

# Forschung

## Weitergabe erworbener Eigenschaften bei Greiskraut?

Ein Versuch zur Epigenetik

von Renatus Derbidge

Renatus Derbidge ist Mitarbeiter am Forschungsinstitut am Goetheanum in Dornach, Schweiz, [www.science.goetheanum.org](http://www.science.goetheanum.org)

In einem Projekt mit *Senecio vulgaris* (Gemeines Greiskraut) wird am Forschungsinstitut am Goetheanum untersucht, ob Pflanzen fähig sind, Reaktionen auf Umwelten zu verinnerlichen und die erworbenen Fähigkeiten an die folgende Generation zu vererben.

In seiner neusten Publikation zitiert der Neurobiologe und Wissenschaftsjournalist Peter SPORK (2009) den deutschen Pionier der Genetik und Stammzellforschung Rudolf Jeanisch: „Das Jahrzehnt der Genetik ist schon lange vorbei. Wir befinden uns jetzt mitten im Jahrzehnt der Epigenetik. In diesem Feld passieren derzeit die wichtigsten und aufregendsten Dinge der Molekularbiologie.“ SPORK berichtet von dem großen Aufschwung einer lange Zeit wenig beachteten Disziplin innerhalb der Genetik, der Epigenetik. Also der „Darauf“- „Über“- oder „Um“-Genetik. Im Buchtitel wird sie als „zweiter Code“ bezeichnet. Sie beschreibt all

diejenigen Phänomene der Vererbung und Genregulation, die sich nicht alleine durch den genetischen Code, der DNA erklären lassen. SPORK verwendet einen Vergleich: Die Gene können als Hardware eines Computer betrachtet werden. Sie bestimmen die Grundbeschaffenheit und setzen Grenzen. Innerhalb dieser kann aber die Software, also das Epigenom, mit großer Variabilität die Verwendung bzw. Nichtverwendung der Gene steuern und beeinflussen. Je besser die Software, desto optimaler wird die Hardware genutzt.

Hier liegt das Revolutionäre an den neuen Forschungsergebnissen der Epigenetik. Umwelt verändert nicht nur, wie bisher postuliert, beispielsweise durch schädliche UV-Strahlung die DNA (Mutationen), sondern nimmt in viel größerem Maße Einfluss auf das Genom, beziehungsweise das Epigenom und somit auf die Merkmalsausprägung des Gesamtorganismus (siehe WIRZ 2008). Dadurch bekommen diese Forschungsergebnisse eine brisante gesellschaftliche Relevanz. Jedes Umfeld, Erziehung, Lebensstil, Ernährung beeinflussen das Erbgut und mit ihm das Leben der Nachkommen. Denn das Epigenom wird mitvererbt. Rauche ich, so verändere ich damit die Mikrostruktur, die sich auf meiner

DNA befindet, jene Struktur, die mit dem Genom vererbt wird: Ich schädige also nicht nur mich, sondern auch meine Nachkommen und beeinträchtige sogar die Lebenserwartung meiner Enkel. Keine Versicherungsanstalt wird diese Forschungsergebnisse lange ignorieren.

Epigenetik erklärt, weshalb beispielsweise eineiige Zwillinge trotz identischem Erbgut immer verschiedener werden, warum die Disposition für Krebs individuell so unterschiedlich ist und weshalb Mensch und Schimpanse trotz nahezu identischem Genom doch so unterschiedlich sind.

Seitdem CRICK 1958 das zentrale Dogma der Genetik formulierte, galt für lange Zeit das „Ein Gen ein Phän“-Dogma (HOLDREGE 1999, S. 72). Es besagt, dass eine Art Einbahnstraße vom Gen zum Protein und letztendlich bis zum entsprechenden Merkmal bestehe. Diese Sicht der „Alleinherrschaft“ der Gene bestimmt die Blickrichtung vieler Genetiker noch heute. Aus ihr leitet sich das Weltbild ab „Die Gene bestimmen den Phänotyp, die Erscheinung“, mit Konsequenzen wie „schlechte“ Gene sind unveränderlich und setzen unüberwindbare Grenzen. Ein dummer Junge bleibt eben dumm – die Gene sind schuld. Diese einseitige Sicht be-

### Kurz & knapp:

- Epigenetik revolutioniert – wie der Autor ausführt – das Bild des Vererbungsgeschehens.
- Ob erworbene Eigenschaften genetisch weitergegeben werden, soll an einem Versuch mit Greiskraut untersucht werden.
- Dazu werden die Pflanzen Dunkel- bzw. Trockenstress ausgesetzt und 2010 in der 7. Generation auf Unterschiede geprüft.

ginnt heute aufzubrechen. Die „Software“ reagiert auf die Umwelt und kann vom Lebewesen aktiv verändert werden. Epigenetik liefert das biologische Fundament für die Aussage: „Ich bin meines eigenen Lebens Schmied – und das meiner Nachkommen dazu“.

