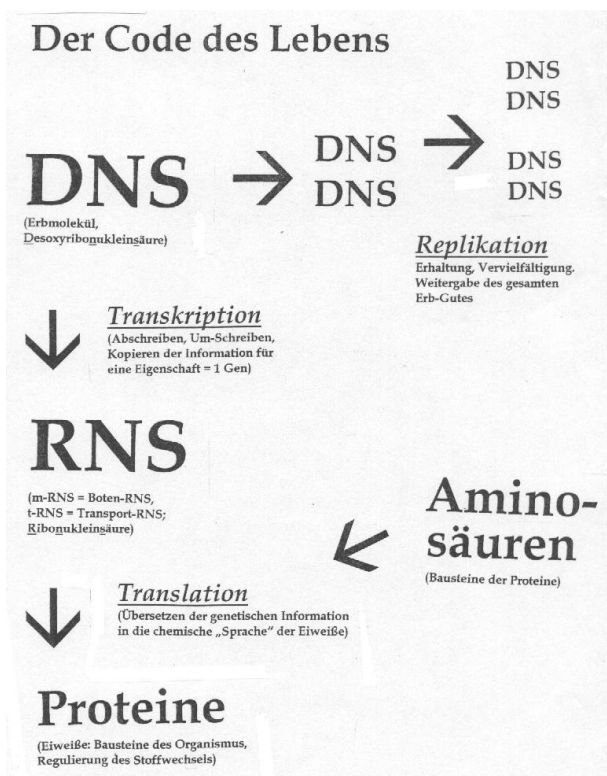


Der DNS-Faden trägt den Bauplan des Lebens. Er enthält hintereinander aufgereiht die GENE (unsere „Bauanleitungen“ oder „Kochrezepte“ aus der Darstellung in Kap. 4), die zuständig sind für die Herstellung aller Stoffe, die eine Zelle bzw. der ganze Organismus benötigen, und die auch zuständig sind für die Regelung und Koordination aller Lebensprozesse. Beim Menschen schätzt man, dass es etwa 40000 verschiedene Bauanleitungen für ebenso viele verschiedene Substanzen gibt. Und jeweils einen Abschnitt des DNS-Fadens, der eine Bauanleitung zur Herstellung eines ganz bestimmten Eiweißstoffes (Protein) enthält, nennt man ein GEN (Erbanlage).

Die „Rezepte“ sind in einer Art chemischer Geheimschrift aufgeschrieben, als fortlaufender Text ohne Punkt und Komma, und unter Benutzung eines einfachen „Alphabets“, das aus nur vier chemischen „Buchstaben“ besteht: G, T, C und A. Die Abkürzung G steht dabei für die Nukleotid-Base Guanin, T für Thymin, A für Adenin und C für Cytosin (T wird in RNS-Molekülen durch den Baustein Uracil mit der Abkürzung U ersetzt – siehe Kapitel 6.3.1.).

Wenn man den DNS-Faden ganz genau betrachtet, sieht er aus wie eine verdrehte Strickleiter (die so genannte DOPPELHELIX), und die Sprossen dieser Strickleiter werden von vier Molekül-„Buchstaben“ gebildet (chemische Bezeichnung: NUKLEOTID-BASEN), die jeweils paarweise aneinander haften – A und T liegen einander immer gegenüber, genau so ist das bei dem Paar G und C.

Die in der DNS gespeicherten Erbinformationen gilt es nun zum einen zu vervielfältigen und zum anderen zur Herstellung von Stoffen zu nutzen.



Die nebenstehende Abbildung gibt dazu einen schematischen Überblick: Der Weg oben von links nach rechts deutet die Vervielfältigung / Weitergabe der Erbinformation an; links von oben nach unten ist die „Übersetzung“ der in der DNS niedergelegten Information in die „Sprache der Eiweiße“ skizziert.

Sind nur 2 Prozent der Erbsubstanz „richtige“ Gene?

