

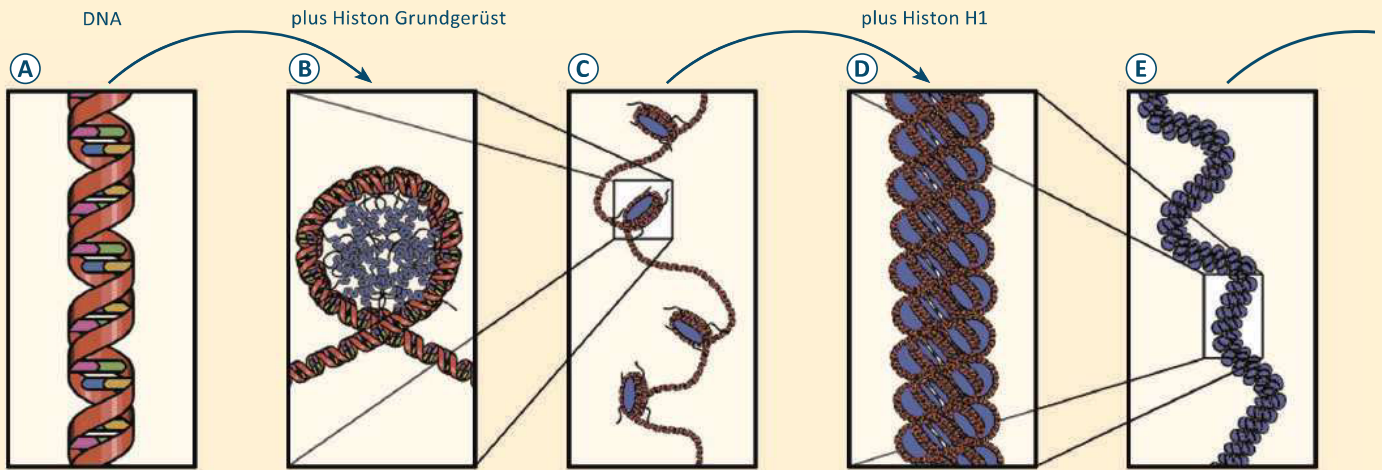
Der Blick auf die Gene

Vom Baukasten zum sensiblen Netzwerk

Eine unvoreingenommene Betrachtung der Erscheinungen des Lebendigen kann zu der Erkenntnis führen, dass alles Lebendige sich nach seiner eigenen, ihm typischen Gesetzmäßigkeit entfaltet, während Totes den Gesetzmäßigkeiten der Außenwelt unterliegt.

Leben wird heute allgemein definiert über Energie- und Stoffwechsel und damit über die Wechselwirkung mit der Umwelt. Der lebendige Organismus setzt sich über Reize, die er empfängt, in Beziehung zu seiner eigenen Innenwelt und zu der Welt die ihn umgibt. Es kommt zur Selbstregulation und Organisiertheit (Homöostase).

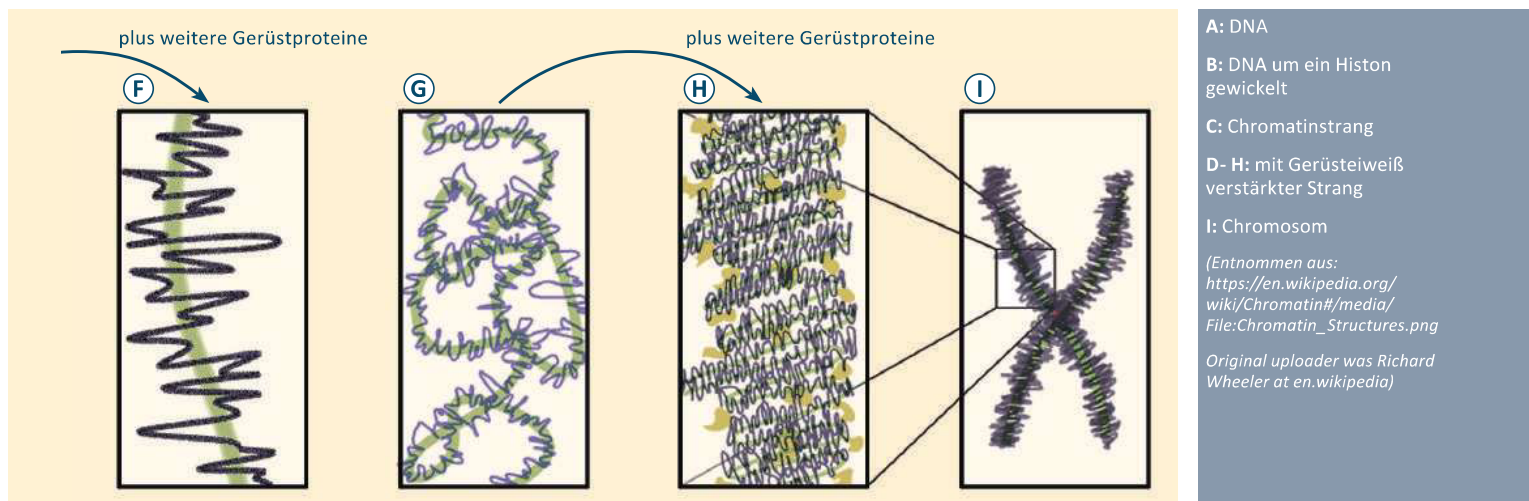
Über das gezielte sich Öffnen und sich Abgrenzen gegenüber der Außenwelt erschaffen, entfalten und erhalten sich lebendige Organismen. Durch Verinnerlichung emanzipiert sich das Leben von den Kräften der Außenwelt, ohne sich von ihnen zu trennen. Schon der einfachste Einzeller emanzipiert sich, indem er Chemisch-Physikalisches der



