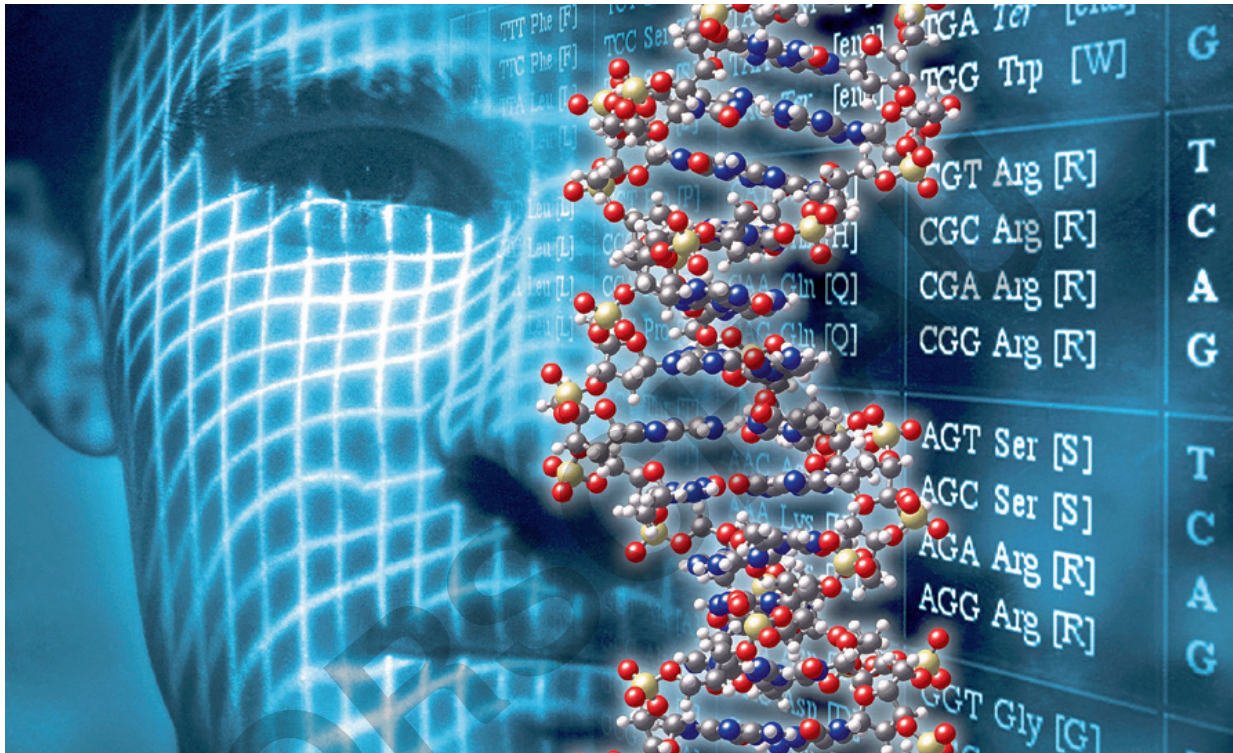


# Gene und Umwelt: Teamplayer der Merkmalsausprägung

von Svenja Hölter und Dr. Monika Pohlmann



© William Whitehurst / The Image Bank / Getty Images Plus

Die Erforschung der Interaktion von Genom und Umwelt, die Epigenetik, ist heutzutage in den Mittelpunkt des Interesses gerückt. Die Basensequenz der DNA codiert die genetische Information, aber chemische Marker an der DNA können Teile des Genoms an- oder abschalten. Die Aktivität einzelner Gene wird damit an die Umwelt angepasst. Individuelle Genexpressionsmuster stellen das Epigenom dar. Beeinflussten die Evolutionstheorien Darwins und Lamarcks lange die Argumentationsrichtung, so vermitteln heute Erkenntnisse der Zwillingsforschung und der Epigenetik ein immer differenzierteres Bild. Der fruchtlose Grundsatzstreit zwischen Erbtheorie- und Milieutheoretikern ist aktuell einer vielschichtigen Betrachtungsweise gewichen. Über einen kurzen historischen Rückblick dringen Ihre Schülerinnen und Schüler einer auf Kooperation angelegten Unterrichtsarchitektur in die Thematik ein. Wissenschaftliches Denken und Arbeiten, Modellieren und Diagrammkompetenzen stehen methodisch im Vordergrund.

