
2. KAPITEL: WERKZEUG GENTECHNIK	97
§ 4 MOLEKULARBIOLOGISCHE GRUNDLAGEN DER GENTECHNIK	97
I. Biologie – Wissenschaft vom Leben.....	97
II. Genetik nach Mendel	99
III. Zum Innenleben der Zellen	100
IV. Fortpflanzung	103
V. Die Gene als Elementarteilchen des Lebens	105
1. Lokalisation der Gene	105
2. Universaler genetischer Code	106
3. Transkription und Translation.....	107
4. Gene, Genome und Genprodukte.....	108
5. Genexpression, Zellkommunikation und Stoffwechsel	110

2. KAPITEL: WERKZEUG GENTECHNIK

§ 4 MOLEKULARBIOLOGISCHE GRUNDLAGEN DER GENTECHNIK

I. Biologie – Wissenschaft vom Leben

Paragraph 4 handelt von der Biologie als der Wissenschaft vom Leben (I.).¹ Mit Blick auf die Gentechnik bietet er die Möglichkeit, sich mit deren naturwissenschaftlichen Grundlagen vertieft auseinanderzusetzen.² Die Genetik erfasst das Phänomen Leben aus dem Innern von Lebewesen heraus (II.). In diesem wirken die Zellen (III.), welche durch verschiedene Mechanismen die Fortdauer irdischen Lebens gewährleisten (IV.) und dabei ihrerseits mit noch kleineren Einheiten, den Genen, zusammenwirken (V.).

1. *Erkenntnisgegenstand der Biologie.* Die Erde lebt. Kein Leben wohnt nach herkömmlichem Verständnis namentlich den flüchtigen und flüssigen Verbindungen wie Gasen oder Wasser, bestimmten Feststoffen wie Mineralien oder den auf diese wirkenden physikalischen Kräften inne. Aus diesen Gegenstand etwa von Physik und Chemie bildenden Reichen der unbelebten Natur erhebt sich die Biologie. Die Biologie gilt als die Wissenschaft von den Lebewesen, genauer von den Erscheinungsformen lebender Systeme, ihrer Beziehungen zueinander und zu ihrer Umwelt sowie der Vorgänge, die sich in ihnen abspielen.³

2. *Das Lebewesen als Organismus.* Biologisch gesehen manifestiert sich das Phänomen Leben vor allem in der Existenz verschiedener, gedanklich im Gegensatz zur anorganischen Natur stehender Einheiten, die ihre Individualität in ständiger Wechselwirkung mit der Umgebung erhalten können und die als *Organismen* bezeichnet werden. Nach seiner griechischen Wurzel ist mit "Organismus" das Gesamtsystem der Organe eines lebenden Körpers gemeint.⁴ Unter den Begriff Organismus fallen etwa die Mikroorganismen, also besonders kleine Organismen wie beispielsweise Bakterien, Blaualgen und Einzeller, sowie weiterentwickelte, mehrzellige Organismen wie Pflanzen, Tiere und Menschen.⁵

3. *Herkömmliche Taxonomie der Lebewesen (Übersicht).* Die Einteilung aller Lebewesen in der klassischen Biologie ist ein Beispiel der kulturellen Bemächtigung der Welt durch den Menschen (§ 2 II.1.). Nach biologischer Systematik werden alle Lebewesen nach dem Grad ihrer verwandtschaftlichen Zusammengehörigkeit erfasst. Die durch den Botaniker Carl Linné (1707 - 1778) begrün-

¹ "Bio" stammt vom Griechischen "*bios*" für *belebte Welt*.

² Ein Anspruch auf umfassende Behandlung des Themas wird nicht erhoben. Zum Thema auch Kapitel 3.

³ DUDEN BIOLOGIE.

⁴ GESUNDHEITS-BROCKHAUS, S. 461.

⁵ DUDEN BIOLOGIE, Stichworte "Mikroorganismen" und "Organismen".

dete *Taxonomie* oder Ordnung soll die stammesgeschichtliche Entwicklung der verschiedenartigen Organismen widerspiegeln.⁶ Das linnésche System beschrieb die Pflanzenwelt zur eindeutigen Klassifizierung jeder Pflanze nach ihren morphologischen Verwandtschaften. Noch heute wird das gesamte Pflanzen- und Tierreich hierarchisch in die Kategorien Abteilung / Stamm, Klasse, Ordnung, Familie, Gattung und Art eingeteilt, wobei die höheren Kategorien grössere Unterschiedlichkeit bedeuten. Zwischenstufen dieser Kategorien heissen beispielsweise Unterreich, Überfamilie und Unterart oder Rasse. Die erste Abteilung des Pflanzenreichs erfasste bislang die Bakterien (1. Klasse) sowie die Blaualgen (2. Klasse), die zweite Abteilung die Pilze, die fünfte Abteilung die Farnpflanzen.⁷ Nach einer neueren Unterteilung bilden die Bakterien, die Algen und Schleimpilze sowie die Schimmelpilze, Hutpilze und Flechten je ein selbständiges Reich. Danach bestehen mit den Tieren und den Pflanzen insgesamt fünf Reiche von Lebewesen. Von keinem Reich erfasst werden die Viren.⁸

Im ersten Unterreich der Tiere tummeln sich die Einzeller, in den Stämmen des zweiten Unterreichs etwa Schwämme, Würmer, Weich-, Glieder- und Chordatiere. Im vierten Unterstamm der Chordatiere finden sich die Wirbeltiere oder Vertebrata, in dessen 1. Überklasse die Kieferlosen. Die 2. Überklasse der Kiefermäuler zerfällt in acht Klassen, so unter anderem die Knorpel- (3. Klasse) und die Knochenfische (4. Klasse), die Amphibia oder Lurche (5. Klasse), die Reptilia oder Kriechtiere (6. Klasse). Aus den Kriechtier-Vorfahren entwickelten sich stammesgeschichtlich parallel die Vögel (7. Klasse) und die Mammalia oder Säugetiere (8. Klasse), zu deren Merkmalen insbesondere das Stillen der Jungen zählt.

Zu den 19 Ordnungen der heute noch lebenden Säugetiere zählen die Beutel-, Nage-, Raub- und Herrentiere sowie die Seekühe, Wale, Elefanten und die Paar- und die Unpaarhufer. Die Herrentiere werden, nach dem lateinischen *Primat* für *Vorrang, bevorzugte Stellung*, auch Primaten genannt. Die Ordnung der Primaten umfasst die Überfamilien der Cercopithecoidea (Altweltaffen) und Hominoidea. Zu den Hominoidea gehören die Familien der Pongiden, zu der die Menschenaffen zählen, sowie der Hominiden (Menschenartigen), die Menschen. In der Familie der Menschenaffen werden die Orang-Utans, Gorillas, die beiden Gibbonarten sowie die *Homo troglodytes* (gewöhnliche Schimpansen) und *paniscus* (Zwergschimpansen) unterschieden. Zur Familie der Menschenartigen zählen der ausgestorbene Neandertaler, unser direkter Vorfahre, der Cro-Magnon-Mensch und der moderne *Homo sapiens*.

