# Hessische Schülerakademie 2013

**OBERSTUFE**

# Dokumentation

4. - 16. August 2013

veranstaltet von der
Goethe Universität Frankfurt/Main,
dem Landesschulamt und Lehrkräfteakademie und der
Hessischen Heimvolkshochschule BURG FÜRSTENECK

Schirmherrin: Frau Kultusministerin Nicola Beer

# 9. Hessische Schülerakademie Oberstufe 04. – 16. August 2013

– Lehreraus- und Weiterbildung –

# Dokumentation

Herausgegeben von:
Peter Gorzolla, Cynthia Hog-Angeloni
und Birthe Anne Wiegand

Eine Veröffentlichung der

Hessischen Heimvolkshochschule
**BURG FÜRSTENECK**
Akademie für berufliche und
musisch-kulturelle Weiterbildung

Am Schlossgarten 3
36132 Eiterfeld

Diese Dokumentation ist erhältlich unter:
`http://www.hsaka.de`

creative commons

**Namensnennung-NichtKommerziell-KeineBearbeitung 3.0 Unported (CC BY-NC-ND 3.0)**

**Sie dürfen:**

das Werk bzw. den Inhalt vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen

**Zu den folgenden Bedingungen:**

**Namensnennung** — Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen.

**Keine kommerzielle Nutzung** — Dieses Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden.

**Keine Bearbeitung** — Dieses Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden.

**Wobei gilt:**

**Verzichtserklärung** — Jede der vorgenannten Bedingungen kann **aufgehoben** werden, sofern Sie die ausdrückliche Einwilligung des Rechteinhabers dazu erhalten.

**Public Domain (gemeinfreie oder nicht-schützbare Inhalte)** — Soweit das Werk, der Inhalt oder irgendein Teil davon zur **Public Domain** der jeweiligen Rechtsordnung gehört, wird dieser Status von der Lizenz in keiner Weise berührt.

**Sonstige Rechte** — Die Lizenz hat keinerlei Einfluss auf die folgenden Rechte:

- Die Rechte, die jedermann wegen der Schranken des Urheberrechts oder aufgrund gesetzlicher Erlaubnisse zustehen (in einigen Ländern als grundsätzliche Doktrin des **fair use** etabliert);
- Das **Urheberpersönlichkeitsrecht** des Rechteinhabers;
- Rechte anderer Personen, entweder am Lizenzgegenstand selber oder bezüglich seiner Verwendung, zum Beispiel für **Werbung** oder Privatsphärenschutz.

**Hinweis** — Im Falle einer Verbreitung müssen Sie anderen alle Lizenzbedingungen mitteilen, die für dieses Werk gelten.

**ISBN-Angabe:** Die ISBN-Nummer dieser Publikation ist 978-3-910097-22-3. Sie ist bei der Verwendung anzugeben

# Inhaltsverzeichnis

**1 Vorwort** **6**

**2 Grußwort** **7**

**3 Mathematikkurs** **8**

3.1 Färbungen in der Ebene . . . 8
3.2 Die Eulersche Polyederformel . . . 10
3.3 Topologische Invarianten . . . 13
3.4 Der topologische Dimensionsbegriff und Peanokurven . . . 14
3.5 Der Jordansche Kurvensatz und der Satz von Schoenflies . . . 16
3.6 Klassifikation von Flächen . . . 18
3.7 Färbungen von Landkarten auf Flächen . . . 20
3.8 Die Fundamentalgruppe . . . 22
3.9 Anwendungen der Fundamentalgruppe . . . 24
3.10 Wilde Sphären . . . 25

**4 Physikkurs** **28**

4.1 Impuls- und Energieerhaltung . . . 28
4.2 Ideale Gase / Kinetische Gastheorie . . . 30
4.3 Reale Gase . . . 31
4.4 Luftfeuchtigkeit, Taupunkt und die Entstehung von Wolken . . . 33
4.5 Reflexion und Brechung . . . 35
4.6 Lichtstreuung . . . 37
4.7 Atmosphärische Elektrizität . . . 38
4.8 Wärmestrahlung . . . 40
4.9 Die Corioliskraft und ihre Auswirkungen auf die Atmosphäre . . . 42
4.10 Chaos und Vorhersagbarkeit . . . 44