Nach heutigem Kenntnisstand bestehen nur etwa 2 Prozent der DNS aus Genen im echten Sinne, das heißt, dass sie Baupläne zur Herstellung von Proteinen enthalten. Man kennt darüber hinaus Regulations-elemente (sie regeln, ob und wann ein Gen abgelesen wird), der größte Teil der Funktionen in der DNS ist jedoch noch unklar (Vorstellungen: innere Regulation; repetitive, das heißt sich mehrfach wiederholende Abschnitte; „abgeschaltete“ Gene, z.B. Krebsgene). Die „echten“ Gene, die die Herstellung von Proteinen codieren, liegen unregelmäßig verteilt auf den Chromosomen, wobei jedes Gen nochmals von „stummen“ DNS-Sequenzen unterbrochen ist, die später bei der „Übersetzung“ der Bot-schaft herausgeschnitten werden.

Ein Gen – ein Eiweiß – ein Merkmal ???

Bis vor einigen Jahren wurde ein Gen als ein Abschnitt auf der DNS definiert, der die Information für die Herstellung *eines* Proteins enthält. Dieses Dogma: „Ein Gen – ein Protein“ gilt nicht mehr.

Inzwischen weiß man, dass bei vielen Genen ein Teil der zunächst abgelesenen Information nachträglich wieder entfernt wird. Darüber hinaus wurden überlappende Gene gefunden und Gene, die innerhalb anderer Gene liegen.

Häufig werden die frisch produzierten Eiweiße in kleinere Teile zer-schnitten, und diese übernehmen dann ganz unterschiedliche Funktio-nen. Zudem verknüpfen Zell-Enzyme neu gebildete Eiweiße mit unter-schiedlichen Zuckermolekülen, beladen sie mit Phosphaten oder Metall-ionen – das wiederum verändert die Eigenschaften der Eiweiße dras-tisch.

Menschliche Gene können oft nicht nur ein Protein herstellen, sondern durchschnittlich drei, manche sogar Tausende verschiedene. Es wird geschätzt, dass im menschlichen Genom etwa 22.000 Gene vorliegen, die aber einige hunderttausend verschiedene Proteine herstellen.

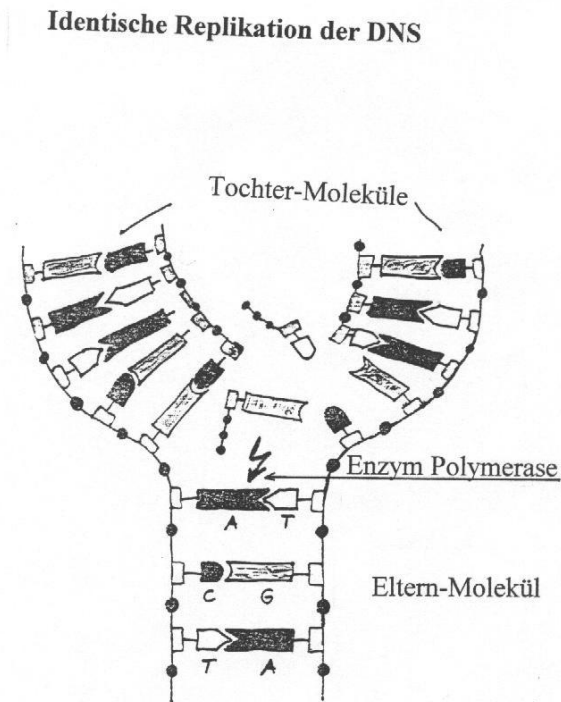
Also lautet die aktuelle Definition: „Ein Gen ist eine Sinneinheit im Genom, die für ganze Proteinfamilien zuständig ist.“

Ist der Mensch allein ein Produkt seiner Gene?