Außenwelt verinnerlicht und seinen Organismus vor den direkten Wirkungen dieser Kräfte schützt. Die Pflanze verinnerlicht den Wasserhaushalt der Natur und erhält sich im eigenen Wasserhaushalt. Die höheren Tiere verinnerlichen die Wärme und werden so unabhängig von der äußeren Wärme. Der Mensch verinnerlicht den Geist in der Natur, wendet seinen Verstand auf die Natur an und erreicht so den höchsten Freiheitsgrad im Reich der Natur. Je besser ein lebendiger Organismus in der Lage ist, sich von der Außenwelt nach seiner Art zu emanzipieren, umso vollkommener erscheint er. Tritt der Tod ein, entfalten die Kräfte der Außenwelt wieder ihre Eigendynamik und der Organismus zerfällt. Im Gegensatz hierzu gestaltet der lebendige Organismus als Ganzheit seine einzelnen Glieder aus sich selbst heraus, seinem

eigenen Wesen gemäß. Im Wachstum entfaltet er seine Fähigkeit zur Entwicklung. Die Steigerung des Wachstums ist die Reproduktion. Sofern bei der Fortpflanzung die Körperlichkeit seiner Vorfahren bedingend wirkt, spricht man von Vererbung.

Die heutige Wissenschaft hingegen sieht in den Erscheinungen des Lebendigen eine bloße, wenn auch sehr komplexe Fortführung physikalischer und chemischer Vorgänge, wie sie auch in der unbelebten Welt zu beobachten sind. Auf der Suche nach den bedingenden Faktoren wendet sie den Blick ab von der Gestalt des Lebewesens und taucht ab in den Mikrokosmos innerhalb der Zelle. Gerade aber die neueren Erkenntnisse über das komplexe Zusammenwirken der kleinsten Teile lässt den lebendigen Organismus wieder als eine Ganzheit



erscheinen, der mehr als die Summe seiner Teile ist. Noch hält die Lehrmeinung nicht Schritt mit dem, was Stand der Forschung ist. Diese Lücke zu schließen wird in der Kürze dieses Aufsatzes

nicht möglich sein. Mein Anliegen ist vielmehr, dem geneigten Leser Anregungen zu geben, das eigene Denken durch neue Perspektiven zu bereichern und somit in Bewegung zu halten.

Die DNA im Mikrokosmos der Zelle

Die Forschung am Lebendigen, wie sie im großen Stil heute betrieben wird, hat in den letzten Jahrzehnten einen immensen Aufwand betrieben, um den Mikrokosmos der Zelle auf biochemischer Ebene zu erforschen. Die Vorstellungen, die aus den angehäuften Daten abgeleitet werden, lassen uns eintauchen in eine faszinierende Welt mit riesigen Molekülen aus kleinsten Atomen, die sich durch das Zytoplasma (die Zellflüssigkeit) bewegen, um zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort das zu bewirken, wofür sie geschaffen sind. Die zentrale Rolle wird der Desoxyribonukleinsäure (DNA) zugesprochen. Sie gilt als Träger von Informationen, die für die Vererbung, die Entwicklung und die Etablierung des Stoffwechsels essentiell sind.

Die DNA ist im Zellkern in den Chromosomen um Proteinklumpchen (Histone) gewickelt. Um die Größenordnungen zu veranschaulichen, kann man sich Folgendes vorstellen: könnten wir die DNA einer unserer Zellen aufdröseln, so würde deren Länge reichen, um diese bequem um unseren Bauch zu binden (dies gilt auch für üppige Bäuche!). Oder: wäre ein Basenpaar (kleinste Informationseinheit) auf der DNA 1 cm groß, so könnte man

mit der menschlichen DNA (3,2 Milliarden Basenpaare) fast die ganze Erde umspannen!

Weit umfangreicher noch ist der Anteil der verschiedenen RNA-Moleküle¹ und der Proteine in der Zelle. Das Erforschen des komplexen Zusammenwirkens dieser immensen Vielfalt erfolgt heute mit Hochdurchsatzmethoden der DNA/RNA-Sequenzierung, um über rechnergesteuerte Algorithmen und Wahrscheinlichkeitsrechnungen deren funktionelle Bedeutung zu erahnen. Beeindruckend ist, **was** bisher entdeckt wurde. Nicht minder beeindruckend ist, **wie** es entdeckt wurde.

Schon im Jahr 2003 war es den Wissenschaftlern gelungen, die Abfolge der Basenpaare auf der menschlichen DNA zu entschlüsseln (Human Genome Project), doch schon bald nach der Bekanntgabe musste man eingestehen, dass mit dieser Information allein nicht viel anzufangen ist. Die DNA dient der Zelle als Blaupause für Polypeptide (Verbindungen aus Aminosäuren). Über RNAs können hierdurch Proteine gebildet werden oder auch genregulierende Funktionen vollzogen

1) RNA=Ribonukleinsäure: bewegliche Moleküle, die die Information der DNA aufnehmen.

werden. Bis aber ein fertiges Protein gebildet ist und an den richtigen Ort gelangt, bedarf es des Wirkens der ganzen Zelle, ja des ganzen Organismus. Um diese und andere Vorgänge zu erforschen, wurde im Jahr 2003 ein neues, weitaus größeres Projekt mit dem Namen ENCODE (**ENC**yclopedia

Of DNA Elements) gestartet. Ziel war es nun, alle funktionellen Elemente auf der DNA zu identifizieren und zu charakterisieren, die nicht nur mit der Proteinbildung zusammenhängen (etwa 2 % des Genoms), sondern auch die regulierenden Abschnitte umfassen (etwa 76 % des Genoms).