# Gene und Umwelt: Teamplayer der Merkmalsausprägung

Niveau: weiterführend, vertiefend

von Svenja Hölter und Dr. Monika Pohlmann

Fachwissenschaftliche Aspekte	1
Methodisch-didaktische Hinweise	2
M 1: Lamarckismus versus Darwinismus	5
M 2: Fluktuationstest: Gene oder Umwelt?	7
M 3: Eineiige Zwillinge: Informationen natürlicher Klone	12
M 4: Epigenetik: Regulation der Genexpression	15
M 5: Gelée Royale: König oder Lakai?	20
M 6: Bestätigt die Epigenetik den Lamarckismus?	22
Lösungen	24
Literatur	42

© RAABE 2021

VORLESUNG

## Überblick:

Legende der Abkürzungen:

**DG** Diagramme

**PA** Partnerarbeit

**PL** Plenum

**TX** Textarbeit

Inhaltliche Stichpunkte	Material	Methode
Diskurs Darwinismus vs. Lamarckismus, Vererbung erworbener Eigenschaften, phänotypische und genetische Variabilität, natürliche Zuchtwahl, Evolution des Giraffenhalses, Einfluss von Genen und Umwelt auf die Merkmalsausprägung	M 1	PA, PL, TX
Fluktuationstest von Luria und Delbrück, spontane vs. induzierte Mutation, Darwinismus vs. Lamarckismus, Wirt-Parasit-Beziehung, Bakterium-Bakteriophage, Bakterienkolonie, Agarplatte, Replikationszyklus von Viren, naturwissenschaftlicher Erkenntnisweg, Reflexion der Prognose im hypothetisch-deduktiven Verfahren	M 2	PA, PL, TX
Zwillingsforschung, ein- und zweieiige Zwillinge, Konkordanz/Diskordanz ausgewählter Merkmalsausprägungen, Vergleich des Intelligenzquotienten	M 3	DG, PA, PL
Zelldifferenzierung, Chromatin, DNA-Verpackungsgrad, Nukleosom, Genregulation, Genexpressionsmuster, Epigenom, Steuerung der Genaktivität, DNA-Methylierung, DNA-Methyltransferase, Histonmodifikation, Acetylierung	M 4	PA, PL, TX
Experiment, Differenzierung weiblicher Bienenlarven als Königin oder Arbeiterin, DNA-Methyltransferase-Inhibitor, epigenetisch gesteuerte Genexpression, Gelée Royale, Umweltfaktor steuert Genaktivität und Merkmalsausprägung	M 5	PA, PL, TX
Phänotypische Plastizität, Erhöhung der phänotypischen Variabilität einer Population durch Umweltfaktoren, Erweiterung der Thesen Darwins durch eine lamarckistische Dimension, Reflexion der Gültigkeit von Theorien	M 6	PA, PL, TX

# Gene und Umwelt: Teamplayer der Merkmalsausprägung

## Fachwissenschaftliche Aspekte

### *Der Weg zur synthetischen Evolutionstheorie*

Seit Ende der 1990er-Jahre wird weltweit ein komplexes Theoriensystem zur Erklärung der biologischen Evolution wissenschaftlich anerkannt. Als Erklärung des dokumentierten Artenwandels in allen Organismengruppen werden verschiedene Aspekte in Teiltheorien abgebildet. Es wird daher schon lange nicht mehr von der einen Evolutionstheorie gesprochen. Die aktuelle erweiterte synthetische Evolutionstheorie beinhaltet z. B. die Theorien der **Verwandtenselektion** und der **primären Endosymbiose** sowie das Konzept der Kontinentalverschiebung. Jede dieser Teiltheorien bezieht sich auf eine andere Systemebene der belebten Natur und ist für ein Gesamtverständnis der biologischen Evolution unerlässlich.

**Darwin** lieferte bereits 1872 die noch heute gültige Definition der biologischen Evolution. Danach beruht die Transformation einer Art auf der unterschiedlichen Überlebenswahrscheinlichkeit und dem unterschiedlichen Fortpflanzungserfolg von Individuen einer Population aufgrund von Variationen in ihren Merkmalsausprägungen. Er sprach von der „Deszendenz mit Modifikation“ (Deszendenztheorie) und verstand darunter eine Abstammung mit Abänderungen im Verlaufe vieler Generationen.