Als Grundeinheit der ganzen Systematik der Lebewesen dient die Art (Tafel 11). Die Einstufung der verschiedenen Arten von Lebewesen hängt von der Philo-

⁶ Zu Linné MEYERS Bd. 6.

⁷ Dazu sowie zur Systematik der nächsten beiden Absätze MEYERS Bd. 9: "System".

⁸ KINDLERS ENZYKLOPÄDIE; MARGULIS / SCHWARTZ, S. 19 ff.; nachfolgend V.4.d.

sophie der Klassifikation ab. Der Mensch gilt als eigene Familie, Gattung und Art. Begründet wird diese Sonderstellung mit als spezifisch menschlich und insofern als arttypisch erachteten Merkmalen und Fähigkeiten, so vor allem mit dem aufrechten Gang des Menschen, seinen handwerklichen und landwirtschaftlichen, denkerischen und künstlerischen Leistungen, seinem Sprachvermögen und seiner Religiosität.⁹

4. *Entwicklung und Verhalten der Organismen.* Die Ursprünge und die Entwicklung der aktuellen Lebensformen sowie ihre Beziehungen untereinander sowie zu ihrer Umwelt werden beispielsweise in der Evolutionsbiologie, in der Genetik oder Vererbungslehre, der Ethologie oder Verhaltensforschung sowie in der Ökologie untersucht. Der Aufklärung der zellulären und molekularen Strukturen und Funktionen des genetischen Materials widmen sich auch die Mikrobiologen, wobei es zu Überschneidungen mit der Genetik kommt.

5. *'Innere' Vorgänge im allgemeinen.* Technisch lassen sich die Vorgänge, die sich im Innern von Organismen abspielen, auch als Teil von deren Funktionsweise begreifen. Die Funktionsweise der verschiedenen Organismen beschreiben unter anderem die Zell- und die Molekularbiologie sowie die Biochemie (§ 5 I.). Die gezielte gentechnische Veränderung des Erbguts von Lebewesen setzt Kenntnisse über Ort und Funktionen der Erbelemente innerhalb der Zellen und, soll die veränderte Eigenschaft auch in den Nachfahren des veränderten Organismus zum Tragen kommen, auch über die Mechanismen ihrer Vererbung voraus. So ist die Gentechnik eng mit der modernen *Mikrobiologie*, also der Zell- und der Molekularbiologie,¹⁰ sowie mit der Genetik verknüpft.

II. Genetik nach Mendel

In seinem Klostergarten in Brünn experimentierte der Augustinermönch Johann Gregor Mendel (1822 - 1884) Mitte des 19. Jahrhunderts mit Pflanzensamen. Dabei entdeckte er bestimmte Regelmässigkeiten in der Weitergabe der Eigenschaften gekreuzter Pflanzensorten, sogenannter *Hybriden*. Mendel untersuchte beispielsweise die Nachkommen von miteinander gekreuzten Gartenerbsen mit ein oder zwei verschiedenen Merkmalen. Dabei stiess er auf eine zahlenmässig mehr oder minder konstante Verteilung dieser Merkmale auf die Nachkommen. So wiesen etwa die Nachkommen erster Generation einer Kreuzung von elterlichen Erbsen mit glatter und mit runzlicher Haut allesamt glatte Haut auf. Die aus diesen gezogene zweite Generation spaltete sich dagegen jeweils in Nachfahren mit glatter und mit runzlicher Haut im Verhältnis drei zu eins auf (Spaltungsregel). Die Nachkommen erster Generation hatten also beide Merk-

⁹ DIAMOND, S. 34 ff., 68, 78, 145, 178, 217 ff.; BOESCH, S. 45; § 2 I.3. Dazu auch Tafel 11 sowie § 8 III.2.

¹⁰ DUDEN BIOLOGIE, Stichwort "Mikrobiologie".

male, glatte und runzlige Haut, in sich bewahrt und konnten das nicht in Erscheinung tretende Merkmal "runzlig" der nachfolgenden zweiten Generation weitergeben.¹¹

Daraus schloss Mendel, dass den äusseren Merkmalen eines Lebewesens bestimmte Elemente im Innern seiner Körperzellen entsprechen müssten, die zudem bei der Fortpflanzung an die Nachfahren weitergegeben würden. Auch vermutete er bereits richtig, dass jede Pflanzengeneration je zwei Elemente für ihre spezifischen Eigenschaften in ihren Erbanlagen enthalte, wobei jeweils eines dieser Erb-Elemente von der väterlichen und eines von der mütterlichen Seite komme. Dabei gebe zwar das stärkere – nach Mendel das dominante – Erbelement dem Nachkommen sein entsprechendes äusseres Merkmal, seinen *Phänotyp*. Jedoch müssten die Nachkommen das schwächere oder rezessive Erbelement des anderen Elternteiles ebenfalls in ihren Erbanlagen – als ihrem *Genotyp* – enthalten.¹²

Im Jahre 1866 veröffentlichte Mendel seine Erkenntnisse über den Mechanismus der Weitervererbung von Merkmalen und Eigenschaften von Lebewesen. Sein Werk mit dem Titel "Versuche über Pflanzenhybriden" blieb indes lange Zeit unbeachtet. Es wurde erst nach seiner Wiederentdeckung zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts zum Grundstein für die Wissenschaft von den formalen Gesetzmässigkeiten der Vererbung, der *Genetik*.¹³ Dass die mendelschen Gesetze zunächst in Vergessenheit geraten waren, mag damit zusammenhängen, dass ihnen das für die Wissenschaft neuartige Element des statistischen *Zufalls* zu eigen war. Damit wurde auch das phänotypische Erscheinen der Erbmerkmale nurmehr mit Wahrscheinlichkeit vorhersagbar. Eine solche Sichtweise stand dem damals noch vorherrschenden wissenschaftlichen Determinismus diametral entgegen. Doch hat die moderne Mikrobiologie Mendels Thesen seither bestätigt und zum Ausgangspunkt für die Entwicklung der modernen Biotechnologien und insbesondere der Gentechnik gemacht.

