

Epigenetische Mechanismen – Inwiefern
beeinflusst die Zuwendung der
Rattenmutter die Resilienz der
Nachkommen?



Biologie Paper

Gymnasium Grundkurs

Biologie

Schuljahr

2019/2020

01.04.2020

1	Einleitung.....	3
2	Epigenetik – Was versteht man darunter?.....	4
3	Wie das Pflegeverhalten den Umgang mit Stress beeinflusst.....	5
3.1	Wie wichtig ist das Lecken und Putzen der Nachkommen?.....	5
3.2	Versuche zur Belegung der epigenetischen Mechanismen.....	5
3.2.1	Methode.....	5
3.2.2	Beobachtung.....	6
3.2.3	Auswertung.....	6
3.3	Komprimierung des DNA-Strangs.....	7
3.3.1	Anhang von enzymatischen Funktionsgruppen.....	7
3.3.2	Veränderte Expression der Gene für die Stressrezeptoren.....	7
3.3.3	Bisulfit-Sequenzierung als Indikator.....	8
3.4	Stressrezeptoren.....	9
3.4.1	Stresssystem.....	9
3.4.2	Folgen von LG.....	10
4	Fazit.....	11
4.1.1	Bedeutung für den Menschen?.....	11
5	Literaturverzeichnis.....	12
6	Anhang.....	1

1 Einleitung

„Wir haben eine ungeahnte Macht über unsere Gene und die unserer Kinder“, sagte Randy Jirtle, , doch was genau meinte der Biologe der Duke Universität mit dieser Aussage? Haben wir wirklich die Macht darüber zu entscheiden, welche Eigenschaften wir an unsere Kinder vererben? Können die Umwelteinflüsse einer vergangenen Lebenssituation noch auf folgende Generationen wirken? Und wenn ja, wie funktioniert das „Gedächtnis“ unserer Gene?

Das Interesse an immer neuen Forschungen, die teils zu bahnbrechenden Ergebnissen zur Folge hatten, führte zur Motivation dieser Arbeit. Der menschliche Körper ist trotz der fortgeschrittenen Naturwissenschaften noch immer voller unerforschter Bereiche und neuer Möglichkeiten. Dies war Anlass des starken Interesses an dem relativ neu entdeckten Gebiet, die Epigenetik. Die Erkenntnis der Fähigkeit den eigenen Körper so stark beeinflussen zu können, ist etwas, das einen völlig neuen Blickwinkel auf den menschlichen Körper bzw. sein Erbgut ermöglicht. Auch in der Zukunft wird dieses Themengebiet eine wichtige Rolle in der medizinischen Forschung, als auch im Alltag der Menschen spielen.

Die Forschung, zu verschiedenen epigenetischen Vorgängen, ist in den meisten Fällen hoch aktuell und teilweise noch nicht umfassend abgeschlossen. Doch besonders die Untersuchungen an Ratten sind teilweise schon weit fortgeschritten und liefern revolutionäre und aufschlussreiche Ergebnisse.

Dass zu den Aufgaben einer fürsorglichen Mutter nicht nur das Füttern und Pflegen eines Kindes, sondern auch ein liebevoller Umgang mit viel Zuwendung und Liebe gehört, ist bekannt. Was jedoch diese Bemutterung für die Gene der Kinder, und somit einen Organismus bedeutet und wie die Nachkommen diese Verhaltensmuster an die kommenden Generationen weitergeben ist erst in den letzten Jahrzehnten erwiesen worden. Dieses junge Themengebiet der Molekularbiologie, was sich mit der veränderbaren Aktivität der Gene befasst, ist die Epigenetik.

Wie die Umwelteinflüsse, besonders die Zuwendung der Mutter, Nachkommen nachhaltig in ihrer Lebensweise, Resilienz und Persönlichkeit prägen, und wie diese Mechanismen im Organismus nachgewiesen werden können, ist das Thema dieser Facharbeit.

2 Epigenetik – Was versteht man darunter?

„Heute trifft sich hier im East Room die Welt mit uns, um eine ganz besondere Karte zu enthüllen.“, sagte der Präsident der Vereinigten Staaten Amerikas Bill Clinton, im Juni 2000 bei der Bekanntgabe der erfolgreichen Entschlüsselung von 97 Prozent der DNA. Diese bahnbrechenden Entdeckungen erweckten zunächst den Anschein in naher Zukunft schwere Krankheiten wie Krebs, Parkinson oder Diabetes zu heilen. Doch die Entschlüsselung des Gencodes war nicht die Endlösung, es galt nun diesen Code zu verstehen und die Biologen standen lediglich am Anfang dieser Forschung.¹

Um zu verstehen, wie unterschiedlich die Gene im Körper ausgeprägt werden, ist es wichtig zu wissen, dass diese sich durch bestimmte Transferasen, bestimmte Enzymen an- und abschalten lassen.