Mit **Lamarckismus** wird die Theorie benannt, nach der Lebewesen Merkmalsausprägungen an ihre Nachkommen vererben können, die sie während ihres Lebens erworben haben. Urheber ist der französische Biologe Jean-Baptiste de Lamarck (1744–1829), der im 19. Jahrhundert damit eine der ersten Evolutionstheorien entwickelte. Anders als vielfach dargestellt, ist die Vererbung erworbener Eigenschaften nur ein Teilaspekt von Lamarcks ursprünglicher Theorie. Während das Konzept der Vererbung erworbener Eigenschaften sich 1859 auch in Darwins Evolutionstheorie wiederfand, entbrannte immer wieder ein Streit zwischen Neodarwinisten und Neolamarckisten.

Mit der Akzeptanz der **Synthetischen Evolutionstheorie**, in der das Prinzip der natürlichen Selektion mit den Erkenntnissen der Genetik in Einklang gebracht werden konnte, wurde der wissenschaftliche Disput Mitte des 20. Jahrhunderts vorübergehend zugunsten des Darwinismus entschieden. Die moderne **Epigenetik** lässt den alten Konflikt al-

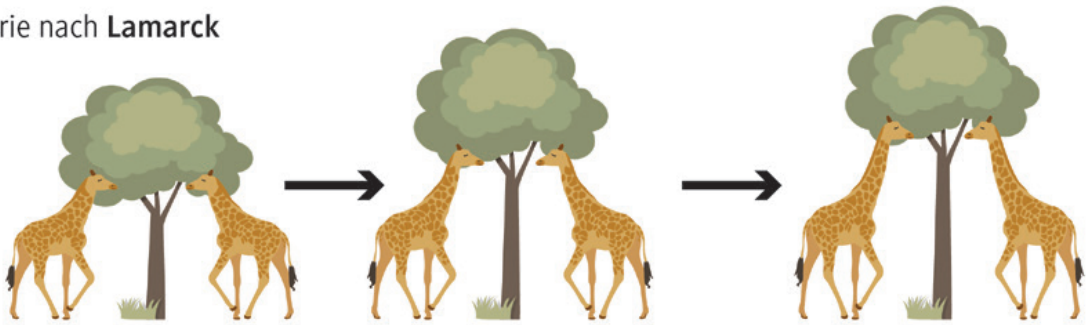
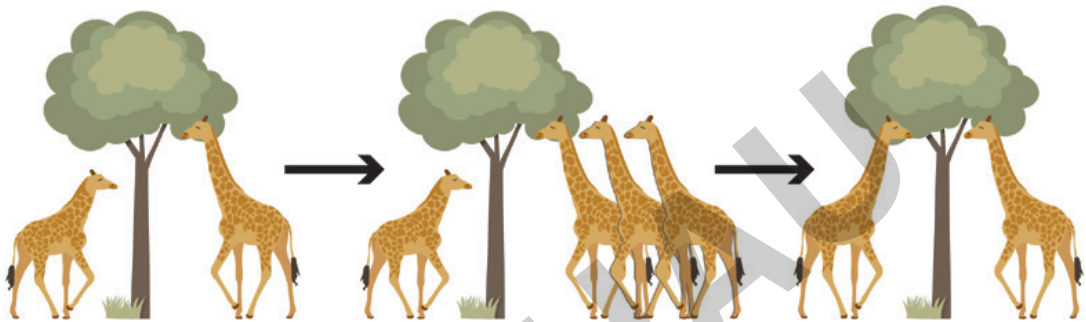
lerdings aufs Neue aufflammen. Der Fachbegriff Epigenetik setzt sich aus Genetik und Epigenese, also der Entwicklung eines Lebewesens, zusammen. Als Bindeglied zwischen der Wirkung von Umwelteinflüssen und Genen bestimmen epigenetische Faktoren, wann ein Gen angeschaltet und wieder stumm geschaltet wird. Diese Art der genetischen Steuerung wird als Genregulation bezeichnet.

### Anlage-Umwelt-Thematik

Der Anlage-Umwelt-Disput stellt die Frage, ob Verhalten, Fähigkeiten und anatomisch-physiologische Merkmalsausprägungen eines Lebewesens genetisch oder umweltbedingt sind. Die Theorien Darwins und Lamarcks haben die Diskurspositionen entscheidend geprägt. Insbesondere Erkenntnisse der Zwillingsforschung und der Epigenetik haben die Debatte neu angetrieben. Heute geht man davon aus, dass die Merkmalsausprägung sowohl von der Umwelt als auch von den Erbanlagen beeinflusst werden kann. Chemische Marker an der DNA können Teile des Genoms an- oder abschalten. Die Aktivität einzelner Gene wird damit an die Umwelt angepasst.