III. Zum Innenleben der Zellen

1. *Zellen als Bausteine der Organismen*. Lebewesen oder biologisch Organismen bestehen aus Zellen. Die Zellen, nach dem lateinischen "*cella*" für *Kammer*, sind die kleinsten Bausteine der Lebewesen im Sinne lebendiger Struktureinheiten. Die kleinsten Lebewesen, die Mikroorganismen, können aus einer einzigen Zelle bestehen und werden daher auch Einzeller genannt (§ 1 III.2.a.). Zu ihnen zählen etwa die Amöben und die Bakterien. Pflanzen, Tiere und der Mensch bestehen aus einer Vielzahl von Zellen, sind Vielzeller. Der erwachsene menschliche Organismus beispielsweise setzt sich aus schätzungs-

¹¹ Näheres zu Leben und Werk Mendels bei SHAPIRO, S. 32 ff.; ferner WINNACKER, S. 25 ff., 31.

¹² Zu "Phäno-" und "Genotyp" auch DUDEN BIOLOGIE; WINNACKER, S. 209.

¹³ SHAPIRO, S. 48. Zur "Genetik" DUDEN BIOLOGIE.

weise 10^{14} Zellen zusammen.¹⁴ Die Lebendigkeit von Organismen manifestiert sich zellbiologisch betrachtet unter anderem in der Fähigkeit der Zellen zur Vermehrung durch Teilung, ihrem *Wachstum*, und zur Bildung selbständiger neuer Lebenseinheiten oder Organismen, ihrer *Fortpflanzung*. Ferner zählt auch der Molekülaustausch oder *Stoffwechsel* der Zellen zu den ihre innere Einheit gewährleistenden Lebenseigenschaften.¹⁵

Bei Einzellern hat die einzige Zelle alle lebenswichtigen Funktionen zu steuern. Bei den Vielzellern beginnen sich die Zellen mit fortdauernder Teilung in Grösse, Gestalt und Struktur zu differenzieren und auf bestimmte Funktionen – zum Beispiel auf die Immunabwehr, die Verdauung, die Fortpflanzung – zu spezialisieren. Je nach ihren Aufgaben heissen sie etwa Bindegewebs-, Muskel-, Nerven-, Epithel-, Drüsen-, Ei- oder Samenzellen. Die Zellen bilden auch die Organe. Organe sind die Körperteile, die mit Bezug auf ihre Funktion eine Einheit bilden, so zum Beispiel Gehirn, Herz, Lunge, Leber oder Niere. Ihrer differenzierten Zellen wegen werden vor allem Tiere und Menschen auch als höherentwickelte Organismen bezeichnet.¹⁶ Gemeinsam ist allen Lebewesen ihr Entstehungsprozess durch Zellteilung. Für dessen Verständnis ist der typische Aufbau von tierischen und menschlichen Zellen von Bedeutung.

2. *Zum Aufbau von Zellen.* Die Zellen eines Organismus sind nach aussen begrenzt durch eine Zellmembran oder, bei Pflanzen, durch eine Zellwand. Diese nur für bestimmte Stoffe durchlässige Membran umschliesst die Zellflüssigkeit, das Zytoplasma, mit den Zellorganellen oder Zellkörperchen wie den Ribosomen. Die höherentwickelten Lebewesen besitzen als besonderes Organell auch einen Zellkern oder Nukleus und werden als *Eukaryonten* bezeichnet (§ 1 III.2.a.). Der Zellkern besteht aus der Kernflüssigkeit, dem Kernplasma, und einem oder mehreren Kernkörperchen, den Nukleolen. Vom Zytoplasma und den übrigen Zellorganellen ist er durch eine Doppel- oder Kernmembran abgegrenzt. Das Kernplasma enthält vor allem die fadenförmigen Gebilde der *Chromosomen*. Während der Arbeitsphase (*Interphase*) liegen die Chromosomen als aufgelockertes und unentwirrbares Fadenknäuel im Zellkern vor. In der Interphase sind die einzelnen Chromosomenfäden als solche lichtmikroskopisch nicht erkennbar, wohl aber lassen sich ihre Bausteine durch Färbung sichtbar machen – wörtlich bedeutet "Chromosom", nach dem griechischen "*chroma*" für *Farbe* und "*soma*" für *Körper*, nichts anderes als 'Farbkörper'.¹⁷

Die fadenartigen Chromosomen bestehen aus Eiweissen oder *Proteinen* und aus Nucleinsäuren. Die als Trägerin der Erbinformationen wichtigste Nucleinsäure setzt sich chemisch aus dem Zucker Desoxyribose, aus Phosphorsäure sowie aus

¹⁴ GESUNDHEITS-BROCKHAUS, S. 578 (Organismus) und 822 (Zelle).

¹⁵ DUDEN BIOLOGIE; FALLER, S. 2 ff.

¹⁶ FALLER, S. 2 ff.; GESUNDHEITS-BROCKHAUS, S. 578, 822; ferner LINDER, S. 303.

¹⁷ DUDEN BIOLOGIE (Chromosomen); ebenso MEYERS, Bd. 2; ferner FALLER, S. 7 ff.

den Basen Adenin (A), Guanin (G), Thymin (T) und Cytosin (C) zusammen; entsprechend wird sie als *DesoxyriboNukleinsäure*, kurz *DNS*, oder englisch: *DNA*, bezeichnet, wobei das "A" für "acid" – Säure – steht.¹⁸ Auf molekularer Ebene lassen sich die DNS-Fäden, die Chromosomen, räumlich als Doppelhelix oder bildlich als eine Art Wendeltreppe mit doppeltem Geländer darstellen. Die Desoxyribose-Phosphatsäure-Verbindungen bilden die Geländer, die Basen mit den Kürzeln A, G, T und C je einen Teil der Stufen dieser Wendeltreppe. Aufgrund ihrer chemophysikalischen Beschaffenheit können ausschliesslich die Basen A und T sowie die Basen G und C durch Wasserstoff-Brückenbindung verbundene Basenpaare – die Stufen der Wendeltreppe – bilden.¹⁹

Diese Basenpaarungen sind als einzig mögliche fest vorbestimmt, weshalb die entsprechenden Basen sowie die sie verbindenden Stränge auch als *komplementär* bezeichnet werden. Lautet die Basenfolgen auf einem Strang beispielsweise A-G-G-C-C-T, dann findet sich auf dem gegenüberliegenden Strang die jeweils andere Base, also T-C-C-G-G-A. Die Länge der wendeltreppenartigen DNS-Fäden nimmt mit der Komplexität eines Organismus von einigen tausend (Viren) über mehrere Millionen (Bakterien) bis zu rund drei Milliarden Basenpaaren beim Menschen zu. Die Gesamtfadenlänge der menschlichen DNS beträgt je Zellkern rund 2 Meter.²⁰