Ein Klonforscher wird gefragt: Wie weit prägen Gene ein Wesen? „Darüber haben wir ziemlich genaue Vorstellungen. Zu 30 bis 35 % sind die Gene verantwortlich, was wir sind und was wir tun. Der Rest ist die Umwelt.“

(Die Zeit 15.2.07 S.56)

6.2. RE(DU)PLIKATION – die Vervielfältigung des Erbgutes



Die Vermehrung des genetischen Materials im Zellkern erfolgt vor jeder Zellteilung als **identische RE(DU)PLIKATION** (= Selbst-Verdopplung) der DNS. Sie ist die Voraussetzung für die Weitergabe der vollständigen Erbinformation an beide Tochterzellen.

Dazu werden die beiden in der Doppelhelix parallel angeordneten und durch Brücken miteinander verbundenen Teil-Fäden wie beim Öffnen eines Reißverschlusses voneinander getrennt (als „Öffner“ tritt ein Enzym in Funktion, die DNS-Polymerase).

Nun dient jeder der beiden entstandenen Einzelstränge der Strickleiter als Vorlage für die **Synthese eines ergänzenden („komplementären“) zweiten Stranges**: die Molekül-Bausteine (Basen, „Buchstaben“) A, T, G und C schwimmen heran und paaren sich mit ihrem zugehörigen Gegenstück in der „Vorlage“, A bindet chemisch immer nur mit T und C immer nur mit G. Es entstehen

zwei gleiche (identische) Strickleiter-Moleküle, die bei der Zellteilung auf die Tochter-Zellen verteilt werden.

Bei Lebewesen mit Zellkern geht die Verdopplung der Erbsubstanz von vielen Startpunkten gleichzeitig aus, das heißt, in jedem Chromosom öffnen Enzyme das DNS-Molekül an einigen tausend Startpunkten.

6.3. Gen-Expression – die Botschaft der Gene wird umgesetzt

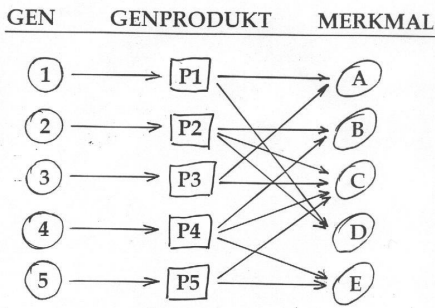
Wie prägen sich nun die Erbanlagen aus, wie wird die Botschaft, die die Gene tragen, wirksam? Als Produkte des Tätigwerdens der Gene werden Eiweißstoffe (Proteine) hergestellt. Oder als Definition: Ein Gen ist (im Normalfall) ein Abschnitt auf der DNS, der die Information für die Bildung eines Eiweißmoleküls trägt.

Proteine nehmen als Bausteine des Lebens in Organismen sehr unterschiedliche Funktionen wahr.

Funktion verschiedener Proteine (Eiweiße)

- + Baustoffe im Zellplasma
- + Füll- und Stütz-Material (Knochen- und Bindegewebe)
- + Botenstoffe (Hormone, z.B. Insulin)
- + Steuerung des Stoffwechsels (Enzyme)
- + Antikörper (Immunsystem)
- + Rezeptoren (Signal-Weiterleitung)
- + Transport- und Speicher-Proteine (Hämoglobin = roter Blutfarbstoff)
- + Weitergabe und Realisierung der genetischen Information (DNS, RNS)

Zusammenhang zwischen GEN und MERKMAL



GENE sind meist pleiotrop (d.h. ein GEN hat Einfluß auf verschiedene MERKMALE).
 MERKMALE sind polygen (d.h. ein MERKMAL wird von vielen GENEN gleichzeitig beeinflußt).

