



Internet-Akademie

Serie

„Streifzüge durch die Naturwissenschaften“

Autor: Hans Stobinsky

Folge 28

Genetik Teil 1

Genetik

1. Schon Goethe...

Vom Vater hab ich die Statur,
Des Lebens ernstes Führen,
Vom Mütterchen die Frohnatur
Und Lust zu fabulieren.
Urahn herr war der Schönsten hold,
Das spukt so hin und wieder;
Urahn frau liebte Schmuck und Gold,
Das zuckt wohl durch die Glieder.
Sind nun die Elemente nicht
Aus dem Komplex zu trennen,
Was ist denn an dem ganzen Wicht
Original zu nennen?

Johann Wolfgang von Goethe (1749 - 1832)

Was Goethe in seinem Gedicht beschreibt, ist eine offensichtliche Tatsache: die Nachkommen sind ihren Eltern immer sehr ähnlich. Aus Menschen entstehen immer Menschen, aus Erbsen immer wieder Erbsen. Anders ausgedrückt: Eltern und ihre Nachkommen besitzen viele übereinstimmende Merkmale. Wie einen materiellen Besitz, ein Haus oder Vermögen, „vererben“ die Eltern diese Merkmale wie „*die Statur*“ oder „*die Frohnatur*“ an ihre Kinder, daher spricht man von „Erbmerkmalen“. Mit den Keimzellen können die Merkmale nicht als solche weitergegeben werden (eine menschliche Eizelle hat eben keine *Statur* oder *Frohnatur*). Die einzige sinnvolle Möglichkeit einer Weitergabe besteht in Informationen über die Merkmale. Die Keimzellen enthalten also nicht Erbmerkmale, sondern Erbinformationen.

An dieser Stelle möchte ich einen kleinen Ausflug in die (Begriffs-)Welt der Informationstheorie machen.

2. Ausflug in die (Begriffs-)Welt der Informationstheorie

In unserer Zeit ist der Begriff „Information“ allgegenwärtig. Es ist deshalb lohnend, einige grundlegende Vorstellungen kennen zu lernen. Sie sollen auch zum leichteren Verständnis der Genetik beitragen. Was ist eigentlich eine „Information“?

Es wird heute oft von „Informationsflut“ gesprochen. Dieser Gebrauch des Begriffes „Information“ ist streng genommen nicht ganz korrekt. Eine „Flut“ stellt ja etwas materielles dar. Die Information als solche ist jedoch eine nicht materielle Größe. Materiell ist der „Informationsträger“. Diese Unterscheidung mag Ihnen vielleicht als Haarspalterei vorkommen. Zum Verständnis von Vorgängen, in denen Informationen übertragen werden, ist sie aber sehr hilfreich, was wir etwas näher beleuchten wollen.

Wenn Sie diesen Text lesen, dann erkennen Sie darin (hoffentlich!) Informationen von mir, die auf ganz unterschiedlichen Wegen zu Ihnen gelangt sein können. Wenn Sie am Computer sitzen, werden von dem Gerät schwarze Bildpunkte auf dem Bildschirm erzeugt, die die Form von Buchstaben haben. Haben Sie sich den Text vorher ausgedrückt, sehen Sie entsprechend verteilte Druckerschwärze auf dem Papier. Sie könnten sich meinen Artikel aber auch vorlesen lassen, dann kommen Schallwellen in Ihr Ohr. Die Information ist aber in allen Fällen die gleiche, sie wird nur von verschiedenen Informationsträgern zu Ihnen gebracht.

Warum ist aber die Druckerschwärze auf dem Papier Ihres Ausdruckes ein Informationsträger? Die gleiche Menge Druckerschwärze in einem Glas bringt keine Information, entscheidend ist ihre Verteilung auf dem Papier in Form von Buchstaben. Die Informatiker bezeichnen diese „Formgebung“ eines (zukünftigen) Informationsträgers als „Modulation“. Nun gibt es aber beliebig viele Möglichkeiten, Druckerschwärze auf Papier zu verteilen. Entscheidend ist, dass Sie darin Buchstaben erkennen. Ihre ganz besondere Form kennen Sie ebenso wie ich und alle Menschen, die Lesen gelernt haben. Sie sind „Signale“ oder „Symbole“ für uns.