3. *Zellteilung*. Durch Teilung der schon bestehenden Zelle(-n) wachsen die Vielzeller zu ihrer artgemässen Grösse und Gestalt heran. Die Zellteilung erfolgt in verschiedenen Phasen. Der eigentlichen Zellteilung geht die Kernteilung (*Mitose*) als Grundlage von Wachstum, Fortpflanzung und Vermehrung voran. Der Mitose wiederum geht die Selbstreplikation der Chromosomen des Zellkerns voran.²¹

a) *Selbstreplikation der DNS*. In der Interphase des Zellkerns findet die Selbstreplikation oder Verdoppelung der Chromosomen und damit auch der DNS statt. Dabei lösen sich zunächst die Wasserstoffbrücken zwischen den stufenartigen Basen der DNS auf, und die Doppelhelix reisst auseinander. An die aufgetrennten Basen A und T sowie G und C jeden Stranges lagern sich in der Zelle befindliche Komplementärbasen an: Zur Base A kommt ein neues T, zu G ein neues C, zu T ein neues A und zu C ein neues G. Die neuen DNS-Stränge werden durch Zucker- und Phosphatsäure-Moleküle (für die 'Geländer') zu zwei neuen und identischen Chromosomen ergänzt. Diese werden als die beiden *Chromatiden* eines Chromosoms bezeichnet. Damit besitzt die Zelle schliesslich die gesamte Erbinformation des Zellkerns doppelt. Die nebeneinan-

¹⁸ DUDEN BIOLOGIE; VOGEL, *Gentechnik*; WINNACKER, S. 35, 42, 56.

¹⁹ Die Basenpaarbildung beruht also nicht auf einer kovalenten (echten) chemischen Verbindung, sondern auf den Kraftfeldern um die einzelnen Wasserstoff-Atome. - Dazu § 6 I.2. / II.3.6.; WINNACKER, S. 47 f.

²⁰ WINNACKER, S. 49. Zur Veranschaulichung auch Tafel 4.

²¹ Ausführlich LINDER, S. 303 ff.; FALLER, S. 9 ff.; ferner DUDEN BIOLOGIE.

derliegenden Chromatiden sind an einem Punkt, dem *Zentromer*, fest miteinander verbunden.

b) *Mitose oder Kernteilung*. Die Kernteilung durchläuft die vier Stadien der Prophase, Metaphase, Anaphase und der Telophase, in deren Verlauf zwei Zellkerne mit je identischem Erbgut (DNS) entstehen.²²

c) *Zellteilung*. Nach Abschluss der Mitose schnüren die Zellwände das Zytoplasma von aussen nach innen und zwischen den beiden neuen Zellkernen durch. Es entstehen zwei neue Zellen mit je einem identischen, einfachen Chromosomensatz. Der Zellzyklus schliesst sich mit dem Beginn einer neuen Interphase.

IV. Fortpflanzung

Biologisch gesehen dient die Fortpflanzung der Vermehrung zur Arterhaltung. In der ungeschlechtlichen oder *vegetativen* Fortpflanzung vermehren sich etwa Einzeller direkt durch einfache Zellteilung (Mitose); einfachere mehrzellige Lebewesen pflanzen sich ungeschlechtlich auch durch Sprossung oder Polyembryonie fort. Daneben existieren weitere besondere Formen der Fortpflanzung, so die Konjugation und die Parthenogenese. Höher entwickelte Organismen wie der Mensch und viele Tiere vermehren sich natürlicherweise ausschliesslich durch *geschlechtliche* (sexuelle) Fortpflanzung.²³

Bei der sexuellen Fortpflanzung werden die beiden unterschiedlichen elterlichen Geschlechtszellen, die *Keimzellen* oder *Gameten*, zu einem neuen Individuum miteinander verschmolzen. Auch die geschlechtliche Zeugung durchläuft verschiedene Phasen, wie sich am Beispiel des Menschen zeigen lässt. Chronologisch folgen sich die Reifeteilungen oder *Meiose* der Keimzellen (1.), der Vorgang der Befruchtung und Kernverschmelzung, die ersten Zellteilungen (Mitosen) der befruchteten Zelle bis zur Nidation (2.) sowie die Zellteilstadien des Embryos und des Fetus bis hin zu seiner Geburt (3.). Die Zellen der *Keimbahn*, also vorab die Geschlechtszellen von Mann und Frau, unterscheiden sich dabei von den übrigen Körperzellen durch ihre Beteiligung am gesamten Zyklus von der Befruchtung bis zur erneuten Bildung von Geschlechtszellen.²⁴

²² Dazu und zum folgenden (c) ausführlich LINDER, S. 303 ff.; FALLER, S. 9 ff.

²³ Dazu und zum folgenden LINDER, S. 303 ff.; FALLER, S. 13 ff.

²⁴ Ihnen wird daher potentielle Unsterblichkeit nachgesagt, während alle anderen Zellen eines Organismus auf jeden Fall zugrunde gehen werden. DUDEN BIOLOGIE (Keimbahn). Dazu aber auch § 9 II.3.a.

1. *Reifeteilung oder Meiose*. Jeder DNS-Faden des Zellkerns enthält eine bestimmte Anzahl und Abfolge seiner Basenpaare (A-T / G-C). Diese nach ihrer Länge und Zusammensetzung verschiedene Beschaffenheit der DNS-Fäden macht die Chromosomen unterscheidbar. Der *Chromosomensatz* eines Organismus gibt die Gesamtzahl der so unterschiedenen Chromosomen in seinen Zellkernen wieder. Er variiert zwischen den verschiedenen Lebewesen, wobei jede Art ihren artspezifischen Chromosomensatz aufweist.²⁵

Lebewesen, die sich geschlechtlich, durch Verschmelzung der *Keimzellen*, also einer männlichen Samenzelle mit einer weiblichen Eizelle, fortpflanzen, besitzen von jedem Chromosom zwei 'Ausgaben', eine von der väterlichen und eine von der mütterlichen Keimzelle.