Schon die Ernährung der schwangeren Frau beeinflusst die Eigenschaften des Embryos. An Mäusen wurde festgestellt, dass Weibchen, die mit Vitaminen und Nahrungsergänzungsmitteln angereichertes Futter zu fressen bekamen, schlanke und gesunde Jungen mit braunem Fell gebären. Ohne diese Zusätze im Futter wurden die jungen Mäuse fett, krankheitsanfällig und bekamen ein gelbliches Fell (JIRTLE 2007). Ein anderer bekannter Fall von epigenetischer Vererbung sind die sogenannten holländischen „Hungerkinder“, deren Mütter im Kriegswinter 1944/45 schwanger waren. Die Mangelernährung der Mutter und in der Folge auch des Embryos, vor allem in der frühen Embryonalzeit, zeigt sich noch 60 Jahre später sowohl im Phänotyp als auch im Genotyp. Insbesondere weist das „Insulin-like-Growth Factor 2“ Gen (IGF2), welches einen wichtigen Wachstumsfaktor codiert, bei den Betroffenen eine geringere Anzahl von chemischen Veränderungen auf als bei ihren Geschwistern, die vor oder nach ihnen geboren wurden (www.n-tv.de). Sogenannte Methylgruppen werden an die DNA eingebaut, um seine Aktivität zu regulieren. Wenig Methylgruppen bedeuten hohe, viele dieser Anhängsel eine verminderte

Aktivität des Gens – bis hin zur völligen Ausschaltung desselben.

Hunderte solcher Einflüsse der Umwelt auf die Genaktivität sind bereits bekannt und gut untersucht. Mit diesem neuen biologischen Wissen rückt die Rolle der Zelle und des Gesamtorganismus bei der Genregulierung, oder allgemeiner formuliert, bei den Entwicklungs- und Stoffwechselfvorgängen, wieder ins Blickfeld.

### Epigenetik und Züchtung

Für die Tier- und Pflanzenzüchtung ist Epigenetik ein Kernthema. Jeder Bauer kennt diese Phänomene. „Hofrasen“ und „Hofsorten“ sind Ergebnis dieser heute bekannten Vererbungsart. Der Hof (Umwelt) schlägt sich im Lebewesen nieder, wird verinnerlicht und zeigt sich immer stärker in den Nachkommen. Im Zusammenhang mit der Fütterung spricht Rudolf STEINER (1924) von Vererbung „kosmischer Kräfte“ – auch dies sind Verinnerlichungen von Umwelten, die epigenetisch fixiert und vererbt werden. Jeder Hof braucht als eigenständiger Organismus oder „Individualität“ eigene Hofrasen – bei den Tieren wie auch bei den Pflanzen. Explizit äußerte sich Steiner zur Vererbung im Aufsatz „Haeckel und seine Gegner“ (STEINER 1900), wo er als wesentliches Element der Vererbung die „Weitergabe von erworbenen Eigenschaften“ betont, also die Fähigkeit, Reaktionen auf Umwelten zu verinnerlichen und an die folgende Genera-



tion weiterzuerben. Arbeiten wie die von Tanja BAUMGARTNER (2007), die Gestaltveränderungen von Pflanzen durch eurythmische Lautgebärden beschreibt, oder von Ute KIRCHGÄSSER (2006), die mit Tonintervallen in Züchtungsversuchen Pflanzen verändert, sind ohne Epigenetik nicht zu verstehen.