Das Wort „Epi“ kommt aus dem Griechischen und bedeutet soviel wie „auf“ oder „darüber“. Die Epigenetik beschreibt also nicht, welche Gene im Körper vorhanden sind, sondern welche Gene im Körper aktiv sind. Menschen können zwar den gleichen Gensatz besitzen, wie es bei Zwillingen der Fall ist, jedoch sind deutlich erkennbare Unterschiede möglich. So kann ein Zwilling an Diabetes erkranken, der andere jedoch kerngesund sein. Für diese Unterschiede sind die epigenetischen Mechanismen verantwortlich, die nicht nur von den Eltern vererbt, sondern auch von der Umwelt beeinflusst werden können.²

Mit diesem Zweig der Biologie wurde die grundsätzliche Annahme, die errungenen Eigenschaften eines Menschen seien nicht vererbbar, widerlegt. Viele sehen daher die Evolutionstheorie Lamarcks als potenziell richtig an. Seine These befasste sich mit genau dieser Annahme. Er macht seine Argumentation an dem Beispiel der Giraffen fest. Diese streckten ihren Hals stets hinauf zu nährreicheren Blättern, weshalb sich ihr Hals verlängerte. Diese Eigenschaft vererbte sich von Generation zu Generation, und führte schlussendlich zu dem langen Hals der Giraffe.

Die Errungenschaften der Genetik geben aufschlussreiche Einblicke in die „Landkarte“ des menschlichen Körpers.

-
- ¹Für den Absatz: Spork, Peter (2015), S. 24
²Für den Absatz: Findekleee, Antje (2014), S. 5

3 Wie das Pflegeverhalten den Umgang mit Stress beeinflusst

3.1 Wie wichtig ist das Lecken und Putzen der Nachkommen?

Das Einzige, was eine Rattenmutter den ganzen Tag lang tut, ist ihre Kinder zu lecken und zu putzen, könnte man zumindest meinen. Doch unter näherer Betrachtung fallen erhebliche Unterschiede auf. Einige Ratten sind aggressiver, reizbarer und ängstlicher als andere, was einen Impuls gab, das Verhalten der Nager genauer zu untersuchen. Es wird also differenziert zwischen fürsorglichen Rattenmüttern, welche ihre Kinder intensiv lecken und putzen (engl. licking and grooming, LG) und distanzierteren Muttertieren, die sich wenig um die Nachkommen kümmern.

Dass die Zeit nach der Geburt eine besonders prägende und entscheidende Phase eines Lebewesens ist, ist den meisten Menschen bewusst. Die Veränderungen im Gehirn, welche durch epigenetische Mechanismen verursacht werden, wurden bei Ratten jedoch erst im Jahre 2004 erforscht. An der McGill Universität in Montreal gelang es Michael Meaney und seinen Kollegen Ian Weaver und Moshe Szyf³ nachzuweisen, dass das Verhalten der Muttertiere, im Bezug auf die Zuwendung, einen Einfluss auf die Anfälligkeit für Stress hat. Wie gut ein Organismus mit Stress umgehen kann und ob davon im weiteren Verlauf seines Lebens Beeinträchtigungen vorliegen, wird als Resilienz bezeichnet. Somit wird die Persönlichkeit der Nachkommen bereits im frühen Alter geprägt, und determiniert, ob die Ratte im weiteren Verlauf ihres Lebens mutig oder ängstlich ist.

3.2 Versuche zur Belegung der epigenetischen Mechanismen

3.2.1 Methode

Um zu beweisen, dass nicht die profanen Genprogramme den hier untersuchten Unterschied in der Persönlichkeit ausmachen, sondern epigenetische Mechanismen, mussten die Forscher dies zunächst belegen.

Es wurden Aufzuchtversuche durchgeführt, um zu beweisen, dass die Stressanfälligkeit durch andere Faktoren verursacht wurde⁴. Hierfür wurden zusätzlich zu der normalen Aufzucht im Labor einige Jungen direkt nach der Geburt von ihren biologischen Müttern getrennt und von einem nicht verwandten, fremden Weibchen aufgezogen (siehe Abb. 1).

Wie das Pflegeverhalten den Umgang mit

Eine High-LG-Mutter (also eine Mutter, die ihre Jungen überdurchschnittlich viel leckt und putzt)

zieht mehrere Nachkommen einer Low-LG-Mutter (die ihre Jungen unterdurchschnittlich wenig leckt und putzt) auf und umgekehrt.