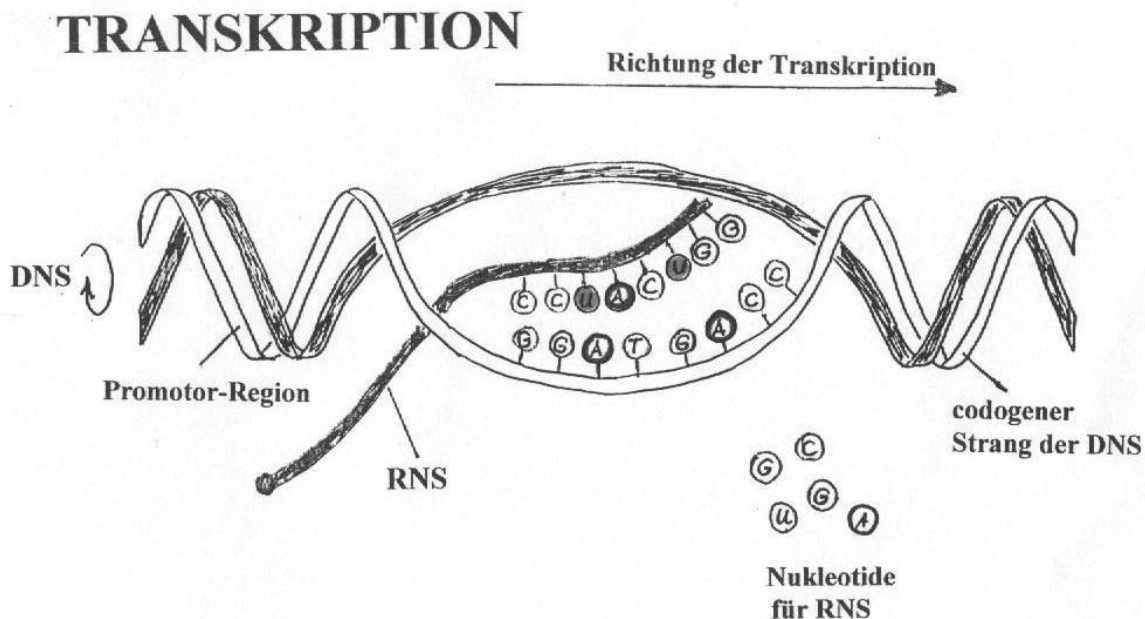
Die Zuordnung, nach der ein Gen jeweils zuständig ist für die Herstellung ganz bestimmter Proteine, ist eindeutig. Das stimmt aber nicht mehr für den Zusammenhang, der zwischen den verschiedenen Proteinen und den Merkmalen in Körperbau, Stoffwechsel oder Verhalten von Lebewesen besteht. Hier gilt in der Regel, dass ein Gen über den von ihm hergestellten Eiweißstoff Einfluss ausübt auf mehrere verschiedene Merkmale (= Gene sind pleiotrop). Und die Ausprägung eines Merkmals wird normalerweise durch das Einwirken mehrerer Gene gesteuert (= Merkmale sind polygen) (siehe dazu Abb.).

Wie wird nun die Botschaft von der DNS „abgeschrieben“, an die richtige Stelle in der Zelle (in die „Werkstatt“) transportiert und dort in die „Sprache der Eiweißmoleküle“ übersetzt?

6.3.1. TRANSKRIPTION – die Botschaft wird abgeschrieben

In einem ersten Schritt wird die auf dem DNS-Molekül gespeicherte Information abgeschrieben. Als Kopie wird ein **RNS-Molekül** hergestellt. Der Vorgang wird **TRANSKRIPTION** genannt (als „Abschreiben“ oder „Umschreiben“ zu übersetzen).

Das „Kopiergerät“ ist ein Enzym: Diese RNS-Polymerase wird chemisch an einer ganz bestimmten Stelle im DNS-Molekül gebunden. Von diesem Start-Punkt aus bewirkt das Enzym ein Auseinanderweichen der beiden DNS-Stränge (wie ein Reißverschluss). Nur ein bestimmter Strang der DNS (= codogener Strang) dient nun als Vorlage für die Bildung eines neuen, dazu passenden (= komplementären, ergänzenden) Gegen-Stranges: die Basen („Buchstaben“) A, U, G und C schwimmen heran und werden miteinander zu einer Kette verknüpft (siehe Abb.).



Wichtig ist, dass hier statt der Base T plötzlich U

auftaucht – das neu geknüpfte Molekül ist quasi in einer anderen „Mundart“ geschrieben, in der immer U verwendet wird, wo in der DNS-„Sprache“ T gemeint wäre (U steht für die Nukleotidbase Uracil).