**5 Biologiekurs** **46**

5.1 Anatomie des respiratorischen Systems und Atemregulation . . . 46
5.2 Pulmonaler Gasaustausch und Prozesse des Atemgastransports . . . 48
5.3 Visuelle Wahrnehmung und optische Verarbeitung . . . 49
5.4 Auditive Wahrnehmung . . . 51
5.5 Ernährungsphysiologie . . . 53
5.6 Enzymaktivität in Eukaryonten am Beispiel der Laktase . . . 54
5.7 Physiologische Grundlagen des Herzens . . . 56
5.8 Erregungsbildung des Herzens und das Elektrokardiogramm . . . 58
5.9 Passiver Bewegungsapparat des Menschen . . . 59

5.10 Evolution des Menschen - Moderne Forschungsmethoden in der Paläoanthropologie . . . 61
5.11 Der Genetische Fingerabdruck, Teil I: Molekulare Grundlagen und Methoden des Genetischen Fingerabdrucks . . . 63
5.12 Der Genetische Fingerabdruck, Teil II: Grundlagen der Vererbung und Methoden des Genetischen Fingerabdrucks . . . 65

**6 Geschichtskurs 67**
6.1 Grundlagen der Narratologie I: Erzählung und Erzählen . . . 67
6.2 Grundlagen der Narratologie II: Modelle und Grundbegriffe . . . 68
6.3 Historische Authentizität . . . 70
6.4 Die Macht der Narrative: Campbells Heldenreise . . . 70
6.5 Eine neue Sprache eine neue Welt . . . 72
6.6 Denken und Sprache . . . 73
6.7 Das Sprache-Denken-Problem . . . 74
6.8 Die sprachliche Struktur(ierung) der Welt . . . 76
6.9 Ein neues Schreiben ein neues Denken . . . 78
6.10 Philosophische Schreibwerkstatt . . . 79
6.11 Ambivalente Worte: Kosellecks Begriffsgeschichte . . . 80
6.12 Historiographie und Fiktion I: Frieds Lob der Phantasie . . . 82
6.13 Historiographie und Fiktion II: Whites Metahistory . . . 83
6.14 Geschichte erzählen zwischen Mythos und Kunst . . . 85
6.15 Abschlusssitzung . . . 87

**7 Kursübergreifende Angebote 88**
7.1 Chor . . . 88
7.2 Kontratanz . . . 88
7.3 Kammermusik . . . 89
7.4 English Theatre . . . 89
7.5 Bühnenbild . . . 90
7.6 Theaterimprovisation . . . 90
7.7 Rhetorik . . . 90
7.8 Italienisch . . . 91
7.9 Musikalische Improvisation . . . 91
7.10 Naturkunde . . . 92
7.11 Journalismus . . . 92

**8 Abendvorträge 93**
8.1 Geologie [in] der Antarktis – Forschungsarbeit unter Extrembedingungen . . . 93
8.2 Science-Slam: Humor in der Wissenschaftskommunikation . . . 94