³Spork, S. 98

⁴Waldorf, Michael; Westendorf-Bröring, Elsbeth (2012), S.106

3.2.2 Beobachtung

Nachdem die Rattennachkommen ausgewachsen waren, wurden sie auf ihre Stressanfälligkeit getestet, indem sie in einen für alle gleichen, fremden Raum gesetzt wurden, welcher in verschiedene Felder unterteilt war (siehe Abb. 2). Es wurde gemessen, wie lange sich die Ratten im inneren Feld des Raumes aufhielten, wobei es zu erheblichen Differenzen kam. Die High-LG-Nachkommen hielten sich im Durchschnitt 75 Sekunden im inneren Bereich auf, wohingegen die Low-LG-Nachkommen dies nur circa 25 Sekunden taten.

Auch das Verhalten bei der Futteraufnahme wurde untersucht. Low-LG-Ratten benötigten im Durchschnitt doppelt so viel Zeit, bis sie das Futter in der fremden Umgebung aufnahmen, als die High-LG-Ratten. Die Zeit, welche die Ratten benötigten, um das Futter aufzunehmen unterschied sich signifikant. High-LGs ließen sich circa 15 mal so viel Zeit bei der Futteraufnahme wie die Low-LGs (vgl. Für den Absatz: Walort, M.; Westendorf-Bröring, E.⁵).

Diese verschiedenen Untersuchungen lieferten aussagekräftige Ergebnisse, welche das Forscherteam bei der Annahme einer epigenetischen Beeinflussung der Nachkommen unterstützte.

3.2.3 Auswertung

Die Nachkommen, die ursprünglich von einer Low-LG-Mutter stammten, jedoch von einer High-LG-Mutter aufgezogen wurden, zeigten die gleichen Merkmale wie das entsprechende Weibchen. Auch diese Nachkommen waren mutiger, neugieriger, sozialer im Umgang mit Artgenossen und lernbereiter (vgl. Spork, Der zweite Code⁶) als andere.

Aus diesen Beobachtungen lässt sich schließen, dass es nicht auf die herkömmlichen Geneinflüsse ankommt, sondern diese nachträglich verändert werden. Es kommt also verstärkt auf das Verhalten der Mutter in dieser prägenden Phase an, in diesem Fall, ob sie ihre Jungen viel leckt und putzt.

Nachdem dies bewiesen wurde, wandte man sich den Mechanismen zu, die diese Persönlichkeitsveränderungen bewirkt hatten.

⁵Waldorf; Westendorf-Bröring, a.a.O. S.106

⁶Spork, a.a.O. S. 94

3.3 Komprimierung des DNA-Strangs

Die unterschiedlichen Aktivitätszustände der Gene durch Umwelteinflüsse, hier durch das licking and grooming, sorgt für eine unterschiedliche Verarbeitung der Stresshormone. Diese Aktivitätszustände der Gene können an die Nachkommen vererbt und durch bestimmte Umweltfaktoren erneut beeinflusst werden (vgl. Natura⁷).

Verschiedene Regulationsmechanismen legen den Aktivitätszustand der unterschiedlichen Gene fest, beziehungsweise, wie stark bestimmte Gene exprimiert werden.

Um Gene zu deaktivieren findet eine „Komprimierung des Chromatins statt.“ (Natura, s.u.), was in einer durchschnittlichen Säugetierzelle etwa bei 10% der Gene der Fall ist.

Durch diese Verdichtung, die durch die engere Wicklung der DNA um die Histone, welche den Proteinkern aufbauen, um welchen sich der DNA-Strang aufwickelt, kann die RNA-Polymerase nicht an den Promoter binden und diese somit nicht transkribieren.⁸

3.3.1 Anhang von enzymatischen Funktionsgruppen

Um eine Verdichtung der Histone herzustellen, finden „[...] chemische Veränderungen“ (Natura, s.u.) statt, welche wie eine Kennzeichnung in dem auserwählten Genom agiert. Es werden bestimmte funktionelle Gruppen, z.B. Acetyl- oder Methylgruppen an Aminosäuren gehängt oder von diesen abgetrennt, um die Verpackungsdichte zu beeinflussen (siehe Abb. 2), was erhebliche Auswirkungen auf die Transkriptionsrate hat.

3.3.2 Veränderte Expression der Gene für die Stressrezeptoren

Im Fall der Rattennachkommen findet eine Methylierung der DNA statt, welche die Ausprägung der Stressrezeptoren beeinflusst. Die DNA-Methyltransferasen binden hauptsächlich an die Stickstoffbase Cytosin (-CH₃), worauf in 3´ Richtung die Base Guanin folgt (CpG-Stelle), was zu einer Veränderung der Raumstruktur führt (vgl. Biologie heute SII⁹). Die CG Region wird auch als CG-Dimer, also ein Molekül mit zwei Untereinheiten (vgl. sciencedirect.com¹⁰) bezeichnet. Außerdem ist die Methylierung auch an den herausragenden Enden der Histonen (Histonschwänzen) möglich. Durch diese Verdichtung kann die RNA-Polymerase keine Transkription durchführen und das Gen ist

⁷ Natura S. 44

⁸ Kohlmann, Albert (2000), S. 16, S. 104

⁹ Waldorf; Westendorf-Bröring, a.a.O. S. 107

¹⁰ Shijie Liu,

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444595256000160>, 17.03.2020

stillgelegt (Silencing) (vgl. Natura, S. 45).