Gentechnik in vielen Produkten

Zurzeit gibt es zahlreiche Forschungsprojekte, die sich mit der biochemischen Funktion der Genprodukte aus Mikroorganismen befassen. Insbesondere hat die Erforschung der Wirkungsweise von Enzymen in der Folge zu ihrer technischen Verwendung geführt.

Ohne größeren öffentlichen Diskurs und weitgehend unbeachtet von der Öffentlichkeit haben Substanzen, die von gentechnisch manipulierten Organismen stammen, längst Einzug in unser alltägliches Leben genommen. Meist sind es einfache

Hefen oder Kolibakterien, die biotechnologisch verändert wurden, damit sie Hilfsstoffe und Zusatzstoffe mit gewünschten Eigenschaften produzieren. ▶

Beispielhaft sollen hier nun einige davon genannt werden:

- **Lebensmittelzusatzstoffe**

wie Aromen, Emulgatoren, Vitamine (Ascorbinsäure), Enzyme für die Backtechnologie, Glutamat; Süßstoffe wie Glukose, Fruktose aus Maisstärke, Aspartam; Säuren wie Äpfelsäure, Essigsäure und Zitronensäure (teilweise aus gentechnisch veränderten Schimmelpilzen).

- **Arzneimittel**

wie Insulin, Blutersatzstoffe, Impfstoffe... (aktuell werden 1/3 der neu zugelassenen Arzneien biotechnologisch hergestellt).

- **Enzyme**

als technische Hilfsstoffe in Waschmitteln, zur Papierbleiche, zum Beizen von Leder, zur Modifikation von Textilien, zur Herstellung von Treibstoffen...

Ökoprodukte sind in der Regel frei von Stoffen aus biotechnologischen Verfahren – außer, wenn gewünschte Erzeugnisse und Stoffe für die Ökoprodukte nicht in ausreichender Menge oder Qualität auf dem Markt erhältlich sind. Dann dürfen diese als Hilfsstoffe über eine Ausnahmegenehmigung in Produkten mit dem EU-Öko-Siegel vorkommen.

Angesichts der Erfolge der Genmanipulation erscheint es so, als ob die Gene als Baukasten des Lebens dem Menschen dienlich sein können, so er deren Funktion verstanden hat und nach seinen Bedürfnissen verändert. Doch je mehr Wissen über

die komplexen biochemischen Zusammenhänge gesammelt wird, um so größer scheint die Herausforderung, das Zusammenwirken der einzelnen Teile wirklich zu verstehen.

Der Begriff vom Gen ist am zerbröseln

Das klassische molekulare Genkonzept definierte das Gen als eindeutig bestimmbar und fest umgrenzten DNA-Abschnitt, dessen Basensequenz die Information für die Synthese eines spezifischen funktionalen Produktes trägt (RNAs mit unterschiedlichen Funktionen, Enzyme, Strukturproteine

u. a. weiter modifizierte Polypeptide und Proteine), und damit letztlich für den Phänotyp² des Organismus. Schaut man sich eine aktuelle Definition des Genbegriffs näher an, so fällt auf, dass nach neueren Erkenntnissen nun vorsichtiger formuliert wird:

„... Heute versteht man unter einem Gen eine Sequenz innerhalb der Desoxyribonukleinsäure, welche die Information für eine Polypeptidkette enthält. Es hat sich gezeigt, dass viele Proteine aus mehreren Untereinheiten aufgebaut sind, die von verschiedenen Genen codiert werden. Diese können durchaus auf verschiedenen Chromosomen liegen. Viele neuere Befunde sprechen dafür, den Begriff Gen eher für einen dynamischen, vielen Bearbeitungsschritten unterworfenen DNA-Abschnitt zu verwenden, der für unterschiedliche Polypeptide codieren kann.“³

Das molekulare Gen ist nunmehr kein aus DNA oder RNA bestehendes **Stück Code**, das eindeutig identifizier- und beschreibbar ist. Der biologische Kontext der Zelle und des gesamten Organismus hat einen entscheidenden Einfluss darauf, was im Rahmen eines konkreten Expressionsprozesses⁴ als Gen anzusehen ist. Die DNA codiert nicht einfach

nur den Aufbau von Proteinen. Da gibt es An- und Ausschalter, Führungssequenzen, Spacer, lange und

2) Der Phänotyp (altgriechisch φαίνω phainō „ich erscheine“ und τύπος týpos „Gestalt“) oder das Erscheinungsbild ist in der Genetik die Menge aller Merkmale eines Organismus. Er bezieht sich nicht nur auf morphologische, sondern auch auf physiologische Eigenschaften und auf Verhaltensmerkmale. Quelle: Wikipedia

3) Quelle: <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/gen/27194>

4) Eiweißbiosynthese auf Basis der DNA

kurze eingestreute Sequenzen, springende Gene und vieles andere, dessen Funktion bis heute nicht völlig verstanden ist. Im Zuge der aufkommenden Epigenetik, die sich damit befasst, welche Einflüsse Umweltfaktoren auf die Genaktivität haben, zeigt sich auch, dass der Organismus selbst eine aktive Rolle bei der Verwendung und Gestaltung seines Genoms spielt.