Dieser "doppelte" Chromosomensatz muss im Laufe der Entwicklung eines neuen Lebewesens reduziert werden, da andernfalls die Zahl der Chromosomen mit jeder Generation durch Kernverschmelzung der elterlichen Keimzellen bis ins Unendliche ansteigen würde. Ohne die Verringerung der Chromosomenzahl kann es keine sexuelle Fortpflanzung geben. Sie erfolgt, auf ähnliche Weise wie bei der Mitose, durch zwei kurz aufeinanderfolgende Reduktions- oder Reifeteilungen (*Meiosen*) während der Keimzellenbildungen in den Gonaden, den Eierstöcke und Hoden. Es entstehen vier neue Keimzellen mit je nur noch einem einfachen Chromosomensatz. Die Neuverteilung der väterlichen und mütterlichen Chromosomen auf die vier neuen Zellen erfolgt zufallsgemäss.²⁶

2. *Von der Befruchtung zur Nidation*. Durch Vereinigung einer männlichen Samenzelle mit einer weiblichen Eizelle und anschliessende Verschmelzung der beiden haploiden Vor-Kerne entsteht eine befruchtete Eizelle. Vom Zusammentreffen von Ei- und Samenzelle bis zur vollendeten Befruchtung vergehen rund 24 Stunden. In der befruchteten Eizelle (*Zygote*) kommen die von den beiden Keimzellen beigesteuerten Chromosomen zusammen. Die Zygote enthält damit einen in seiner Kombination völlig neuen, doppelten Chromosomensatz. Die Einnistung der Zygote in der Gebärmutter, die Nidation, beginnt ab dem fünften Tage nach der Befruchtung und ist spätestens mit dem 14. oder 15. Tag abgeschlossen. Zu diesem Zeitpunkt hat die Zygote bereits mehrere Zellteilungen vollzogen. Es beginnt die Embryogenese.²⁷

3. *Entwicklungsstadien bis zur Geburt*. Durch die Verschmelzung der Keimzellen entsteht ein neuer Organismus mit neukombinierten und in diesem Sinne neuen Erbanlagen in seinen Zellkernen. In dieser Möglichkeit zur Neukombination liegt ein bedeutender evolutionärer Vorteil der geschlechtlichen

²⁵ So finden sich beispielsweise beim Mais 20, bei der Taufliege 8, der Bäckerhefe 16 und beim Menschen 23 verschiedene Chromosomen, ohne dass sich dabei bisher Gesetzmässigkeiten für die Evolution hoher oder niedriger Chromosomenzahlen erkennen liessen.

²⁶ DUDEN BIOLOGIE, S. 90; FALLER, S. 8 f., 14 f.; LINDER, S. 303 ff.

²⁷ LINDER, S. 303 ff. Dazu auch Tafeln 3 und 4.

gegenüber der ungeschlechtlichen Fortpflanzung.²⁸ Dies zeigt sich nicht erst durch die besonderen Fähigkeiten von Tieren und Menschen, sondern bereits in der Komplexität der verschiedenen Entwicklungsstadien des Embryos. Im Sprachgebrauch der Reproduktionsmedizin wird der wachsende Organismus bereits ab dem Zwei- oder Vierzellstadium *Embryo* und der menschliche Embryo nach der zwölften Schwangerschaftswoche *Fetus* genannt. Der Anfang der Embryogenese ist allerdings umstritten (Tafel 3).

Im frühen Entwicklungsstadium sind die einzelnen Embryonenzellen, als sogenannte *totipotente* Zellen, noch zur Ausbildung aller möglichen Zellen und späteren Übernahme verschiedener Körperfunktionen fähig. Mit fortdauernder Entwicklung werden die Aufgaben der einzelnen Zellen festgelegt. Eine erste Differenzierung machen die auf rund hundert angewachsenen Zellen des vier bis fünftägigen Embryos durch.²⁹ Die Spezialisierung der Zellen wird massgeblich von den im Zellkern befindlichen Einheiten der DNS, den Genen, gelenkt.

V. Die Gene als Elementarteilchen des Lebens

1. Lokalisation der Gene

Alle Lebewesen besitzen in ihrem Körper festgelegte Eigenschaften, die sie durch Fortpflanzung ihren Nachkommen weitergeben oder vererben. Mendel nannte die für die Weitergabe verantwortlichen körperlichen Faktoren Erbfaktoren oder Erbelemente, ohne ihren genaueren Ort im Organismus oder ihre Beschaffenheit zu kennen. Dieses Rätsel wurde in der ersten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts durch verschiedene Biologen, Chemikerinnen und Physiker nach und nach gelöst. Bereits in den sechziger Jahren des letzten Jahrhunderts isolierte der Chemiker Friedrich Miescher (1840 - 1895) menschliche wie tierische Zellkerne und entdeckte darin die Nukleinsäure. Der Botaniker Wilhelm Ludvig Johannsen (1857 - 1927) fand 1909, dass "viele Eigenschaften der Organismen durch in den Gameten vorkommende besondere, trennbare und somit selbständige 'Zustände', 'Grundlagen', 'Anlagen', kurz, durch das, was wir eben *Gene* nennen wollen", bedingt seien.³⁰ Versuche mit durch Parthenogenese (Jungferzeugung) entstehenden Lebewesen ergaben, dass sich deren Eier nicht weiterentwickelten, wenn ihr Zellkern entfernt worden war. Die wesentlichen Erbanlagen (Gene) mussten sich also tatsächlich im Zellkern der Organismen befinden.

Ab 1910 zeigte der Genetiker Thomas Hunt Morgan (1866 - 1945) anhand seiner Versuche mit der Taufliege *Drosophila melanogaster*, dass sich bestimmte

²⁸ Dazu auch SCHOPF, S. 99; ferner DUDEN BIOLOGIE, S. 53. - Zur biologischen Individualität auch § 6 II.3.a.

²⁹ Zum ganzen FALLER, S. 19, sowie ausführlich VON SCHUBERT, S. 130 ff.

³⁰ Johannsen, Elemente der exakten Erblchkeitslehre, zit. nach WINNACKER, S. 31 (eigene Hervorhebung). Zu Johannsens Prägung auch der Begriffe "Geno-" und "Phänotyp" auch LEXIKON DER NATURWISSENSCHAFTLER, Stichwort "Johannsen".

Erbanlagen oder Gene regelmässig bestimmten Chromosomen zuordnen lassen. Darüber hinaus stellte Morgan bereits Berechnungen über die molekulare Grösse und Vermutungen über die chemische Zusammensetzung der Gene an. 1935 beschrieben verschiedene Physiker die Gene als Atomverbände, also als physikalisch-chemische Einheiten oder Moleküle. Experimente mit verschiedenen Pneumokokkenarten, Erregern der Lungenentzündung, verhalfen dem Bakteriologen Oswald Theodore Avery (1877 - 1955) im Jahre 1944 zum Beweis, dass die DNS der Chromosomen das gesuchte Erbmaterial enthält.

Im Anschluss an die 1950 veröffentlichte Arbeit des Biochemikers Erwin Chargaff über die Regelmässigkeiten der chemischen Zusammensetzung der DNS entdeckten 1953 zwei weitere Biochemiker, James Watson und Francis Crick, schliesslich die molekulare Struktur der DNS als Doppelhelix.³¹ Auf molekularbiologischer Ebene erwiesen sich Mendels Erbfaktoren damit als Teile oder Abschnitte auf den DNS-Fäden. Diese DNS-Abschnitte sind massgeblich an der Bildung der für alle Zellfunktionen und damit für das Leben so wichtigen Proteine beteiligt.