Jedoch wird nur jemand, der die deutsche Sprache beherrscht, die Buchstabenfolgen auf Ihrem Ausdruck richtig lesen (also auch korrekt aussprechen) und den Inhalt verstehen können. Hier ist noch ein wichtiger Schritt versteckt (über den wir uns normalerweise keine Gedanken machen): den Signalen (Buchstaben oder Buchstabenfolgen) sind Bedeutungen zugeordnet. Durch diese Zuordnung werden aus Signalen „Zeichen“. Nur wenn der Absender (in unserem Falle ich) und der Empfänger (Sie, der geneigte Leser) diese Zuordnung kennen, kommt eine Informationsübermittlung zustande. Man sagt, Sender und Empfänger verfügen über den gleichen „Zeichenvorrat“. Wie schnell hier Probleme entstehen können, merken Sie oft im Ausland: Wenn Sie eine fremdsprachliche Buchstabenfolge falsch aussprechen, werden Sie nicht verstanden: Sie haben den gleichen Signalen andere (Laut-)Bedeutungen zugeordnet.

Hier stoßen wir auf einen Begriff, der erst durch die moderne Genetik in seiner allgemeinen Bedeutung bekannt wurde: der Code. Früher wurde dieses Wort meist nur in Zusammenhang mit Geheimsprachen verwendet. Allgemein versteht man darunter aber die Zuordnung von Bedeutungen zu Signalen (auch als Symbole bezeichnet). Durch die „Codierung“ werden aus zunächst bedeutungslosen Signalen informationshaltige Zeichen.

Für eine Informationsübertragung ist es notwendig, dass

- aus einem Informationsträger durch Modulation Signale geformt werden,
- diesen Signalen über einen Code Bedeutungen zugeordnet werden, d.h. die Signale erhalten den Wert von „Zeichen“,
- sowohl der (Ab-)„Sender“ als auch der „Empfänger“ über den gleichen Zeichenvorrat verfügen.

Verfolgen wir diesen Weg an einem alltäglichen Beispiel: Sie treffen einen Bekannten, sagen „Guten Tag“ und erhalten eine freundliche Antwort. Dabei haben Sie den Luftstrom aus Ihrer Lunge (ein zunächst völlig bedeutungslos, „neutral“) durch Ihre Stimmbänder und Ihre Mund- und Zungenmuskulatur in eine Folge von „Luftsignalen“ verwandelt (moduliert). Sie verwenden diese Lautfolge als Informationsträger für einen Gruß: „Zeichen“ mit der Bedeutung, Ihrem Bekannten einen schönen Tag zu wünschen. Glücklicherweise verfügt Ihr Bekannter über den gleichen „Zeichenvorrat“ wie Sie, er erkennt in Ihrem Gruß nicht nur eine Lautfolge, sondern auch Ihren freundlichen Wunsch, was Sie aus seiner Reaktion mit einer ebenso freundlichen Antwort erkennen.

Dieses Beispiel können wir aber noch (etwas boshaft) erweitern: Sie hätten Ihrem Bekannten auch einen Gruß über Ihr Handy schicken können (haben Sie nicht manchmal auch den Eindruck, manche Leute haben das Sprechen verlernt und können nur noch tippen?). Dabei würden Sie keine Luftströme, sondern elektromagnetische Schwingungen als Informationsträger verwenden. Die Information ist aber die gleiche. Wenn Sie die Spracheingabefunktion Ihres Smartphones einschalten, können Sie die Laute in diese Schwingungen umcodieren lassen.

Informationen können also den Informationsträger wechseln wie ein Reiter sein Pferd. Die gedankliche Trennung von Information und Informationsträger ist deshalb zum Verständnis von Prozessen, in denen Informationen übertragen werden, durchaus nützlich.

Da meist die Anzahl der Bedeutungen, die man übermitteln will, groß ist (z.B. die Wörter der deutschen Sprache) wäre es unmöglich, für jede Bedeutung ein eigenes Zeichen zu entwickeln. Stattdessen ordnet man nicht einzelnen Signalen (Buchstaben), sondern Signalkombinationen (Wörter) Bedeutungen zu. Auch unsere gesprochene Sprache kennt nur ein begrenztes Repertoire aus Lauten (das je nach Sprache m.o.w. unterschiedlich sein kann), eine Bedeutung hat meist nur die Lautfolge eines Wortes. Ebenso werden in der Morseschrift Kombinationen aus Punkt- und Strich-Signalen verwendet.

Zurück zu der oben erwähnten „Informationsflut“:

Bei genauerer Betrachtung entpuppt sich diese „Flut“ häufig nur als ein kleines Rinnsal. In Diskussionen mit Politikern wird uns das in vielen Fällen bewusst: Es wurde zwar viel gesprochen, aber eigentlich nur sehr wenig wirklich ausgesagt, in den Reden steckte nur wenig „echte“ Information.