### Senecio vulgaris – unsere Versuchspflanze

Will man, wie im Senecio-Projekt des Forschungsinstituts am Goetheanum unter der Leitung von Johannes Wirz momentan versucht wird, epigenetische Vererbung nachweisen, verwendet

Abb. 1: Licht- (L) und Schattenpflanzen (S), zur selben Zeit gesät und pikiert

Abb. 4: Trocken- (T) und Feuchtpflanzen (F), zur selben Zeit gesät und pikiert

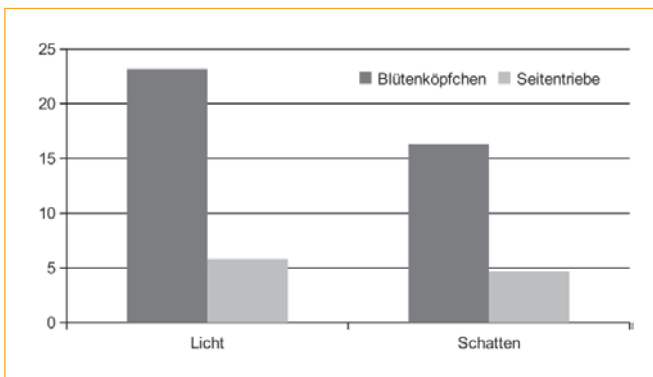
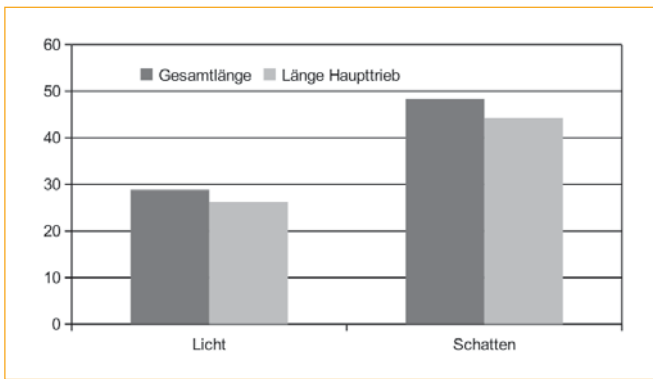


Abb. 2: Vergleich der Längenverhältnisse bei Licht- und Schattenpflanzen

Abb. 3: Vergleich der Blütenzahl und Seitentriebe bei Licht- und Schattenpflanzen

man am besten Organismen mit einer Reihe von besonderen Eigenschaften: Kurze Generationszeit, gut erkennbare Merkmale, genetische Einheitlichkeit. *Senecio vulgaris* erfüllt diese Ansprüche weitgehend und wurde im Forschungsinstitut am Goetheanum intensiv untersucht (BOCKEMÜHL 1972, 1980, HOLDREGE 1986). Die Pflanze hat eine ausdrucksstarke Blattmetamorphose und eine variable Gestalt. Reaktionen auf Unterschiede in den Wachstumsbedingungen spiegeln sich in der Blattmetamorphose sehr fein, aber eindeutig wider. Darüber hinaus hat das Gemeine Greiskraut eine relativ kurze Entwicklungszeit von zwei bis drei Monaten von der Aussaat bis zur Samenreife, die selbst im Winter erreicht wird. In einem Jahr können daher gut drei bis vier Generationen nachgebaut werden.

Und schließlich vermehrt sich *Senecio vulgaris* streng selbstbestäubend oder gar ohne Bestäubung (*apomiktisch*). Jede Mutterpflanze bringt genetisch identische Tochterpflanzen hervor, welche Änderungen in Entwicklungsdynamik, Pflanzengestalt und Blattmetamorphose leicht beobachten lassen. Diese Eigenschaften machen wir uns zunutze, um die Verinnerlichung von Fähigkeiten im Umgang mit spezifischen Umwelten zu untersuchen.

### Versuchsaufbau

Die erste bzw. die F1-Generation: Von einer Mutterpflanze ausgehend, wachsen im Versuch Tochterpflanzen unter verschiedenen Bedingungen (Umwelten), welche Extremstandorte darstellen, unter denen die Pflanzen noch zur Samenreife gelangen. Die Umwelten sind stehendes Wasser und Trockenheit, und dazu beides verstärkt durch zusätzlichen Salzstress, ganztägige Sonnenexposition und vollkommenen Schatten. Zum Vergleich wird eine Kontrollgruppe ohne Stress einfluss geführt. Nach dem Blühen werden die Samen der Pflanzen geerntet.