2. Universaler genetischer Code

Aus biologischer Perspektive basiert alles Leben auf chemischen Reaktionen und Umwandlungen der Zellen eines Organismus. Dazu bedürfen alle Zellen verschiedener Proteine, ohne die sie weder atmen oder wachsen noch sich bewegen oder teilen können. *Proteine* übernehmen je nach ihrer Zusammensetzung verschiedene Funktionen im Organismus.³² In der Form von Enzymen beschleunigen sie als Biokatalysatoren die Stoffwechselreaktionen; als Hormone kontrollieren sie zum Beispiel das Zellwachstum; bestimmte Proteine garantieren als Gerüst Gestalt und Stabilität eines Organismus, andere etwa als Antikörper die Abwehr schädigender Fremdproteine von Viren. Allen Proteinen gemeinsam ist ihre chemische Zusammensetzung aus miteinander verknüpften *Aminosäuren*.³³

Die Verknüpfung der Aminosäuren zu Proteinen in den Zellen erfolgt nach einem durch die Reihenfolge der Basen der DNS-Stränge festgelegten Schema oder Schlüssel. Immer drei aufeinanderfolgende DNS-Basen informieren die Zelle über die Verwendung eines entsprechenden Aminosäuren-Bausteins bei der Proteinbildung. Beispielsweise steht oder codiert die Dreierabfolge (Triplet) der Basen T-C-T für die Aminosäure Serin; das Triplet der Basen G-C-T codiert für die Aminosäure Alanin. Die einzelnen Triplets auf der DNS enthal-

³¹ Ausführlich dazu WINNACKER, S. 25 - 49; SHAPIRO, S. 53 ff., 65 ff.

³² Dazu DUDEN BIOLOGIE, Stichwort "Eiweiss"; WINNACKER, S. 49 f.

³³ Die 20 altbekannten *Aminosäuren* sind kettenartige, chemische Verbindungen verschiedener Elemente wie Stickstoff (N), Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O) und Wasserstoff (H) (WINNACKER, S. 128, 133).

ten also den Schlüssel oder Code für die Verknüpfung bestimmter Aminosäuren zu bestimmten Proteinen und werden auch *Codons* genannt.³⁴

Die Zellen aller Lebewesen bedürfen für ihre Funktionstüchtigkeit bestimmter Proteine. Die Bildung dieser Proteine basiert bei allen Lebewesen auf den entsprechenden Codons ihrer DNS. Die für die spezifischen Proteine stehenden Codons sind bei allen Lebewesen identisch und werden zudem durch Fortpflanzung an die Nachkommen weitervererbt. Daraus ergibt sich der *universale genetische Code* für alle Amino-bausteine aller in allen Lebewesen gebildeter Proteine. So codiert beispielsweise das Triplet T-T-T immer für die Aminosäure Phenylalanin, egal, ob es nun im Erbmaterial von Bäumen, Fischen oder Menschen vorkommt. Die Verknüpfung etwa der Codons GTG (für Valin), CAT (für Histin) und CTG (für Leucin) mit rund 570 weiteren Basen-Tripletts führt in den Zellen aller Lebewesen zur Bildung des Proteins Beta-Globin. Als Bestandteil des Hämoglobins erhöht dieses wiederum die Fähigkeit des Blutes zum Transport von Sauerstoff.³⁵

3. Transkription und Translation

Die Synthese oder Zusammensetzung der Proteine in den Körperzellen läuft in mehreren, enzymatisch gesteuerten Phasen ab und beginnt mit der Abschrift (Kopie) der jeweils erforderlichen Codons von der Vorlage der DNS. Die entsprechende DNS-Doppelhelix öffnet sich am Ort dieser Codons. An den Basen des einen DNS-Stranges lagern sich freie Komplementär-Basen aus dem Zytoplasma an. Die angelagerten Basen werden ihrerseits zu einem eigenen, sogenannten *Ribonukleinsäure-* oder *RNS-Strang* zusammengefügt.³⁶ Der fertige RNS-Strang löst sich von der DNS-Vorlage ab. Diese hat ihre genetische Information in Form komplementärer Basenabfolgen auf der RNS als Kopie der DNS hinterlassen, was *Transkription* genannt wird, und schliesst sich wieder zur Doppelhelix. Quasi als Bote schiffte die deshalb auch Boten- oder *messenger-RNS (mRNS)* genannte DNS-Kopie ihre Codons nun durch die Poren der Kernmembran zu den Ribosomen der Zelle. Die *Ribosomen* sind im Zytoplasma schwimmende, besonders strukturierte Moleküle, die als kanalartige Anlegestelle der mRNS dienen.³⁷

Das Zytoplasma enthält überdies eigene RNS-Sequenzen, die *Transfer-RNS (tRNS)*, die in ihrem Schlepptau jeweils eine Aminosäure zur Proteinbildung oder *Translation* in die Kanäle der Ribosomen bringen. Dort übermitteln die Codons der mRNS den tRNS Abfolge und Art der herbeizubringenden Amino-

³⁴ Da sich aus den 4 DNS-Basen 64 (4 x 4 x 4) mögliche Basenkombinationen (Codons) ergeben, werden die meisten Aminosäuren durch mehrere Codons repräsentiert (WINNACKER, S. 53; KOHLI, S. 30).

³⁵ Dazu auch WINNACKER, S. 59 ff.

³⁶ Die *Ribonukleinsäure* (englisch: RNA) unterscheidet sich in ihrer chemischen Zusammensetzung durch den Zucker Ribose (statt Desoxyribose) und die Base Uracil (U) anstelle von Thymin von der DNS.

³⁷ Dazu und zum folgenden ausführlich WINNACKER, S. 49 ff., 54 ff.; KOHLI, S. 11 ff., 26 ff.; RYSER / WEBER, Gentechnik, S. 12 ff.; Tafel 4.

säuren wie folgt: In den Ribosomen wird nach und nach jedes mRNA- mit einem tRNA-Codon verbunden. Zum zuerst vorliegenden mRNA-Codon passt immer nur ein tRNA-Codon mit entsprechend komplementärem Codon (Anticodon). Jede Aminosäure wird einzig durch ein bestimmtes Anticodon, eine bestimmte tRNA, mitgeführt. So lagern sich in den Ribosomen der Reihe der Codons der mRNA nach verschiedene tRNA mit ihren jeweiligen Aminosäure an. Welche Aminosäuren durch das aufeinanderfolgende Anlegen der einzelnen mRNA-Codons in einem Ribosom zu welchem Protein miteinander verknüpft werden, wird durch die entsprechende mRNA-Gesamtsequenz vorgegeben.