Mithilfe der Glucocorticoid-Rezeptoren (GR) kann die Ratte bestimmte Stresshormone verarbeiten. Je mehr dieser Rezeptoren im Gehirn ausgebildet sind, desto besser kann das Tier mit bestimmten Stresssituationen umgehen. Diese Rezeptoren werden durch das „GR-Gen codiert.“ (Biologie heute SII, S. 107 a.a.O.), das durch spezifische Transkriptionsfaktoren kontrolliert wird. Zudem wird die Expressierung des Gens durch die oben angeführte Methylierung der Base, sowie der Histonschwänze gesteuert.

Die Methylierung der DNA ist reversibel, sie kann also durch das Entfernen dieser Gruppe rückgängig gemacht werden. Indem die Verdichtung aufgelöst wird, kann die RNA-Polymerase wieder an den DNA-Strang binden und die Transkription durchführen.

Die Methylierungsmuster werden bei der Zellteilung gelöscht, auf diese Weise wird dem neuen Organismus zunächst ein Neustart gewährleistet. Trotzdem können die Markierungen durch Methylgruppen an die nächste Zellgeneration weitergegeben werden. Diese können jedoch durch gewisse Umwelt- sowie Lebensbedingungen verändert werden (vgl. Natura, S.45 a.a.O.).

3.3.3 Bisulfit-Sequenzierung als Indikator

Um die Methylierung des Cytosins nachzuweisen, wird häufig die Methode der Bisulfit- Sequenzierung angewandt. Durch eine Behandlung des zu untersuchenden DNA-Abschnitts mit

„Natriumhydrogensulfit (alter Name Bisulfit)“ (www.pflanzenforschung.de¹¹) wird eine Reaktion verursacht. Hierdurch reagiert das unmethylierte Cytosin zu Uracil, wobei das Methylcytosin nicht verändert wird und erhalten bleibt. Wenn man nun eine Sequenzierung durchführt, also die Basensequenz eines DNA-Abschnittes bestimmt, ist an den Stellen, wo zuvor Cytosin vorlag, Uracil bzw. Thymin aufzufinden. Ursprünglich paart die Base Cytosin komplementär bzw. ergänzend mit Guanin, wenn diese jedoch durch die Bisulfit-Sequenzierung zu Thymin bzw. Uracil wird, liegt die komplementäre Base Adenin vor. Es lässt sich also zwischen zwei Sequenzen unterscheiden.

Um die ursprüngliche Sequenz mit einer durch die Bisulfit-Reaktion veränderten Sequenz zu vergleichen, wird die PCR (Polymerase-Chain-Reaction) verwendet, wodurch sich das Thymin, bzw. Thymin-Guanin, wo ursprünglich die Base Cytosin vorlag, identifizieren lässt. Man spricht hier von TG-Dimeren.

Durch die PCR wird der behandelte Abschnitt schrittweise vervielfältigt und anschließend mithilfe der Sequenzierung untersucht wird¹². Die beiden Sequenzen werden miteinander verglichen und es

¹¹ <https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/lexikon-a-z/bisulfit-sequenzierung-2210>,

17.03.2020

¹² Li, Y.; Tollefsbol, T.; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3233226/>,
20.03.2020

wird untersucht, an welcher Stelle in der unbehandelten DNA, Cytosin vorlag. Liegt diese Base immer noch vor, ist davon auszugehen, dass eine Methylierung die Reaktion zu Uracil verhinderte. Wenn an der Stelle, wo zuvor Cytosin vorlag, die zu Guanin komplementär ist, nach der PCR Uracil, komplementär zu Adenin, vorhanden ist, war keine Methylgruppe angehängt.

Somit ist erkennbar, wo sich im unbehandelten DNA-Strang das unmethylierte Cytosin bzw. die CG- Dimer befinden. Durch erneutes Klonen des Genabschnittes kann bestimmt werden, ob der CG- Dimer nicht, teils oder ganz methyliert wurde (vgl. www.pflanzenforschung.de, a.a.O.). Die Betrachtung eines gesamten Genoms ist ebenfalls möglich, was als Analyse des Methyloms bezeichnet wird. Durch diese Methode erhält man einen aufschlussreichen Überblick über die Methylierung des untersuchten Bereichs, sowie den Grad der Methylierung.