Anstelle eines materiellen Etwas, auf das man den Namen „Gen“ kleben könnte, finden die Forscher nun Wechselwirkungen. Diese stellen sich als umso komplexer heraus, je genauer man sie untersucht. *Kirsten Schmidt* formulierte in ihrer Doktorarbeit mit dem Titel „Was sind Gene nicht?“ diesen Zusammenhang mit folgenden Worten:

„Gene sind keine materiellen Entitäten, deren Grenzen wir auf der DNA lokalisieren können. Ein Gen kann strukturell nicht mit einem Abschnitt auf der DNA gleichgesetzt werden. Zwar besteht durchaus eine Verbindung zwischen Gen und DNA, aber sie ist lediglich temporär. Durch den Expressionsprozess entsteht eine strukturelle Repräsentation des Gens auf der DNA, die (nur?) im Rückblick lokalisiert werden kann.“⁵

Die Gleichsetzung von Genen mit **Einheiten der Vererbung**, deren Besitz zur Ausprägung eines bestimmten erblichen Merkmals führt, muss als eine Kernbedeutung des Genkonzeptes im klassischen Sinn angesehen werden. Aber nicht nur Chromosomen werden molekular vererbt, sondern die komplette väterliche Samen- und

5) Schmidt, Kirsten (2013): *Was sind Gene nicht?* Transcript Verlag. ISBN 978-3-8376-2583-7

Epigenetik

Als epigenetische Kontrollsysteme werden regulatorische Vorgänge bezeichnet, die dafür sorgen, dass im Organismus, d. h. also umgebungsabhängig, physiologische und morphologische Merkmale und Eigenschaften gebildet werden können, die sich zeitlebens erhalten und auf die Nachkommen vererbbar sein können. Epigenetische Vorgänge setzen an allen Stellen der Genexpression an, also an allen Stellen, in der...

... „die genetische Information eines Gens zum Ausdruck kommt und in Erscheinung tritt, also (an der) der Genotyp eines Organismus oder einer Zelle als Phänotyp ausgeprägt wird.“

Quelle: Wikipedia

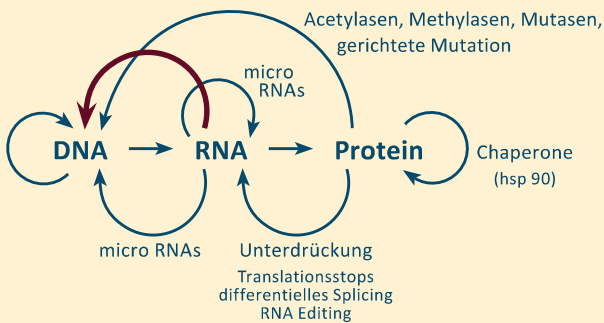
Die vielfältigen Möglichkeiten der epigenetischen Regulierung deuten auf ihre herausragende Bedeutung in der Entwicklung und Evolution der Organismen. – Dass lebendige Organismen auf sich ändernde Umwelten DNA-regulierend reagieren ist Gegenstand der epigenetischen Forschung.

Die Erweiterung des Zentralen Dogmas der Genetik



Das Zentrale Dogma der Genetik nach Watson und Crick.

Der Kreispfeil weist auf die semikonservative Replikation; die geraden Pfeile suggerieren die Unumkehrbarkeit des Informationsflusses.



Die Erweiterung des Zentralen Dogmas.

Die DNA ist Teil eines großen molekularen Netzwerks mit vielfältigen Rückkoppelungen von RNA und Protein; der rote Pfeil bezeichnet Vorgänge nicht-mendelscher Vererbung (ohne DNA), deren Wirkungsweisen noch ungeklärt sind.

Quelle: Wirz, Johannes: Elemente der Naturwissenschaft 88; 2008
Dort werden zur Bedeutung der Pfeile ausgewählte Prozesse beschrieben.

mütterliche Eizelle, mit all ihren zellulären Strukturen und Inhaltsstoffen wie Proteinen, RNAs und Lipiden (Fette und fettähnliche Substanzen). Die Eizelle ist, anders als das klassische molekulare Genkonzept glauben lässt, nicht nur ein passives **Lesegerät** für ein DNA-Programm. Denn nicht nur die DNA, sondern zahlreiche weitere Zellkomponenten spielen eine aktive Rolle bei der Entstehung äußerer (phänotypischer) Merkmale. Die funktional gekoppelten Komponenten einer Erbinheit bestehen nicht allein aus DNA-Abschnitten.

Nahezu das gesamte Genom wird transkribiert (in RNA 'übersetzt'), aber nur ein geringer Prozentsatz der Transkripte wird translatiert (zur Proteinsynthese verwendet). Der größere Teil des Genoms enthält Informationen für (codiert) regulierende Funktionen, die mittels eines komplexen Netzwerkes in ständiger Interaktion mit der Umgebung die Entwicklung des Organismus auf dem Weg vom Gen zu einer phänotypischen Eigenschaft steuern. Auch können durch sogenannte ‚alternative Spleiß-Vorgänge‘ aus ein und derselben Boten-RNA manchmal Hunderte verschiedener Boten-RNAs entstehen. Darüber hinaus sind auf dem Weg zur Proteinsynthese vielfältige Prozesse beteiligt, die in Abhängigkeit der Umgebungsverhältnisse der Zelle spezifisch ablaufen.

Beispielsweise sind bei der Übersetzung der Information einer Gensequenz in ein Eiweiß bei der Proteinbiosynthese mehrere Hundert verschiedene Enzyme beteiligt.

Der Unterschied zwischen *Arabidopsis thaliana* (Ackerschmalwand), Maus und Mensch besteht aus molekularer Perspektive weniger in der Anzahl von Genen als in der Art und Weise ihrer Regulation.