Die F2- und weiteren Generationen: Die Nachkommen der Pflanzen von den sieben unterschiedlichen Standorten wachsen erneut unter den entsprechenden Umweltbedingungen. So wird eine Linie insgesamt über sechs Generationen in Folge einer bestimmten Umwelt ausgesetzt.

### Der Test im Neutralanbau

Der entscheidende Moment des Versuchs ist der Nachbau der siebten Generation aller Varianten, jetzt unter derselben Umgebungsbedingung. Hier wird sich zeigen, ob die Pflanzen eine Art „Erinnerung“ an die früheren Wachstumsbedingungen ihrer Vorfahren zeigen. Wir erwarten, dass die Linien, obwohl sie nun alle unter gleichen Bedingungen wachsen, in ihrer Gestalt die typische Morphologie der Mutterpflanze immer noch zeigen. Nach der klassischen Theorie ist keine „Erinnerung“ im Phänotyp zu erwarten, denn die DNA wird durch die Standorte (selbst nach sechs Generationen) nicht beeinflusst. Epigenetik würde einen veränderten Phänotyp erklären können.

Erweisen sich erste Tests, die in diesem Jahr nach der 3. Generation durchgeführt werden, als vielversprechend, wird der Versuch mit *Arabidopsis thaliana*, der Ackerschmalwand erweitert. Diese „Lieblingspflanze“ der Genetiker ist molekular bis ins Detail untersucht. Veränderungen auf Genomebene lassen sich dadurch relativ leicht feststellen. Können auch bei den *Arabidopsis*-Pflanzen phänotypische Merkmale dokumentiert werden, möchten wir in Kooperation mit einem Forschungsinstitut mit entsprechender Infrastruktur molekulare Untersuchungen durchführen. Bis auf Zell- und Genomebene könnten so „Gedächtnis“-Phänomene betrachtet werden.

## Quellen:

BASTIAAN, T. et. all (2008): Persistent epigenetic differences associated with prenatal exposure to famine in humans. Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America (PNAS), 4/2008, S. 17046-17138

BAUMGARTNER, Tanja (2007): Eurythmische Bildekraftfelder: ätherisch-energetische Wirkungen auf Lebewesen. Auftakt, Eurythmie Verband Schweiz und Berufsverband der Eurythmisten in Deutschland, Sonderdruck

BOCKEMÜHL, Jochen (1972): Der Jahreslauf als Ganzheit in der Natur. Elemente der Naturwissenschaft 16, S. 17-33

BOCKEMÜHL, Jochen (1980): Lebenszusammenhänge erkennen, erleben, gestalten. Naturwissenschaftliche Sektion am Goetheanum

HOLDREGE, Craig (1986): Schritte zur Bildung eines lebendigen Vererbungsbegriffes. Elemente der Naturwissenschaft, Nr. 45, S. 27-61

HOLDREGE, Craig (1999): Der vergessene Kontext. Entwurf einer ganzheitlichen Genetik. Verlag Freies Geistesleben

JIRTLE, R.L. und SKINNER, M.K. (2007): Environmental epigenomics and diseases susceptibility. Nature Reviews Genetics 8/2007, S. 253

KIRCHGÄSSER, Ute (2006): Musik für Gemüse. Info3, 1/2006

SPORK, Peter (2009): Der zweite Code. Epigenetik – oder Wie wir unser Erbgut steuern können. Rowohlt

STEINER, Rudolf (1924): Geisteswissenschaftliche Grundlagen zum Gedeihen der Landwirtschaft. Rudolf Steiner Verlag 1979, Seite 200.

STEINER, Rudolf (1900): Methodische Grundlagen der Anthroposophie. Gesammelte Aufsätze zur Philosophie, Naturwissenschaft, Ästhetik und Seelenkunde 1884-1901. Rudolf Steiner Verlag 1989, Seite 189 ff.

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

<http://www.n-tv.de/wissen/Ein-Lebenslang-im-Erbgut-article34073.html>, 17.09.09

## Ergebnisse der Gestaltbeobachtungen der Standortlinien

An zwei Beispielen sollen morphologische Unterschiede der Varianten verdeutlicht werden. Vergleicht man Licht-

und Schattenpflanzen, sind die extremen Unterschiede offensichtlich (siehe Foto, Abb. 1). Die gedrungeneren, kräftigen Lichtpflanzen sind klein, buschig und tragen viele Blüten. Hingegen die Schattenpflanzen wirken schlaff, mit dünnen, zerbrechlichen Blättern. Das Vegetative dominiert, Blüten sind nur wenige angesetzt. Die graphische Darstellung zeigt die Merkmalsunterschiede besonders deutlich (s. Abb. 2 und 3).