3.4 Stressrezeptoren

3.4.1 Stresssystem

Wenn der Körper einer Situation ausgesetzt ist, die potenziell Stress verursacht, bereitet er sich auf eine Kampf- oder Flucht-Situation vor. Alle Funktionen des Körpers, die momentan nicht überlebensnotwendig sind werden vorübergehend eingestellt. Dafür werden andere Bereiche verstärkt und ein höherer Puls, Blutdruck, Blutzuckerspiegel sowie eine stärkere Muskelanspannung wird messbar. Um diese Maßnahmen zu gewährleisten muss der Körper zusätzliche Energie aufwenden, die durch bestimmte Hormone freigesetzt werden kann.

Der Hypothalamus, das wichtigste Regulationszentrum des Körpers, schüttet hormonelle Botenstoffe, beispielsweise das Corticotropin-releasing-hormone, aus. Dadurch gelangt ein weiteres Hormon, genannt Adrenocorticotropin, durch das Blut, zur Nebennierenrinde. Dort wird das Hormon Cortisol, zusätzlich zu Adrenalin, freigesetzt und über die Blutbahn in das Großhirn transportiert. Kann dieses Stresshormon nicht an die vorgesehenen Glucocorticoid-Rezeptoren im Hippocampus binden (siehe Abb. 3) und dem Körper keine energiereichen Reservestoffe zur Verfügung stellen, fehlen diese bei der Verarbeitung der Situation. Nachdem ausreichend Energie durch die Stresshormone in den Körper gelangt ist, wird dieser Schaltkreis abgestellt. Der Hippocampus besitzt außerdem die Funktion des „Erinnern[s] und

Verarbeiten[s]“ (vgl. Spork¹³), weshalb bereits bei geringeren Belastungen eine hohe Menge an Signalen zur Erhöhung der Stresshormone führen kann.

¹³Spork, a.a.O., S. 98

3.4.2 Folgen von LG

Die Rattenjungen, die von ihrer Mutter nicht ausreichend geleckt wurden, können mit stressigen bzw. fremden Situationen weniger gut umgehen als andere. Ihnen fehlt eine ausreichende Menge an GR-Rezeptoren im Gehirn, an die das Cortisol binden kann.

Durch das Anhängen der Methylgruppen an die DNA wird die Transkription durch die RNA- Polymerase nicht stattfinden. Das GR-Gen, was für die Ausprägung der Glucocorticoid-Rezeptoren codiert, ist stillgelegt und die Rezeptoren sind im Hypothalamus nicht ausreichend vorhanden. Das Stresshormon Cortisol gelangt zwar in die Blutbahn, kann jedoch im Großhirn nicht an ausreichend Rezeptoren binden. Der Organismus ist dadurch normalerweise in der Lage gelagerte Energie freizusetzen, wodurch der Körper entweder fliehen oder kämpfen kann. Können die Hormone nicht an die GR-Rezeptoren binden, fehlt nicht nur ein Teil dieser Energie, sondern es können auch gesundheitliche Schäden auftreten.

Zu hohe Mengen im Blut können zu Depressionen, eine höhere Anfälligkeit für Infektionen und Herzkrankheiten führen (vgl. Lick Your Rats¹⁴). Sind die Glucocorticoid-Rezeptoren in hohen Mengen ausgeprägt, was durch die Methylierung der DNA verhindert wäre, kann das Lebewesen Cortisol besser aufnehmen und sich besser von der Stresssituation erholen.

¹⁴https://learn.genetics.utah.edu/content/epigenetics/rats/?hstc=170503551.f56668a775eb8b1abb383caaf3ea3ec9.1474588800053.1474588800055.1474588800056.2&hssc=170503551.1.1474588800056&h_sfp=1773666937, 03.02.2020

4 Fazit

4.1.1 Bedeutung für den Menschen?

Diese epigenetischen Aspekte beeinflussen nicht nur die Forschung, oder die Aussicht auf Medikamente für weit verbreitete Krankheiten, sondern auch unser alltägliches Leben. Das grundsätzliche Verständnis unseres Körpers hat sich stark verändert und es ist nun möglich die Gene und ihre Ausprägung in einem ganz anderen Winkel zu betrachten.