### Methodisch-didaktische Hinweise

In dieser Einheit erhalten die Lernenden einen Einblick in den Anlage-Umwelt-Diskurs und gehen der Frage nach, wie Gene und Umweltfaktoren auf die Merkmalsausprägung Einfluss nehmen. Die Thematik wird dabei an drei zentralen Forschungsschwerpunkten zugänglich gemacht: dem **Fluktuationstest**, der **Zwillingsforschung** und der **Epigenetik**. Alle Arbeitsaufträge dieser Einheit sind im Sinne der Prinzipien des kooperativen Lernens gestaltet, indem sie in Partnerarbeit bearbeitet und im Plenum diskutiert werden. Methodisch werden insbesondere die Diagrammkompetenz und die Modellkompetenz gefördert. Als durchgängiges Prinzip fordern die Arbeitsaufträge die selbstständige Erschließung von Sachtexten und im Rahmen selbst gefertigter Versuchsprotokolle die naturwissenschaftliche Textproduktion.

a) Theorie nach **Lamarck**b) Theorie nach **Darwin**

Grafik: Sylvana Timmer

**Abbildung 1:** Evolution der Giraffe nach a) Lamarck und b) Darwin

### Aufgaben



Die Aufgaben werden im Tandem bearbeitet, die Ergebnisse im Plenum präsentiert:

1. **Definieren** Sie zunächst in Einzelarbeit die Fachbegriffe Gen und Umwelt. **Nennen** Sie jeweils etwa fünf abiotische und biotische Umweltfaktoren. **Tauschen** Sie sich anschließend über die Ergebnisse mit Ihrem Lernpartner/Ihrer Lernpartnerin **aus**.
2. **Erklären** Sie sich gegenseitig auf der Basis der Sachtexte und Abbildung 1, aus darwinistischer und lamarckistischer Perspektive, wie Giraffen den langen Hals entwickelt haben könnten.
3. **Diskutieren** Sie gemeinsam mit Ihrem Lernpartner/Ihrer Lernpartnerin, welchen Einfluss Gene und Umwelt auf die Merkmalsausprägung haben könnten. **Stellen** Sie begründbare Hypothesen dazu **auf**.



## M 3 Eineiige Zwillinge: Informationen natürlicher Klone

### A: Zwillinge als Forschungsobjekte

Die Zwillingforschung ist eine wichtige Disziplin der humangenetischen Forschung. Mit ihrer Hilfe konnten weitere Erkenntnisse zur Bedeutung von Genen und Umwelt bei der Merkmalsausprägung gewonnen werden. Es lassen sich eineiige Zwillinge (EZ) von zweieiigen Zwillingen (ZZ) unterscheiden.