Der Unterschied zwischen den Pflanzen „Trocken“ (T) und „Feucht“ (F) ist auf den ersten Blick nicht so groß (siehe Foto, Abb. 4). Die Graphiken (Abb. 5 und 6) verdeutlichen, was erst auf dem zweiten Blick auffällt. Feuchtigkeit fördert das Vegetative und hemmt den Blühimpuls, wie die große Anzahl von langen, dünnen Seitentrieben zeigt. Trockenheit lässt die Seitentriebentwicklung zurücktreten und induziert frühes Blühen mit relativ mehr Blüten (in Abb. 4 sind bei den Trockenpflanzen (T) bereits die „Pustebumen“, die abgeblühten Blütenköpfe zu sehen, bei den Feucht-Pflanzen (F) sind die Blüten noch nicht einmal geöffnet).

Neben den gepressten Blattreihen der Varianten gibt es eine Reihe von Gestaltmerkmalen, die quantifiziert werden können. Abbildung 7 stellt einige dieser Merkmale dar. Alle sieben Linien unterscheiden sich in den untersuchten Merkmalen signifikant. Erste Ergebnisse sind im Spätsommer 2010 zu erwarten. ■

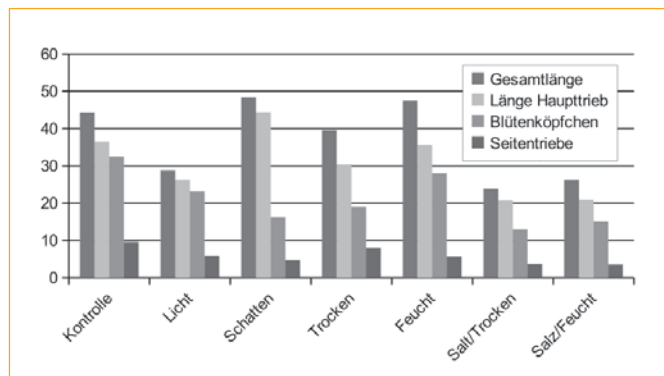
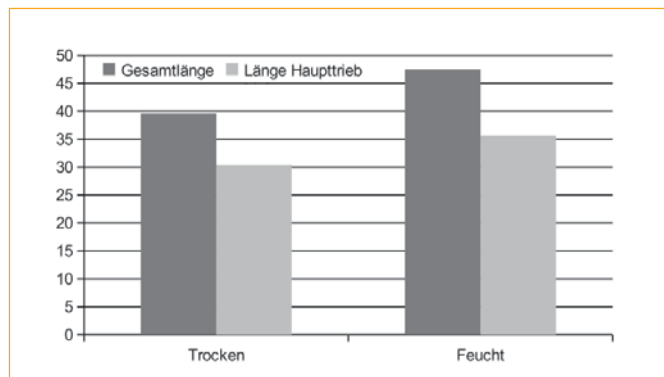
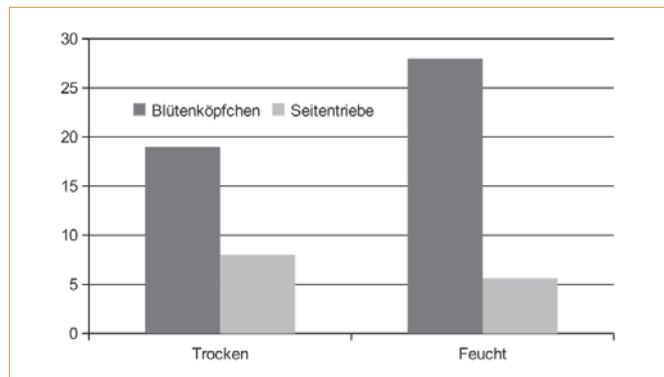


Abb. 5: Vergleich der Längenverhältnisse von Trocken- und Feuchtpflanzen

Abb. 6: Vergleich der Blütenzahl und Seitentriebe von Trocken- und Feuchtpflanzen

Abb. 7: Gestaltunterschiede der Standortvarianten