Der Rattenversuch, welcher durchgeführt wurde um nachweislich zu zeigen, dass sich das Verhalten der Mutter auf die Resilienz sowie Persönlichkeit ihrer Nachkommen auswirkt, veranschaulicht das angeführte Phänomen sehr gut. Es wird besonders deutlich, welchen massiven Einfluss das Verhalten der Rattenmutter auf den gesamten Organismus der Jungen hat. Sie beeinflusst nicht nur die Psyche, sondern regt aktiv Veränderungen im Körper, in Form von Anhängen der Methylgruppen an dem DNA-Strang, an. Es wird vorgegeben, welche persönlichen Eigenschaften, beispielsweise im Umgang mit Artgenossen, ein Individuum besitzt. Doch auch, wenn es zunächst so scheint, als wären die Nachkommen dem Verhalten der Mutter hilflos ausgeliefert, gilt es nicht zu vergessen, dass durch weitere Umwelteinflüsse Markierungen erneut verändert werden können. Es ist also prinzipiell immer möglich die Aktivität der Gene zu beeinflussen und dies eventuell sogar zu steuern. Durch immer modernere Techniken, wie die Bisulfit-Sequenzierung, lässt sich herausstellen, wo genau die Methylgruppen wirken, was zu einer genaueren Diagnostik sowie Behandlung führt. Epigenetische Vorgänge können durch alle möglichen Aktionen ausgelöst werden, auch durch primitiv wirkende wie das Lecken und Putzen.

Alles was wir tun, auch wenn es uns noch so alltäglich erscheint, egal ob wir essen, schlafen, rauchen oder Sport treiben, aber auch außerordentliche Ereignisse wie Traumata, Schocksituationen oder psychische Störungen erleben, alles wirkt sich auf unseren Körper und den Aktivitätszustand unserer Gene aus. Wir tragen also stetig die Möglichkeit der bewussten Eigenveränderung in uns und sind in der Lage über das Erbgut unserer Eltern hinaus, uns aktiv, selbstbestimmt und bewusst weiterzuentwickeln. Dies gilt sowohl für den Pheno- als auch den Genotyp. Doch eine viel größere Verantwortung tragen wir gegenüber unseren Kindern, der nächsten Generation. Eigenschaften, die wir uns jetzt aneignen, beeinflussen noch mehrere Generationen nach uns, Ereignisse, welche wir erleben, prägen immer

noch unsere Kindeskindern.

Es ist wichtig sich bewusst zu sein, dass die mütterliche Zuwendung und die emotionale sowie körperliche Berührung sich über das Gedächtnis der Gene positiv auf die Lebensqualität eines Lebewesens auswirkt.

5 Literaturverzeichnis

Bücher:

Dr. Bickel, Horst; Dr. Büntge, Anna; Dr. Monteure, Inka; Dr. Schmidt, Carsten; Stock, Petra (2015): Natura, Biologie für Gymnasien Qualifikationsphase Nordrhein-Westfalen, Stuttgart, 1. Auflage

Kollmann, Albert (2000): Abitur-Wissen Genetik, Freising, 1.

Auflage Spork, Peter (2010): Der Zweite Code, Reinbek bei Hamburg, 4. Auflage

Walory, Michael (Hg.); Westendorf-Bröring (Hg.) (2012): Biologie Heute SI, I Lehrmaterialien Teil 1, 1. Auflage

Zeitschriften:

Findeklee, Antje (2014): Epigenetik – Wie die Umwelt unser Erbgut beeinflusst, Spektrum der Wissenschaft Kompakt

Internet:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444595256000160>,

(abgerufen
am 17.03.2020)

<https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/lexikon-a-z/bisulfit-sequenzierung-2210>, (abgerufen am 17.03.2020)

Li, Yuanyuan.; Tollefsbol, Trygve.:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3233226/>, (abgerufen am 20.03.2020)

<https://learn.genetics.utah.edu/content/epigenetics/rats/?hstc=170503551.f56668a775eb8b1abb383caaf3ea3ec9.1474588800053.1474588800055.1474588800056.2&hssc=170503551.1.1474588800056&hsfp=1773666937>, (abgerufen am 03.02.2020)