Diesen Unterschied kann man allgemein mit zwei weiteren Begriffen aus der Informationslehre erfassen: der „Redundanz“ (Weitschweifigkeit) und der „Nachrichtenmenge“. Die „Flut“ der Diskussionsbeiträge ist die „Nachrichtenmenge“ (also alle „Zeichen“, die uns z.B. das Fernsehgerät übermittelt). Der (leider meist geringe) Teil davon, den wir als „echte“ Nachricht wahrnehmen, ist die „Informationsmenge“, der (eigentlich überflüssige) Rest ist die Redundanz.

Im Beispiel der Talkshow erscheint die Redundanz in einem schlechten Licht. Sie kann aber auch wertvoll sein: Unsere Sprache ist im Allgemeinen sehr redundant (wenn wir im „Telegrammstil“ sprechen oder schreiben, verringern wir den Redundanzanteil). Der Vorteil einer redundanten Sprache liegt in ihrer höheren Übertragungssicherheit. Auch wenn wir in einem Gespräch nicht jedes Wort genau verstehen, können wir uns die Bedeutung „zusammenreimen“. Es wurde einmal die Idee entwickelt, für den Postversand an Stelle von herkömmlichen Adressen eine Zahlenfolge zu verwenden (also nicht nur Zahlenfolgen wie die Postleitzahl für die Zielorte, sondern entsprechend auch Zahlenfolgen für Straße und Person. Der Gedanke wurde schnell verworfen: eine falsche (oder unleserliche) Ziffer würde sofort eine völlig falsche Postverteilung nach sich ziehen, die Zahl der Falschzustellungen würde gewaltig zunehmen. Wenn Sie im Internet etwas bestellen, wird meist die Wiederholung der E-Mailadresse gefordert. Auch diese Redundanz dient der Sicherheit: ein Tippfehler bei der Eingabe würde die Adresse sofort verfälschen (E-Mailserver können sich nichts „zusammenreimen“!)

Eine Nachrichtenmenge enthält neben der Information meist noch einen Anteil an Redundanz.

Redundanz kann die Sicherheit der Informationsübertragung erhöhen.

Nach diesem Ausflug in die Gedankenwelt der Informationslehre wollen wir ihre Begriffe zum Verständnis der Vererbung anwenden.

3. Wie (be)schreiben Lebewesen ihr genetisches Erbe?

Wie wir festgestellt haben, können Keimzellen keine Erbeigenschaften (z.B. Körperstrukturen) zur Weitergabe an die Nachkommen enthalten, sondern nur Informationen über erbliche Merkmale. Wir müssen uns also auf die Suche nach einem Informationsträger, seinen Signalen, dem Code und den übermittelten Bedeutungen machen.

Der Informationsträger hinsichtlich eines bestimmten Einzelmerkmals wird als Erbanlage oder Gen* bezeichnet. Anschaulich enthält ein Gen das „Rezept“ zur Ausprägung eines Merkmales (z.B. die „Bauanleitung“ für ein Organ oder die Synthesevorschrift zur Herstellung eines Blütenfarbstoffes). Im Sinne der Informationstheorie, die eine Information als die „Beseitigung einer Unsicherheit“ betrachtet (anschaulich die Antwort auf eine Frage), kann man auch sagen:

Eine Erbanlage enthält die Information für die Ausprägung einer (erblichen) Eigenschaft.

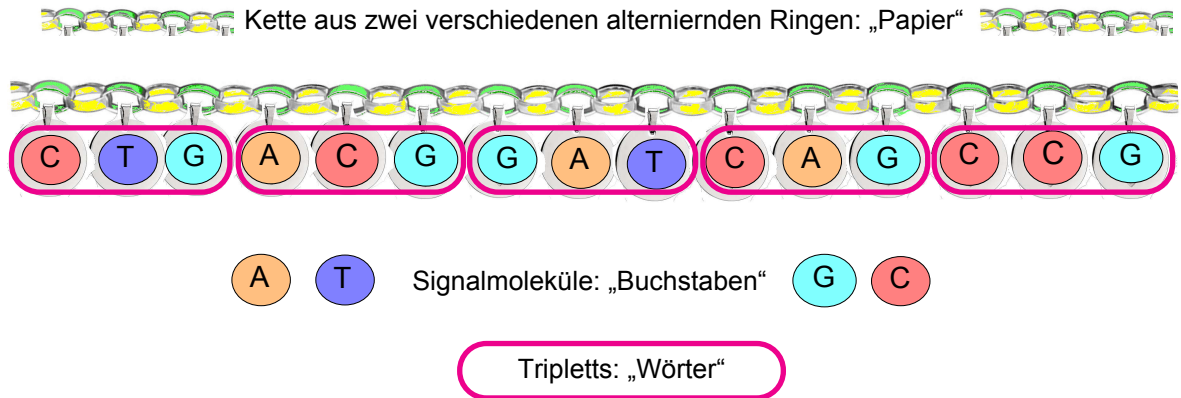
Anders ausgedrückt: Eine Erbanlage gibt die Antwort auf die Frage wie eine Eigenschaft ausgeprägt werden soll (z.B. „*Welche Haarfarbe soll der Nachkomme haben?*“ Antwort: „*Schwarz*“.)