© Thinkstock / Brand x Pictures

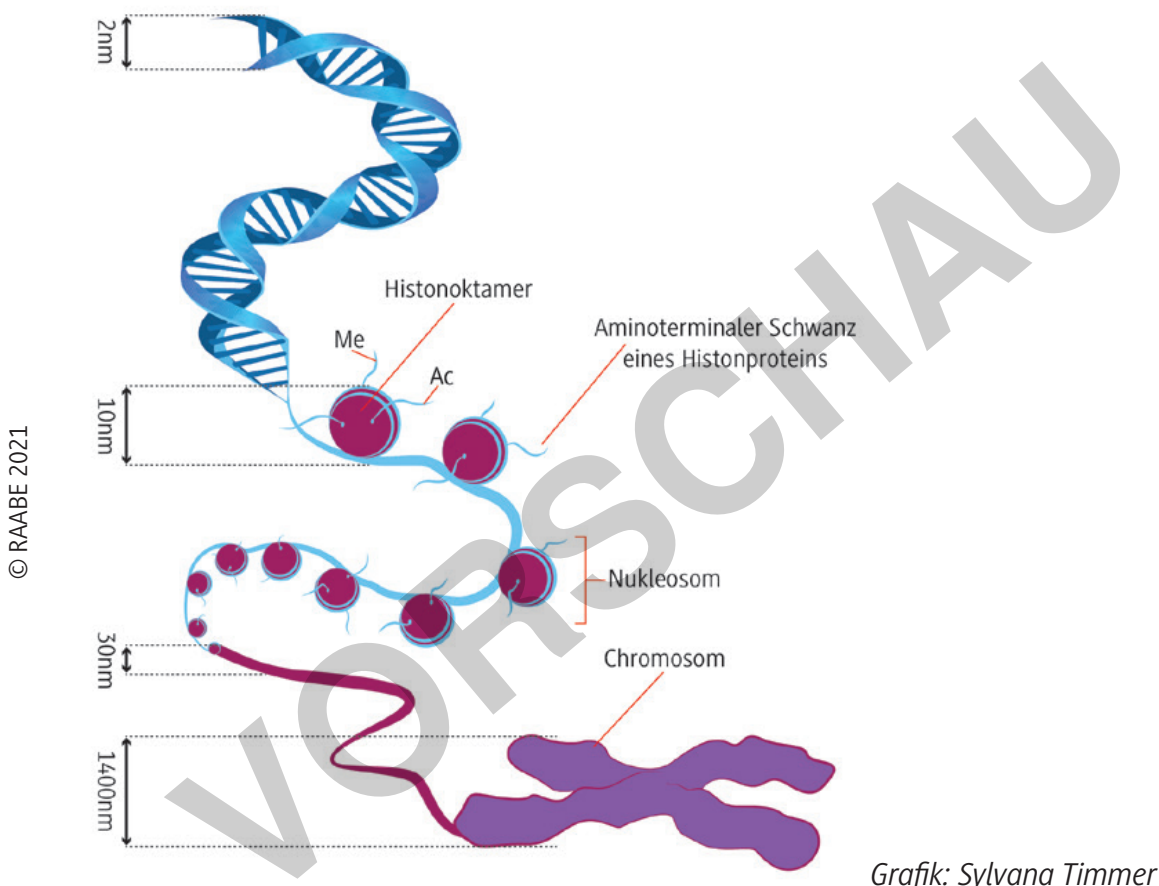
### Abbildung 1: Eineiiges Zwillingspaar

Zweieiige Zwillinge entstehen durch die gleichzeitige Befruchtung von zwei Eizellen mit je einer Samenzelle. Die genetische Übereinstimmung entspricht derjenigen von normalen Geschwistern. Sie haben damit etwa 50 % ihrer Gene gemeinsam. Eineiige Zwillinge entstehen dagegen aus einer einzigen befruchteten Eizelle, die zu einem frühen Zeitpunkt der Embryonalentwicklung in zwei Hälften zerfällt. Jede Hälfte kann die fehlende Hälfte regenerieren. Eineiige Zwillinge besitzen damit identisches Erbmateriale und sind natürliche Klone. Diese sind für die Wissenschaft von besonderem Interesse. Zwillingstudien erheben Daten zu verschiedenen Merkmalen und berechnen den Prozentsatz an übereinstimmender Ausprägung, die Konkordanz. Eine Konkordanz von 85 % bedeutet beispielsweise, dass 85 % der Zwillingspaare eine übereinstimmende Merkmalsausprägung bezüglich eines bestimmten Merkmals zeigen. Die Nichtübereinstimmung einer Merkmalsausprägung wird als Diskordanz bezeichnet.

© RAABE 2021

## B: Histon-Methylierung und Histon-Acetylierung

Die genetische Information liegt in den Kernen eukaryotischer Zellen in Form von Chromatin vor, einem lockeren Komplex aus DNA und bestimmten Proteinen. Etwa die Hälfte dieser Proteine sind Histone. Je zwei Kopien der Histone H2A, H2B, H3 und H4 bilden gemeinsam einen Proteinkomplex aus acht Histonen, um welchen sich die DNA aufwickelt. Diese kleinste Verpackungseinheit des Genoms, bestehend aus einem Histonoktamer und aufgewickelter DNA, bezeichnet man als Nukleosom.



**Abbildung 3:** Chromatinverpackungsstufen und Modifikationen an Histonen.

Me: Methylgruppe, Ac: Acetylgruppe.

Abhängig vom Verpackungsgrad gibt es zwei Grundtypen des Chromatins:

Euchromatin und Heterochromatin.

Beim Heterochromatin sind die Nukleosomen dicht gepackt und erschweren den Zugang zur DNA, sodass Enzyme (z. B. Transkriptionsfaktoren) nicht binden können und das betroffene Gen nicht abgelesen werden kann. Je dichter die DNA im Chromatin verpackt