6 Anhang

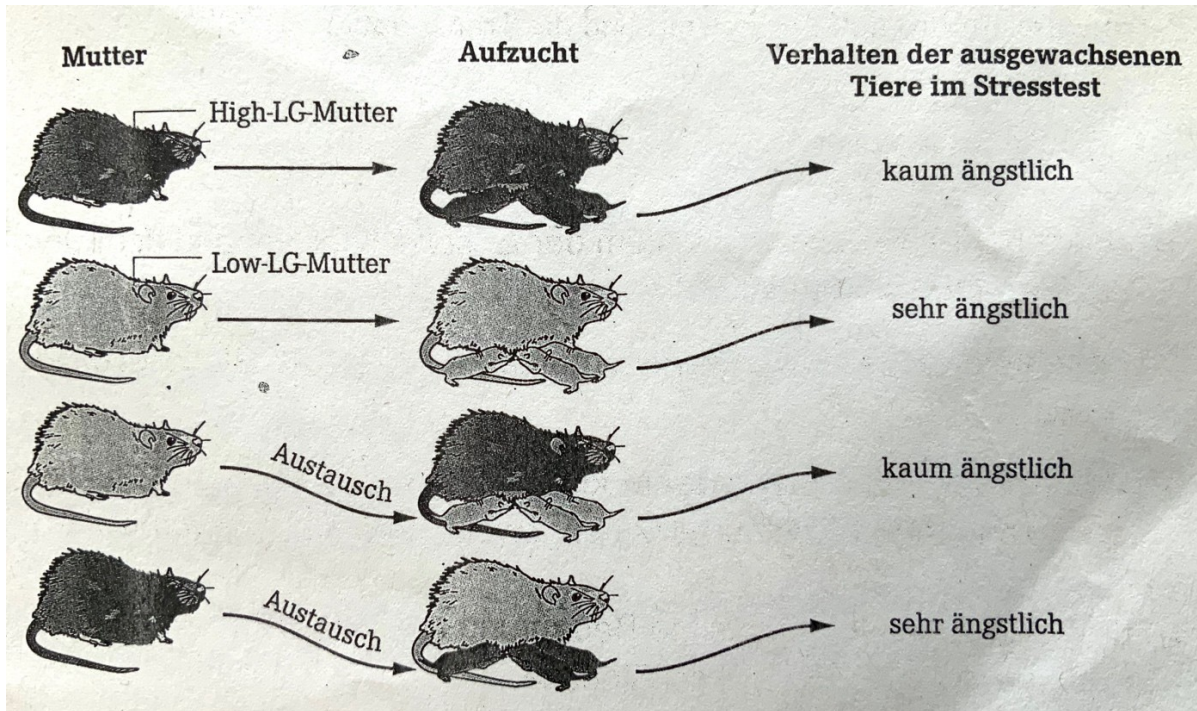


Abb. 1 Aufzuchtversuche zur Belegung epigenetischer Mechanismen ¹⁵

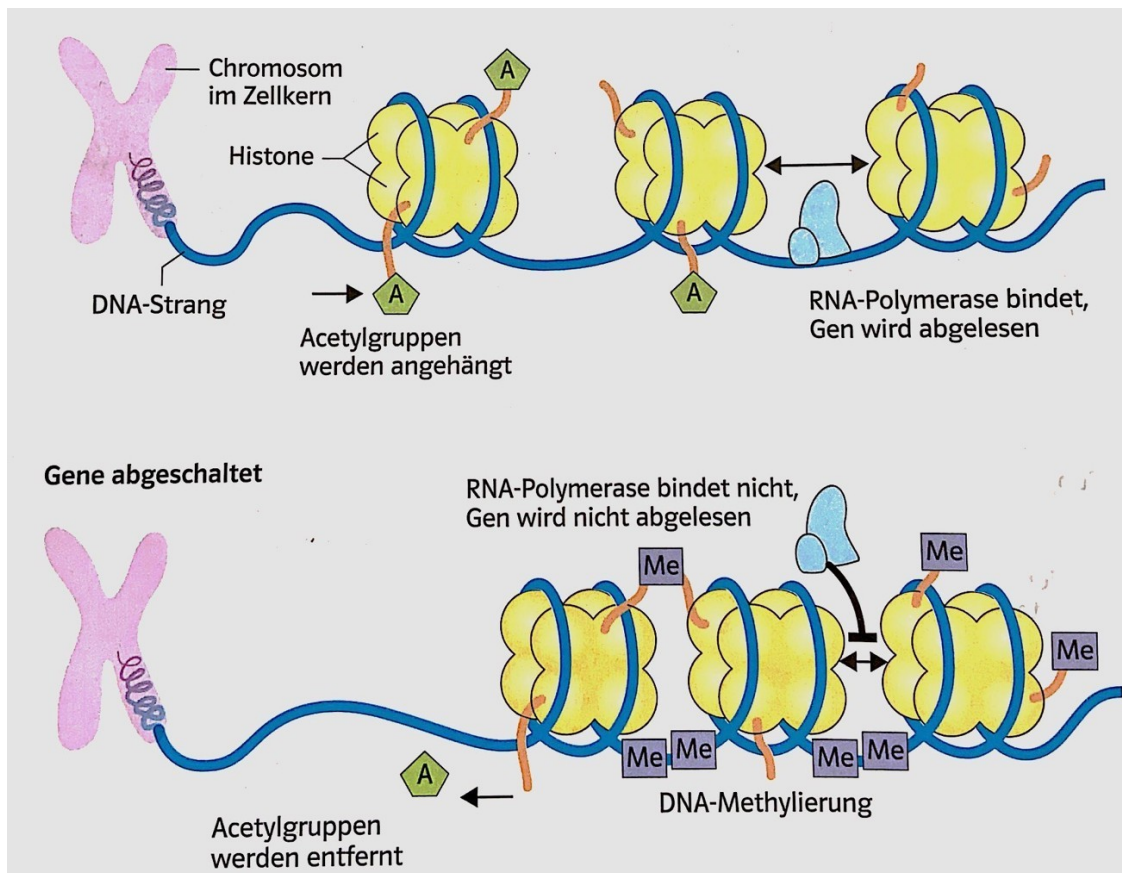


Abb. 2 Komprimierung der DNA reguliert die Genaktivität¹⁶

¹⁵ Waldorf, Michael; Westendorf-Bröring, Elsbeth (2012), S. 106

¹⁶ Natura Biologie für Gymnasien, S. 44

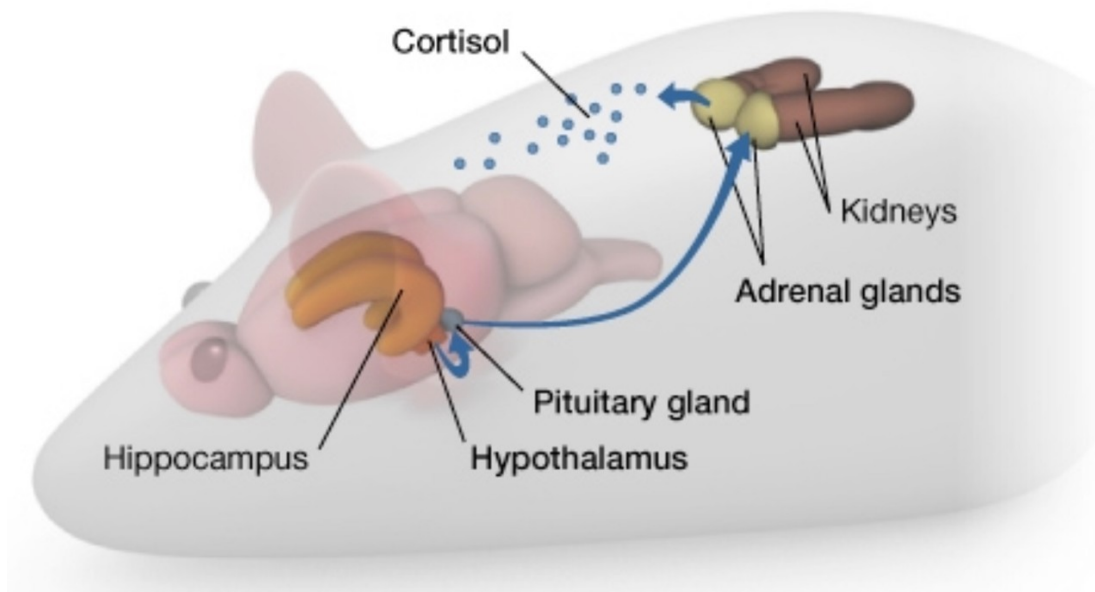


Abb. 3 Der Stresszyklus, auch genannt HPA Achse (Hypothalamus-Pituitary-Adrenal)¹⁷

Abbildungsverzeichnis

Walory, Michael (Hg.); Westendorf-Bröring (Hg.) (2012): Biologie Heute SI,I
Lehrmaterialien Teil 1, Seite 106

Dr. Bickel, Horst; Dr. Büntge, Anna; Dr. Monteure, Inka; Dr. Schmidt, Carsten; Stock,
Petra (2015): Natura, Biologie für Gymnasien Qualifikationsphase Nordrhein-Westfalen,
Stuttgart, 1. Auflage, Seite 44

<https://learn.genetics.utah.edu/content/epigenetics/rats/?>

[hstc=170503551.f56668a775eb8b1abb](https://learn.genetics.utah.edu/content/epigenetics/rats/?hstc=170503551.f56668a775eb8b1abb)

[383caaf3ea3ec9.1474588800053.1474588800055.1474588800056.2&](https://learn.genetics.utah.edu/content/epigenetics/rats/?hstc=170503551.f56668a775eb8b1abb383caaf3ea3ec9.1474588800053.1474588800055.1474588800056.2&)

[hssc=170503551.1.1474588](https://learn.genetics.utah.edu/content/epigenetics/rats/?hstc=170503551.f56668a775eb8b1abb383caaf3ea3ec9.1474588800053.1474588800055.1474588800056.2&hssc=170503551.1.1474588)

[800056&hsfp=1773666937](https://learn.genetics.utah.edu/content/epigenetics/rats/?hstc=170503551.f56668a775eb8b1abb383caaf3ea3ec9.1474588800053.1474588800055.1474588800056.2&hssc=170503551.1.1474588800056&hsfp=1773666937), 02.03.2020

<https://learn.genetics.utah.edu/content/epigenetics/rats/?hstc=170503551.f56668a775eb8b1abb383caaf3ea3ec9.1474588800053.1474588800055.1474588800056.2&hssc=170503551.1.147458800056&hsfp=1773666937>, 03.02.2020