Der genetische Anteil des Genoms kann also nicht auf die typischen Protein-codierenden DNA-Abschnitte beschränkt werden – nahezu das gesamte Genom in seiner dreidimensionalen Struktur wirkt auf die biochemischen Vorgänge in der Zelle. So entscheidet etwa die Struktur und Dichte der DNA-Verwicklungen, wie häufig ein DNA-Abschnitt gelesen wird und darüber hinaus welcher Mutationswahrscheinlichkeit er unterworfen ist. Zu jedem Zeitpunkt in der Entwicklung des Organismus bestimmen die aktuell vorliegenden genomischen, zellulären und extrazellulären Faktoren, was ein Gen ist, welche Information vorliegt, wann diese Information zur Herstellung eines Proteins herangezogen wird und wie die Entwicklung weitergeht. Eine Erklärung der Entstehung organischer Formen kann sich daher nicht auf die Vorstellung der Abarbeitung eines genetischen Programms beschränken.

Die DNA wird zuweilen auch als **Buch des Lebens** bezeichnet. Da die Zelle aber je nach Bedarf Teile der DNA liest und selbst den Zusammenhang herstellt, um die im Moment benötigten Stoffe zu produzieren, erzählt das Buch des Lebens keine fertigen Geschichten, sondern ist vielmehr ein Wörterbuch, in dem jedes Wort je nach Kontext

eine neue Bedeutung erhält. Die fein abgestimmten Prozesse innerhalb der Zelle kann man auch mit einem Orchester vergleichen, das eine Sinfonie spielt. Der Dirigent dieses Orchesters ist hier die Zelle bzw. der Organismus als Ganzes.

Bemerkenswert ist, dass bei Genmanipulationen die Zelle dazu gebracht wird, Informationen zu lesen, um Stoffe herzustellen, die sie nicht zwingend benötigt. Vorbild sind hier natürliche Vorgänge, die den Zielorganismus krank machen: Viren schleusen über sogenannte Plasmide (ringförmiger DNA-Strang) ihre Erbinformation in die infizierte Zelle. Auf dem Plasmid sind starke Promotoren (Sequenzen die einen Ablesevorgang initiieren), die die Zelle zwingen, die neue Information abzulesen. Auch andere krankmachende Organismen nutzen diese Technik. So wird in der Gentechnik traditionell etwa das Agrobakterium *tumefaciens* verwendet, um fremde DNA einzuschleusen. In der Sinfonie der zellulären Vorgänge, kann man sich dies wie einen Dauerton vorstellen, der sich belastend auf den Stoffwechsel auswirkt.

Neuere Methoden des Geneditierens wie CRISPR/Cas hinterlassen teilweise keine Vektoren wie die eben genannten Plasmide. Vorhandene bzw. eingeschleuste Promotoren werden hier je nach Bedarf an- und ausgeschaltet. Manche der vorgenommenen Genmanipulationen hinterlassen angeblich keine nachweisbaren Spuren mehr. Sind sie deswegen weniger bedenklich? ▶

Die Genmanipulation ist präziser geworden, es wird behauptet, dass nun ein gewünschter Eingriff genau an der Stelle erfolgen kann, an der man ihn haben möchte. Damit wird suggeriert, dass man nun auch genau wüsste, was man da macht. Welche Auswirkungen ein Eingriff in die DNA auf

den Gesamtstoffwechsel der Zelle hat, ist aber angesichts des Zusammenspiels der immensen Fülle der Vorgänge nach wie vor schwer abschätzbar. Datenberge werden angehäuft, um diese Vorgänge besser durchleuchten zu können. Doch was nützen diese, wenn der Blick auf das Ganze fehlt?

Der Blick auf das Ganze

„Wer will was Lebendigs erkennen und beschreiben, sucht erst den Geist heraus zu treiben, dann hat er die Teile in seiner Hand, fehlt leider nur das geistige Band.“

Goethe, *Faust I*

Gene stehen in einem sensiblen Gleichgewicht von Konstanz und Variabilität, ohne Variabilität wäre keine Weiterentwicklung möglich und ohne Konstanz keine Vererbung. Die DNA ist ein gut geschützter Bereich des Lebendigen, sogar Fehler bei den Kopiervorgängen werden zu aller meist korrigiert. Wo dies nicht geschieht, entsteht Raum für Neues. Dass neue Merkmale ausschließlich durch zufällige Mutationen entstehen und durch Selektion evolutiv festgehalten werden, ist die noch weit verbreitete Sichtweise der heutigen Evolutionstheorie.

Im 20. Jahrhundert sah die von der Sowjetunion diktierte Lehrmeinung⁶ das Lebendige sich als bloßes Produkt seiner Umweltbedingungen entwickeln. Die westliche Schule hingegen sah das

Lebendige als bloßes Produkt seiner Erbanlagen (Gene), das sich über zufällige Mutationen neue Eigenschaften verlieh (um hier etwas überspitzt und verallgemeinernd die damals vorherrschenden Gegensätze auszudrücken). Eine Sichtweise, die die beiden genannten, polar gegensätzlichen Sichtweisen vereinigt und auf ein neues Niveau bringt, wäre die folgende:

Das eigentlich Konstituierende im Lebendigen gibt der lebende Organismus selbst. Das Vermögen, neue Erscheinungsformen hervorzubringen, ist in erster Linie Eigenschaft der beweglichen, konstituierenden inneren Natur, der Idee des Organismus in der aktiven Auseinandersetzung mit den veränderlichen äußeren Bedingungen. Die innere Natur ist gleichzeitig das aktive, hervorbringende Agens, das Entwicklung im Lebendigen erst ermöglicht.