Der Vorgang des „Abschreibens“ der Gen-Botschaft wird durch ein Stopp-Signal beendet, danach treten die beiden Einzelstränge der DNS wieder zusammen und die Lücke schließt sich. Die „umgeschriebene“ Botschaft liegt nun in Gestalt eines – im Unterschied zur Doppelhelix der DNS nur einsträngigen – Molekülfadens vor, als Molekül der **RIBONUKLEIN-SÄURE (RNS)**, im Englischen RNA wegen acid für Säure). Noch genauer handelt es sich um ein Molekül der so genannten **m-RNS** (für englisch messenger-RNA, deutsch etwa **Boten-RNS**).

RNS:

Einige Unterschiede zum DNS-Molekül sind: RNS ist nur einsträngig, im Molekül wird ein anderer Zucker verwendet (Ribose statt Desoxyribose), und statt der Base T findet sich jeweils an der entsprechenden Stelle in der RNS die Base U.

In den Zellen höherer Lebewesen (Pflanzen, Säugtiere) ist die Bildung der m-RNS dadurch verkompliziert, dass die genetische Information auf dem DNS-Faden gestückelt vorliegt (rekordverdächtig: 178 Fragmente beim Muskeleiweiß Titin). Die kodierenden Bereiche (sog. EXONS; sie enthalten Informationen, die sich wirklich „aus“-prägen), die sich später in der m-RNS wiederfinden sollen, sind durch nicht-kodierende Bereiche (sog. INTRONS, „Einlagerungen“) unterbrochen. Spezielle Enzyme spleißen das RNS-Molekül aus den Fragmenten zusammen, nur die informations-tragenden Teile sind dann noch – und nun als lückenloser Text – enthalten. Dabei können die Exons wie Filmschnipsel auch unterschiedlich kombiniert werden (sodass in der Folge aus den „Puzzlesteinen“ eines Gens mehrere unterschiedliche Eiweiße gebildet werden können).

Bakterien können solche gestückelte, in Fragmenten verteilte Erbsubstanz nicht in dieser Weise zusammenführen, daher müssen Gene aus den Zellen höherer Lebewesen – wenn sie in Bakterienzellen „funktionieren“ sollen – in einer für Bakterien lesbaren Form, als so genannte c-DNS bereitgestellt werden. Ermöglicht wird das durch ein Enzym, die reverse Transkriptase, die die m-RNS-Information entsprechend umschreibt.

RNS-Moleküle tragen nicht nur Kopien der DNS zu den Ribosomen, wo nach Bauplan Proteine hergestellt werden. Andere RNS-Moleküle bestimmen, welche Gene gerade jetzt abgelesen werden sollen. Wieder andere RNS verhindert, dass Gene ihren Platz im Chromosom verändern. Es gibt auch kleine RNS-Schnipsel, die unerwünschte („fremde“) m-RNS in der Zelle erkennen und unwirksam machen.

Das m-RNS-Molekül wird nun in der Zelle zum Boten, es überträgt die Botschaft aus dem Zellkern zur „Werkstatt“, zu den **RIBOSOMEN**.

6.3.2. TRANSLATION – die Botschaft der Gene wird übersetzt

Die Erb-Information ist in den Nucleinsäuren DNS bzw. RNS gespeichert und durch die Reihenfolge der Basen-Bausteine (Nucleotide) verschlüsselt.

An den Ribosomen erfolgt die Übersetzung (= **TRANSLATION**) der Botschaft in die chemische „Sprache“ der **EIWEISSE** (= Proteine).

Eiweiße bestehen chemisch aus Grundbausteinen, den **AMINOSÄUREN**, die wie in einer Perlenkette aneinander gereiht sind. In Lebewesen kommen (normalerweise) 20 verschiedene Aminosäuren vor.

6.3.2.1. Der genetische Code wird gelesen

Zu übersetzen ist nun zunächst der so genannte „**GENETISCHE CODE**“.