4. Gene, Genome und Genprodukte

a) *Genprodukte und Gene*. Die Genprodukte, die Proteine, werden je nach ihrer Funktion in Strukturproteine, Enzyme und Regulationsproteine unterschieden. Letztere beiden werden nicht nur als Produkte der Gene hergestellt; sie vermögen die Vorgänge von Transkription und Translation auch überhaupt erst in Gang zu setzen. Dazu müssen sie wiederum selbst zuerst hergestellt und in Zellkerne gebracht werden. Da Proteine regelmässig aus mehreren Aminosäuren bestehen, bedarf es zu ihrer zellinternen Synthese in den Ribosomen mehrerer Codons aus der DNS. Der Abschnitt auf einem DNS-Faden, der alle für die Bildung eines Proteins erforderlichen Codons umfasst, heisst Gen. Ein Gen besteht durchschnittlich aus etwa ein- bis fünftausend Basenbausteinen. *Gene* sind also funktionale Einheiten der DNS, die für die Herstellung oder Ausprägung je bestimmter Proteine verantwortlich sind.³⁸

So knüpft der Begriff *Gen* zwar ans griechische "*genea*" für Abstammung oder Nachkomme und ans lateinische "*genus*" für Geschlecht und Ursprung an; seinen Sprachwurzeln nach meint er ausserdem die letzte, unteilbare, zur Selbstverdoppelung befähigte Einheit der Erbinformation. Im biologischen Arbeitsalltag hingegen codiert jedes Gen an sich schlicht für ein bestimmtes Protein, dessen vorbeschriebener Entstehungsprozess auch als *Genausprägung* oder *Genexpression* bezeichnet wird.³⁹

b) *Exons und Introns*. Die für die Proteinbildung codierenden Basenfolgen eines Gens werden auch *Exons*, die nichtcodierenden DNS-Sequenzen *Introns* genannt. Ein Gen kann eine ununterbrochene Abfolge codierender Basenfolgen, ein Exon, umfassen. Doch gibt es auch Gene, die aus mehreren Exons bestehen, die von Introns unterbrochen werden. Während der Transkription dieser Gene werden die Introns zuerst aus der mRNA entfernt. Dieser Vorgang wird auch *Spleissen* genannt. Die Introns sind damit normalerweise nicht an der Proteinherstellung beteiligt, was ihnen die Bezeichnung "Junk- oder Abfall-DNS"

³⁸ WINNACKER, S. 205, 174 ff., 222 f.; CHARGAFF, S. 322 f., 314; VOGEL, *Gentechnik*; MEYERS Bd. 4.

³⁹ WINNACKER, S. 177.

eintrug.⁴⁰ Die Gene höherentwickelter Organismen weisen in der Regel eine Mosaikstruktur aus Exons und Introns auf.

Die Exons beginnen mit der mRNS-Synthese nicht von selbst. Das Startsignal dazu geben bestimmte, um den codierenden Teil des jeweiligen Gens gelagerte Signal-Sequenzen auf der DNS. Als sogenannte Promotoren signalisieren diese Sequenzen den Regulationsproteinen, die für die einzelnen Genexpressionen massgeblich sind, den Beginn der Transkription, als Terminatoren das jeweilige Ende des zu transkribierenden DNS-Abschnitts und damit der erforderlichen mRNS-Synthese.

c) *Genome*. Die artspezifische Gesamtheit aller Gene eines Organismus wird *Genom* genannt.⁴¹ Das Genom des Bakteriums *Haemophilus influenzae* beispielsweise umfasst 1'743, das Genom von *Escherichia coli*-Bakterien ungefähr 3'000 Gene; das Genom der Bäcker- oder Bierhefe, ein einzelliger Pilz namens *Saccharomyces cerevisiae*, umfasst über 6'600, das Genom der Taufliege *Drosophila melanogaster* 17'000 verschiedene Gene. Das menschliche Genom umfasst schätzungsweise rund 100'000 verschiedene Gene.⁴² Innerhalb der Art hat im übrigen jeder einzelne Organismus sein einzigartiges Genom, das aus der zufälligen Kombination seiner väterlichen und mütterlichen Gene entsteht. Der grossen Kombinationsmöglichkeiten dieser Gene wegen ist die natürliche Entstehung zweier genetisch identischer Menschen höchst unwahrscheinlich (§ 6 II.3.a.).

Dabei sind es weniger die codierenden Gene selbst, die die genetische Individualität eines Organismus ausmachen. Die Gene sind innerhalb einer Art immer nahezu identisch. Grosse Variabilität und damit Individualität weisen dagegen die rund 97 Prozent des gesamten Erbmaterials ausmachenden nicht-codierenden DNS-Sequenzen aus. Ihre biologische Funktion ist derzeit noch weitgehend ungeklärt. Immerhin haben sich die Introns inzwischen als nicht ganz so unnütz erwiesen. Vermutlich enthalten sie nämlich Sequenzen, welche die korrekte Synthese von RNS kontrollieren.⁴³

d) *Viren*. Einen Sonderfall in Sachen Genom stellen die Viren dar. Viren bestehen lediglich aus einem RNS- oder DNS-Strang und einer diesen umhüllenden Eiweiss-Kapsel. Die RNS der einfachsten Viren codiert für nur vier verschiedene Proteine. Dieses virale Genom enthält dementsprechend lediglich Gene. Viren können sich nur in aktiven und sich teilenden Zellen vermehren, da sie selbst nicht alle Wirksubstanzen zur Vervielfältigung ihrer Erbsubstanz besitzen. Aufgrund dieser Abhängigkeit von einem Wirtsorganismus gelten Viren

⁴⁰ WINNACKER, S. 251, ferner 82, 85. Dazu und zum folgenden auch KOHLI, S. 27 ff., 30; CHARGAFF, S. 322; NZZ vom 24.11.93, S. 77.

⁴¹ DUDEN BIOLOGIE; WINNACKER, S. 175, 295, 233.

⁴² KOHLI, S. 19; WINNACKER, S. 236, 241; TA vom 31.3.95, S. 88; NZZ vom 9.8.95, S. 16 u. 8.10.96, S. B 35.