6) Siehe hierzu den Artikel über die Biographie von Wawilov in diesem Mitteilungsheft

Zusammen mit den modifizierenden äußeren Umständen beinhaltet es die Bedingungen, unter denen die Vielfalt der Lebewesen entsteht. Variation ergibt sich als Synthese äußerer und innerer Faktoren. Dieser Zusammenhang wurde schon von Goethe erkannt und in seinen „*Vorarbeiten zu einer Physiologie der Pflanzen*“ wie folgt beschrieben:

„Die Metamorphose der Pflanzen [...] zeigt uns die Gesetze, wonach die Pflanzen gebildet werden. Sie macht uns auf ein doppeltes Gesetz aufmerksam: 1. Auf das Gesetz der innern Natur, wodurch die Pflanzen konstituiert werden. 2. Auf das Gesetz der äußern Umstände, wodurch die Pflanzen modifiziert werden.“⁷

Rudolf Steiner erweiterte diese Anschauung, indem er zu den äußeren Umständen auch die in der Vererbung wirksamen Bedingungen als einen Umstand qualifizierte, mit dem sich die innere konstituierende Natur auseinanderzusetzen hat:

„Neue Formen können nur durch eine Veränderung der äußeren Umstände bewirkt werden. Dann aber haben diese neuen Umstände nicht allein sich dem Gesetze des Inneren der organischen Natur zu fügen, sondern auch mit den schon entstandenen Formen zu rechnen, denen sie gegenüber treten. Denn was in der Natur einmal

entstanden ist, erweist sich fortan in dem Tatsachenzusammenhang als mitwirkende Ursache. [...] Es ist dies eine Tatsache, für die man in der neueren Zeit das Wort Vererbung gebraucht“⁸

Der Begriff **Vererbung** wird hier in einem neuen Licht dargestellt, nämlich als Vorgang, durch den die unendliche Plastizität der **inneren Natur** durch die konkrete, verinnerlichte Erfahrung vergangener äußerer Modifikationen eingeschränkt wird. Damit ist Vererbung aus dieser Perspektive nicht Ursache, sondern Folge der (vormaligen) Erscheinung eines Lebewesens. Dadurch, dass sie erblich festgehalten werden, werden zusätzliche, verinnerlichte äußere Bedingungen für nachfolgende Generationen verfügbar gemacht. Bringt man dies in Zusammenhang mit den heutigen Vorstellungen, kann man mit Johannes Wirz sinngemäß sagen: **Lebewesen sind nicht Realisierungen ihres genetischen Programms, sondern sie interpretieren ihre Erbanlagen aktiv. Gene sind nicht Ursache, sondern Bedingung für die Realisierung von Lebensvorgängen. Das Lebewesen als Ganzes bildet die Ursache dafür, wie eine genetische Anlage bei der Ausprägung von Merkmalen verwendet wird.**⁹

Lebewesen sind im Kontext von Genetik und Evolution nicht nur als Produkt ihrer Gene, ▶

7) Johann Wolfgang v. Goethe: *Vorarbeiten zu einer Physiologie der Pflanzen*. In: Goethes Naturwissenschaftliche Schriften, hrsg. von Rudolf Steiner.

8) Rudolf Steiner: *Über den Gewinn unserer Anschauungen von Goethes naturwissenschaftlichen Arbeiten durch die Publikation des Goethe-Archivs*. (1891) In: *Methodische Grundlagen der Anthroposophie*. Dornach 1989, GA 30

9) Johannes Wirz: *Nicht Baukasten, sondern Netzwerk – die Idee des Organismus in Genetik und Epigenetik*. *Elemente der Naturwissenschaft* 88 (2008), S. 5-21. Verlag am Goetheanum.

sondern eher als Lektoren ihres genetischen Textes zu verstehen. Um das Verhältnis von innerer und äußerer Natur näher zu beleuchten, kann man sich folgendes vergegenwärtigen: die Umwelt wirkt auf den lebendigen Organismus über Mikrokosmos, Mesokosmos und Makrokosmos. Die eigene DNA ist dem Organismus im o.g. Sinne im Mikrokosmos nicht nur eine notwendige, sondern auch eine einschränkende Bedingung. Beispielsweise kann die Pflanze ihre innere Natur nur soweit verwirklichen, wie ihr genetisches Material es zulässt – oder eben, wie es z.B. Licht und Wärme ihrer Umgebung zulassen. Jeder lebendige Organismus verändert aber auch seine Umgebung im Mesokosmos. Hier lebt er in ständiger Koevolution mit anderen Lebewesen. In diesem Sinne gehören auch sie zu seinem Körper. Das Leben als Ganzes wird getragen und rhythmisch impulsiert zwischen Himmel und Erde über den Makrokosmos.

Mit der neu aufkommenden Epigenetik ist die einst von Lamarck¹⁰ postulierte **Vererbung erworbener Eigenschaften** wieder Thema im wissenschaftlichen Diskurs. Paul Kammerer (1880 - 1926) untersuchte die Idee der Weitergabe erworbener Eigenschaften zum ersten Mal experimentell. Der österreichische Biologe hatte gezeigt, dass Feuersalamander ihr Fleckenmuster dem Untergrund, auf dem sie leben, anpassen können. Nach einigen Generationen vererbten sie das neue Muster an ihre Nachkommen auch in einer neutralen Umgebung weiter. Dieses Resultat stützte Kammerers These, dass

Organismen die Fähigkeit haben, Merkmale in Anpassung an ihr jeweiliges Lebensmilieu auszubilden und an die Nachkommen weiterzugeben. Darin kam eine Plastizität zum Ausdruck, die durch die Umgebungsbedingungen zur Erscheinung kommen kann und die – auf damals unbekanntem Wege – in den Keimzellen genetisch fixiert wird.¹¹