Wir haben jetzt auf dem m-RNS-Molekül einen Buchstabensalat vor uns, z.B. in der Form:

... AUUGCUCCAGAAUCG, für uns nicht verstehbar und lesbar, wenn wir den dahinter verborgenen Sinn, die Verschlüsselung, den Code nicht kennen.

Die Aufgabe beim „Code des Lebens“ besteht darin, mit vier Buchstaben (den Nucleotid-Basen) 20 Bausteine für Eiweißmoleküle (die Aminosäuren) eindeutig zu kennzeichnen, zuzuordnen, zu verschlüsseln.

Der genetische Code: Wie lassen sich 20 Bausteine mit vier Buchstaben verschlüsseln?

Wir probieren:

1. Versuch: einem Buchstaben soll jeweils ein Aminosäure-Baustein zugeordnet werden. Mit diesem Ansatz lassen sich höchstens vier Aminosäuren eindeutig zuweisen (4^1 Möglichkeiten).
2. Versuch: „Worte“, die aus jeweils zwei Buchstaben bestehen, werden einem bestimmten Aminosäure-Baustein zugeordnet. Mit diesem Ansatz können (bei Nutzung der vier zur Verfügung stehenden Buchstaben) 16 Aminosäuren eindeutig verschlüsselt werden (4^2 Möglichkeiten)
3. Versuch: Jetzt werden „Worte“ aus jeweils drei Buchstaben gebildet und jeweils einem Aminosäure-Baustein zugeordnet. Jetzt ergeben sich 64 Zuweisungs-Möglichkeiten (4^3). Das heißt: mit Kombinationen aus drei Buchstaben kann man 64 „Wörter“ bilden; das reicht für die Verschlüsselung von 20 Aminosäuren reichlich aus.

Tatsächlich sieht der genetische Code so aus, dass Dreier-Kombinationen von Basen (sie werden „**TRIPLETTS**“ genannt) jeweils den Einbau einer bestimmten Aminosäure in das Eiweißmolekül veranlassen.

Da in Lebewesen nur 20 Aminosäuren als Eiweißbausteine vorkommen, aber 64 mögliche Codes zur Verfügung stehen, gibt es in der Praxis für jede Aminosäure mehrere „Code-Worte“, zusätzlich werden auch Triplets als Start- und Stopp-Signale verwendet.

Der genetische Code ist universell, das heißt für alle Lebewesen gleichermaßen gültig (damit sind auch art-fremde Informationen lesbar).

Der genetische Code lässt sich etwa mit dem Morse-Code vergleichen, der aus drei Symbolen besteht (Punkt, Strich und Zwischenraum; dabei dürfen auch 1 und 2 Zeichen als Einzel-Code genutzt werden), während der Nukleinsäure-Code aus vier Symbolen besteht (von denen immer drei zusammen eine Einheit bilden).