⁴³ Dazu auch § 7 III.1.c.; BAZ v. 25.3.96, S. 2; SHAPIRO, S. 141 ff., 251 ff; WINNACKER, S. 92 f., 97, 194, 229 ff.

nicht als Lebewesen oder Organismen. Als kleinste Krankheitserreger besitzen schliesslich immerhin sogar die sogenannten Viroiden eine einsträngige, ringförmig geschlossene RNS ohne Proteinhülle.⁴⁴

5. Genexpression, Zellkommunikation und Stoffwechsel

In allen Zellen der höher entwickelten Lebewesen liegt das gesamte genetische Erbmateriale, das gesamte artspezifische Genom vor. Die einzelnen Zellen etwa des erwachsenen Menschen sind jedoch bereits spezialisiert, das heisst, sie vermögen nurmehr bestimmte Funktionen zu erfüllen. Diese Spezialisierung ist insofern genetisch bedingt, als im erwachsenen Organismus immer nur ein Teil der Gene jeder Zelle aktiv ist, mithin auch nur bestimmte Gene bestimmte Proteine *exprimieren* oder herstellen. Normalerweise werden nur die Proteine exprimiert, die für die spezifische Zelle von Bedeutung sind. Im Zusammenhang mit der Steuerung der Zellteilung spielt die Kommunikation zwischen den Zellen eine wesentliche Rolle.

a) Zell-Kommunikation bedeutet, dass zum Beispiel eine ruhende Zelle durch einen Wachstumsfaktor (Protein), den eine andere Zelle produziert hat, zu wachsen angeregt wird. Dazu bindet sich der Wachstumsfaktor an beweglich in der Zellwand verankerte Oberflächen- oder Rezeptor-Proteine an, die aus der Zelle herausragen und in sie hineinreichen. Die Bindung verändert die Struktur des im Zellinnern liegenden Teils des Rezeptor-Proteins. Als chemisches Signal löst diese Veränderung eine solche von intrazellulären Proteinen aus, indem diese in eine biochemisch aktive Form umgewandelt werden. Die aktivierten Zellproteine können aus dem Zytoplasma in den Zellkern gelangen, wo sie bestimmte Gene aktivieren. Deren Expressionsprodukte wiederum initiieren darauf die Zellteilung. Die kommunikative Funktion der Gene zwischen den Zellen ist derzeit allerdings noch weitgehend unverstanden.⁴⁵ Aus der Krebsforschung sind immerhin schon etliche Anhaltspunkte über mögliche Störungen dieser Kommunikation bekannt.⁴⁶

Aus molekular- und zellbiologischer Sicht gibt sich das Phänomen Leben (Kap. 1) danach als ein äusserst fein abgestimmter Kreislauf in und zwischen den Zellen zu erkennen. Dieser lebensspendende Kreislauf steht in engster Wechselwirkung mit der Umwelt jedes Lebewesens. Auch prägen die Expressionsprodukte der Gene nicht nur das phänotypische Erscheinungsbild eines Lebewesens, sondern vermögen auch dessen Lebensfähigkeit und Lebensqualität unmittelbar und effektiv zu beeinflussen. Darin liegt die wortwörtlich grundlegende Bedeutung der Gene als den wechselwirksamen biologischen Elementarteilchen oder Bausteinen des Lebens.

⁴⁴ Dazu auch KOHLI, S. 18 f.; DUDEN BIOLOGIE; sowie § 8 III.2.b.

⁴⁵ LEHNER, Zellteilungen; WINNACKER, S. 153, 179 f., 184; DERS., Chancen und Risiken, S. 341.

⁴⁶ Dazu § 10 I.3.c. § 10 II.1.a. / 2.b.; Tafeln 5 und 25.

b) Organismen leben, indem ihre Zellen mit ihrer Umgebung chemo-physikalisch reagieren. Die Gesamtheit dieser in einem Organismus ablaufenden Reaktionen nennt man *Stoffwechsel*. Alle Stoffwechsel-Reaktionen werden enzymatisch gesteuert. *Enzyme* sind bestimmte Proteine, die in den Zellen durch Genexpression gebildet werden. Enzyme sind, wie alle Proteine, aus Aminosäuren aufgebaut. Als Biokatalysatoren ermöglichen sie einen raschen Ablauf biochemischer Reaktionen bei niedrigen Temperaturen. Die rund 1'000 verschiedenen Enzyme des menschlichen Körpers wirken spezifisch nur für die Umwandlung je eines ganz bestimmten Stoffes. Ohne sie wären weder die Stoffwechselforgänge oder das Wachstum noch Bewegungen oder Sinneswahrnehmungen des Organismus möglich. Grosse Bedeutung kommt den entsprechenden Genen zu.⁴⁷

c) Die Wechselwirkungen zwischen Genexpression und Stoffwechsel lassen sich an einem Beispiel aus dem täglichen Leben veranschaulichen, dem hier nicht ganz 'tierisch ernst' zu nehmenden Katz'-und-Maus-Spiel:

Eine Katze auf der Jagd späht geschärften Auges nach der Maus. Diese atmet tief durch und rennt der Katze flink davon. Was ist geschehen? Das Katzenauge nahm die Maus als reflektiertes Sonnenlicht auf seiner Netzhaut wahr. Deren stäbchen- und zapfenförmigen Sinneszellen wandelten die Photonen (Lichtpartikel) auf chemischem Wege in elektrische Signale um, die durch Nervenzellen an die Sehrinde des Katzenhirns weitergeleitet wurden. Dort mag sich der weitere Informationsfluss zur Sprungmuskulatur der Katze verzögert haben.

In der Mäuselunge dagegen überbanden bläschenartige Zellen oder Alveolen den eingeatmeten Sauerstoff den roten Blutzellen, die ihrerseits CO₂ zur Ausatmung abgeben. Da die Maus genügend gefrühstückt hatte – wobei allgemein insbesondere glucosehaltige Kohlenhydrate zu empfehlen sind –, floh sie erfolgreich vor der Katze, denn: Der Sauerstoff vermag die aus dem Abbau des Blutzuckers gewonnenen ATP-Moleküle rechtzeitig zu spalten, womit die Zellen des Bewegungsapparates genügend Energie für ihre Arbeit erhalten. Exakt diese auch für den Wärmehaushalt so wichtige, 'mäuse-ATP-gespeicherte' Energie ist es auch, deren Fehlen die Katze nun schlottern lässt. Demgegenüber exprimierten die Mausgene die zur Freisetzung der Fluchtenergie benötigten Enzyme; zur Genexpression angeregt wurden sie durch ein bestimmtes Regulationsprotein; dieses wiederum diente als Vermittler der Umwelteinflüsse ... in diesem Fall dem via Auge und Hirn übermittelten bedrohlichen Katzenbuckel.⁴⁸

⁴⁷ Dazu KOHLI, S. 33.

⁴⁸ Das Kürzel *ATP* steht für die besonders energiereiche chemische Verbindung namens Adenosintriphosphat, das insbesondere durch Spaltung von Glucose (Blutzucker) gewonnen wird. Ausführlich dazu DIMROTH.