Die Epigenetik steht im Einklang mit einer Wissenschaft, die auch von Goethe verfolgt wurde. Er ließ in seinen botanischen und zoologischen Studien keinen Zweifel offen, dass Lebewesen sich im Spannungsfeld ihrer konstituierenden inneren Natur und der modifizierenden äußeren Umgebungsbedingungen entwickeln. Dieses von ihm als „Doppeltes Gesetz“ bezeichnete Konzept ist der Kern seiner Metamorphosenlehre. Die **konstituierende innere Natur** wurde von Goethe auch als **Typus** bezeichnet. Der Typus ist jene Idee, die allen tatsächlichen Erscheinungen im Organischen zugrunde liegt – die **Urpflanze**, die allen tatsächlichen Pflanzen als gemeinsame Idee zugrunde liegt. In diesem Sinne kann man auch von einem Typus der Rosengewächse oder anderer Pflanzenfamilien sprechen. Der Typus war für Goethe nicht nur eine hypothetische Idee, sondern entsprach einer objektiven Realität, die sich in der Bildung der Lebewesen manifestierte.

10) Jean-Baptiste Pierre Antoine de Monet, Chevalier de Lamarck, 1744–1829, französischer Botaniker, Zoologe, Entwicklungsbiologe

11) Paul Kammerer: *Breeding Experiments on the Inheritance of Acquired Characters*. Nature 112, 237-238 (1923)

Die als **Goetheanismus** bezeichnete Wissenschaft beschäftigt sich mit der Erforschung der inneren Wirkprinzipien: durch exakte Beobachtungen am Phänotyp (an der konkreten Gestalt) und dem Vergleichen der morphologischen Unterschiede können Ideen entwickelt werden, mit denen wir uns dem Wesen des Lebendigen nähern – oder anders ausgedrückt: den Gesetzmäßigkeiten des Typus nähern. Diese Herangehensweise zeichnet sich dadurch aus, dass sie nicht voreilig Ursache und Wirkung bestimmt, sondern vernünftig, schrittweise, über das Studium der Erscheinungen, sich dem zu untersuchenden Wesen nähert. Im Anorganischen, Toten fragen wir zu Recht nach Ursache und Wirkung. Wenden wir uns dem Lebendigen zu, so ist die Frage nach Wesen und Erscheinung die sinnvollere. Jene Gesetzmäßigkeiten des Lebendigen sind bildhaft beschreibbar, in mathematische Formeln lassen sie sich nicht zwingen. Über vergleichendes Beobachten sind sie der menschlichen Vernunft zugänglich. Dem analytischen Verstand aber sind hier Grenzen gesetzt, da die Begriffe selbst je nach Kontext eine neue Bedeutung erlangen. In der Anthroposophie spricht man daher davon, dass die Begriffe selbst lebendig werden müssen, so man sich erkennend einem lebendigen Wesen nähern möchte.

Zum Abschluss und zur Veranschaulichung des zuletzt Erwähnten hier ein Beispiel, wie über einen Vergleich morphologischer Besonderheiten

innerhalb der buchenartigen Gewächse Wesenhaftes erfasst werden kann:

„... Innerhalb der buchenartigen Gewächse bilden Birke und Eiche den größten Gegensatz. Wolfgang Schad¹² prägte den Begriff der Eigenraumbildung (am stärksten bei der Eiche) und Umkreisoffenheit (Birke) für die Prinzipien der Gestaltbildung dieser Bäume. Die anderen dazugehörigen Arten (Buche und Esskastanie einerseits, Hasel, Hainbuche und Erle andererseits) lassen sich im Sinne einer Metamorphosenreihe zwischen diesen Polen ordnen. Auf der Seite der Eichenverwandten ist die Nährhaftigkeit allgemein zu finden, bei der Familie der Birkengewächse nimmt die Bildung nahrhafter Samen in der Reihe Birke – Hainbuche – Hasel zu, entsprechend der zunehmenden Eigenraumbildung bzw. Eichenartigkeit. Gleichzeitig nimmt die Reproduktionskraft in der Samenbildung ab.“¹³

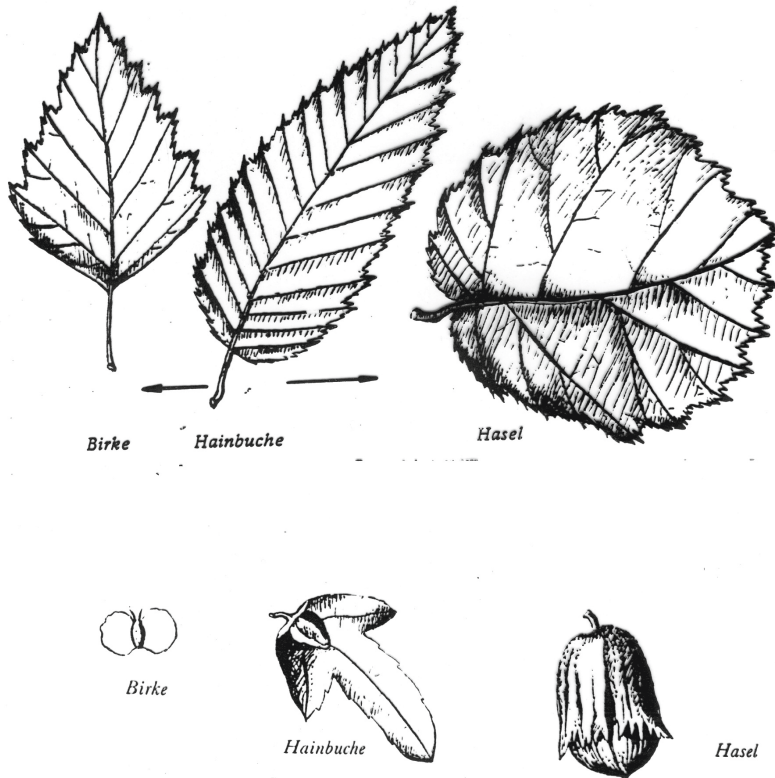
Der Typus der buchenartigen Gewächse lässt sich mit der Darstellung solcher Gesetzmäßigkeiten näher beschreiben. Das Prinzip der Kompensation wird durch diese Betrachtung erlebbar: tritt eine Eigenschaft hervor, so vermindert sich die polar entgegengesetzte Eigenschaft. Das Lebendige reagiert als Ganzes. ▶