Zur Unterscheidung von Merkmal und Information über ein Merkmal werden auch die Begriffe Genotyp* (Erbbild, Information) und Phänotyp* (Erscheinungsbild, sichtbare Merkmale) verwendet. Die Gesamtheit aller Erbanlagen, die ein Lebewesen besitzt, wird Genom* genannt.

Die Abkürzung für den Informationsträger „DNA*“ kennen Sie sicher. Was verbirgt sich dahinter?

DNA ist das Kürzel für **D**esoxyribo**n**ukleinsäure (früher war in deutschen Texten „DNS“ üblich, das „S“ für „Säure“ wird heute durch das „A“ für das englische „acid“ ersetzt). Eine chemische Substanz als Informationsträger erscheint zunächst für uns gewöhnungsbedürftig, aus unserer Alltagswelt ungewohnt. Die allgemeinen Betrachtungen im vorherigen Kapitel können uns aber helfen, diese Form der Nachrichtenübertragung zu verstehen. Wie wir gesehen haben, ist die Formung (Modulation) zu Signalen ein wichtiger Schritt. Leicht zu erkennen ist diese Modulation beim Schreiben: wir formen den Tintenverlauf zu Buchstaben oder man könnte auch sagen, wir ordnen die Farbpartikel der Tinte in den Formen von Buchstaben an. Wie Farbteilchen kann man auch Atome anordnen: In einem Molekül werden die Atome in einer bestimmten Anordnung aneinander gefügt, der atomare Informationsträger wird zu Molekülen moduliert. So kann ein Molekül mit seinen Atomen zu einem „Miniaturbuchstaben“ werden wie die Tintenteilchen eines geschriebenen Buchstabens. Das Alphabet der DNA ist vergleichsweise einfach: es enthält nur vier molekulare Buchstaben: Thymin, Adenin, Cytosin und Guanin (meist abgekürzt T, A, C und G). Ebenso schlicht „gestrickt“ sind die Wörter: sie bestehen immer aus drei Buchstaben (daher auch als Triplet* bezeichnet). Auch eine Art „Papier“ gibt es für die genetische Schrift: Die Buchstabenmoleküle hängen an einem langen Molekül, das wie eine Kette aus zwei verschiedenen Ringen, die sich stetig abwechseln, aufgebaut ist. An einem der beiden Ringe hängt jeweils einer der Buchstaben.

Die genetische „Schrift“



Der genetische Informationsträger („bedrucktes Papier“) ist die DNA.
Die Signale der DNA („Buchstaben“) sind die Moleküle A, T, G, C.
Die Zeichen der genetischen „Schrift“ sind Buchstabentriplets.

In der nächsten Folge wollen wir der Frsage nachgehen, welche Bedeutungen die „Wörter“ haben.

Fachbegriff-Erklärungen

DNA (Desoxyribonukleinsäure)

Nukleinsäure mit Desoxyribose als Zucker und Thymin, Adenin, Cytosin und Guanin als Basen; liegt als Doppelhelix-Molekül vor; Träger der Erbinformation.

≠ RNA

Gen

a. Information für die Ausprägung eines erblichen Merkmals (Erbanlage).

b. DNA-Abschnitt, der eine funktionelle Einheit bildet, enthält meist die Information zum Aufbau eines Polypeptides.

gr. *genea* γενεά Geburt, Entstehung; vgl. gr. γένεσις Génesis, das erste Buch des Alten Testaments, die Schöpfungsgeschichte.

Genom

Gesamtheit aller Gene (bzw. aller Chromosomen) eines Lebewesens.

Genotyp (Erbbild)

Zusammenstellung der Allele* (meist nur bezüglich bestimmter Erbeigenschaften) eines Lebewesens.

≠ Phänotyp

Phänotyp (Erscheinungsbild)

Sichtbare Ausprägung einer oder aller Erbeigenschaft(en), bedingt durch Genotyp und Umwelt.

gr. *phainein* φαίνεῖν erscheinen

≠ Genotyp

Tripletcode

Im genetischen Code bilden je drei aufeinander folgende Basen eine Informationseinheit (Codon).

lat. *triplex* dreifach

Weitere Fachbegriffserklärungen aus der Biologie und den angrenzenden Wissenschaftsgebieten Physik und Chemie finden Sie auch in meiner Homepage www.die-reise-maus.de in der Rubrik „Lexika“ in den Dateien „Biologie_LX.pdf“ bzw. „Chemie_LX.pdf“.