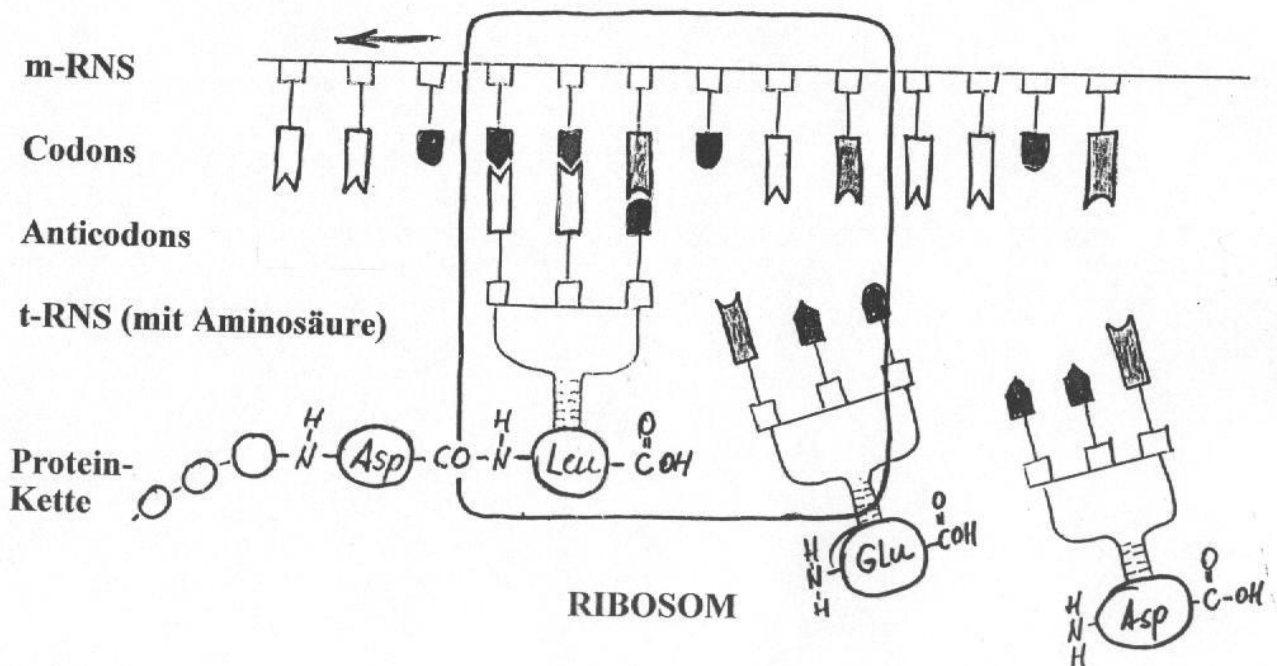
Der genetische Code ist nicht ganz universell: in manchen Zell-Organellen, den MITOCHONDRIEN und den CHLOROPLASTEN (Plastiden) kommt eigenständige DNS vor, dort gilt z.B. ein anderes Stopp-Signal. Manchmal erfolgt die Ablesung des Codes auch nicht in säuberlichen Dreier-Schritten – dann ergeben sich Verschiebungen beim Ablesen der Botschaft im Ribosom.

6.3.2.2. Die Botschaft der Gene wird in die Sprache der Eiweiße übersetzt

Im nächsten Schritt geht es um den Zusammenbau von Eiweiß-Molekülen in der richtigen Reihenfolge.

Der Molekül-Faden der Boten-RNS fädelt sich in das **RIBOSOM** ein und wird Schritt um Schritt hindurchgezogen.

Translation (Protein-Synthese)



Parallel werden aus dem Zell-Inneren Aminosäuren heran transportiert. Für den Transport zuständig ist eine weitere Art RNS, die **t-RNS** genannt wird (t für Transfer-, Transport-RNS). Für jede der 20 Aminosäuren gibt es eine spezifische t-RNS, die nur jeweils „ihre“ Aminosäure transportiert. Beim Molekül der t-RNS zeigen an einer bestimmten Stelle drei Basenbausteine nach außen. Diese Dreierfolge ist der Code für den Einbau einer bestimmten Aminosäure. Dieser Dreier-Code passt genau wie Schlüssel und Schloss nur zu einem ganz bestimmten Dreiermuster auf der Gegenseite bei der m-RNS, die als Schablone im Ribosom wartet.

Die t-RNS-Moleküle lagern sich nun, gesteuert von den passenden Gegen-Worten der m-RNS, eines nach dem anderen dort an, die mitgeführten Aminosäuren werden chemisch miteinander verbunden und bilden ein Eiweißmolekül (siehe Abb.).

Damit hat die theoretische Botschaft, die im „Buchstabenmuster“ eines Gens verschlüsselt war, nun materielle Gestalt angenommen.

Zum Schluss erfolgt noch der Transport der Proteine an den richtigen Bestimmungsort in der Zelle. Die Ribosomen sitzen in der Zelle auf dem endoplasmatischen Retikulum. Dort werden die gebildeten Proteine mit einem „Adress-Aufkleber“ abgeliefert und in einer Art „Rohrpost-System“ gezielt an ihren Bestimmungsort gebracht.