12) Wolfgang Schad: *Zur Biologie der mitteleuropäischen buchenverwandten Bäume (Fagales)*. Elemente der Naturwissenschaft Nr. 7, 1967. Verlag am Goetheanum.

13) Bertold Heyden: *Mitteilungen aus der Arbeit* Nr. 1, S. 20, (1989).

Rückblick und Ausblick

Nach dieser Lektüre mag sich der Leser nun wundern, wie es denn möglich sei, mit dem klassischen Genbegriff in den Disziplinen der Gendiagnose und der Genmanipulation zu arbeiten, wenn doch der Begriff vom Gen „am zerbröseln“ ist?



Dies mag zum einen daran liegen, dass der Begriff als Arbeitshypothese da gut funktioniert, wo es um einfache funktionale Produkte, wie die Herstellung von Enzymen aus Mikroorganismen geht. Zum anderen muss bei der Gendiagnose kein direkter funktionaler Zusammenhang zwischen einer DNA-Sequenz und einer Eigenschaft vorhanden sein: es wird ja hier lediglich die Wahrscheinlichkeit zwischen dem Vorhandensein einer DNA-Sequenz und dem Auftreten einer Eigenschaft errechnet. Hinreichend erklärbar wird diese Eigenschaft dadurch nicht, da ja vielfältige Einflüsse die Genexpression beeinflussen. Dass eine solche DNA-Sequenz eine wichtige Teilinformation zur Expression einer Eigenschaft enthält, kann aber dennoch als wahrscheinlich angesehen werden.

Metamorphose innerhalb der Familie der Birkengewächse:

Der qualitative Charakter der Baumgestalt wird in allen Einzelheiten sichtbar. Wenn sich die Blattform verändert, muss sich das auch widerspiegeln in der Fruchtbildung.

Mit der Epigenetik gerät die übergeordnete Regulation des Organismus, die bis in die Erbsubstanz hineinwirkt, in den Blickwinkel der Forschung. Umweltbedingungen können so, über den sich selbst regulierenden Organismus, bis in die Erbsubstanz ihre Spuren hinterlassen. Solange aber kein grundlegender Unterschied zwischen toter Materie und einem lebendigen Organismus erkannt wird, bleibt es bei mechanistischen Vorstellungen, die – gemäß ihrer Natur – stets etwas Zwingendes, Unfreies haben.

Die goetheanistische Forschung hingegen hilft uns, das Leben als eine eigene Realität mit eigenen Gesetzmäßigkeiten zu erfassen, Gesetzmäßigkeiten, die den physikalisch-chemischen übergeordnet sind. Leben sucht sich aus den Zwängen der toten Materie zu befreien. Wir sind eingeladen, die Erscheinungen des Lebendigen zu verstehen und die Möglichkeiten seiner freien Entfaltung zu respektieren. Eine Beeinflussung des Lebendigen über die genetische Manipulation seiner materiellen Grundlage ist die gegenteilige Vorgehensweise.

Udo Hennenkämper

Weiterführende Literatur:

PETER HEUSSER (HRSG.): *Goethes Beitrag zur Erneuerung der Naturwissenschaften – das Buch zur gleichnamigen Ringvorlesung an der Universität Bern*. Bern/Stuttgart/Wien 2000

STAFFAN MÜLLER-WILLE UND HANS-JÖRG RHEINBERGER: *Das Gen im Zeitalter der Postgenomik – Eine wissenschaftshistorische Bestandsaufnahme*. edition unseld 25, Suhrkamp Verlag (2009)

WOLFGANG SCHAD (HRSG.): *Goetheanistische Naturwissenschaft* (4 Bände), Stuttgart 1982-1985; Bd.5 (hrsg. von A. Suchantke 1998)

RUDOLF STEINER: *Grundlinien einer Erkenntnistheorie der Goetheschen Weltanschauung*. GA Nr. 2, 1886

RUTH RICHTER (2017): *Goethes doppeltes Gesetz. Pflanzenmorphologie in Fläche, Raum und Zeit*. In: Böhme, Gernot (Hg.) *Über Goethes Naturwissenschaftl. Schriften der Darmstädter Goethe-Gesellschaft Heft 7*. Aisthesis Verlag.

JOHANNES WIRZ: *Nicht Baukasten, sondern Netzwerk – die Idee des Organismus in Genetik und Epigenetik*. Elemente der Naturwissenschaft 88 (2008), S. 5-21. Verlag am Goetheanum, Dornach

JOHANNES WIRZ: *Leben im Werden Teil 1: Die Evolutionstheorie aus der Perspektive Charles Darwins, des jungen Rudolf Steiners und der aktuellen Biologie*. die DREI 1 (2009), S. 11-22.

JOHANNES WIRZ: *Leben im Werden Teil 2: Am Anfang war der Mensch*. die DREI 2 (2009), S. 49-56.