**9 Vorträge zum Vorbereitungsseminar** **96**

9.1 Fachspezifische Voraussetzungen für Begabtenförderung . . . . . 96

9.2 Begabungsförderung und Schule . . . . . 97

**10 Gästenachmittag** **99**

**11 Pressebericht** **100**

**12 Auszüge aus Abschlussberichten** **101**

**13 Teilnehmende** **105**

# 1 Vorwort

Bereits das Deckblatt dieser Dokumentation liefert den Hinweis auf eine wichtige personelle Veränderung bei der *Hessischen Schülerakademie Oberstufe 2013*: Nach neun erfolgreichen Jahren ist Wolfgang Metzler aus der Akademieleitung ausgeschieden. Seine beständige inhaltliche Mitarbeit und sein persönliches Engagement haben es seinem Nachfolger Peter Gorzolla jedoch ungemein erleichtert, sich erfolgreich in die neue Rolle einzufinden. Und wenn auch die Zusammenarbeit von Cynthia Hog-Angeloni und Peter Gorzolla als neue Partner in der Akademieleitung über alle ohnehin schon positiven Erwartungen hinaus gut und reibungslos verlief, so ist beiden doch klar, welchen Anteil an diesem Gelingen die Unterstützung Wolfgang Metzlers hatte. Wir können ihm daher an dieser Stelle nur unseren tief empfundenen Dank aussprechen für alles, was er für die Hessische Schülerakademie geleistet hat, bis heute leistet und hoffentlich auch noch lange für sie leisten wird.

Erfreulich und ebenfalls erfolgreich gestaltet sich die Kooperation der „neuen“ mit der „anderen“ Akademieleitung, nämlich jener der Mittelstufenakademie. Die Idee, den Austausch durch gegenseitige „Hospitationen“ im Akademiebetrieb zu befördern, hat sich bewährt: Hier konnten von beiden Seiten viele Impulse aufgenommen werden, von deren Umsetzung wir uns für die Zukunft einiges versprechen – oder die schon 2013 Realität werden konnten. Als Beispiel sei nur die schon lange von den SchülerInnen erwünschte Stärkung eines ausgleichenden Sportangebots genannt, die in diesem Jahr, angeregt durch die Erfahrungen mit der Mittelstufe, auch auf der Oberstufenakademie betrieben worden ist. Unser Dank gilt hier Christian Dietz und seiner Gruppe von Studierenden, die mit ihrer Begeisterung die SchülerInnen stets zu bewegen wussten und damit fraglos zum Gelingen der Akademie beigetragen haben.

Eine andere gemeinsame Anstrengung beider Akademien steht unter dem Motto von Chancengleichheit und Bildungsgerechtigkeit, und wir sind sehr glücklich darüber, dass wir durch den persönlichen Einsatz von Prof. Dr. Wolf Aßmus in diesem Jahr den Lions-Club für eine Förderung unseres Sozialfonds gewinnen konnten. Die SchülerInnen aus einkommensschwachen Familien, denen wir dadurch im nächsten Jahr einen Akademiebesuch ermöglichen können, werden es danken; wir danken heute schon Wolf Aßmus und den Lions.

Da sich die Dankbarkeit inzwischen erkennbar zum Leitthema dieses Vorworts entwickelt hat, bleiben wir dabei und danken all jenen Menschen, die 2013 auf vielfältige Weise die Schülerakademie bereichert haben. So durften wir in diesem Jahr erneut zwei Schülerinnen von der Deutschen Schule der Borromäerinnen Kairo auf Burg Fürsteneck begrüßen – wir wollen sie hier stellvertretend für die vielen interessierten und interessanten SchülerInnen nennen, die wir kennenlernen durften. Eine andere Form der Bereicherung boten die interdisziplinären Vorträge, die beim Vorbereitungsseminar oder während der Akademie zu hören waren: Die Erziehungswissenschaftlerin Prof. Dr. Christina Schenz sprach über „Begabungsförderung und Schule“ und machte deutlich, dass Begabtenförderung so früh wie möglich ansetzen und sich durch alle Altersstufen ziehen muss. Dr. Hartwig Bosse, 2012 Kursleiter Mathematik auf der Oberstufenakademie, führte mit einem analytischen Blick auf ScienceSlams zu neuen Wegen der Wissensvermittlung und lieferte dabei viele und heftig diskutierte Anregungen zum Weiterdenken. Prof. Dr. Georg Kleinschmidt berichtete unter dem Titel „Geologie [in] der Antarktis“ über das Forschen unter Extrembedingungen und stieß sowohl mit Vortrag wie mitgebrachter Ausrüstung auf lebhaftes Interesse.

Die Liste ließe sich weiterführen, doch so viel Raum ist leider nicht. Darum sei abschließend nur noch allen Teilnehmenden an der Akademie 2013, unseren Förderern und allen, die zu der vorliegenden Dokumentation beigetragen haben, herzlich gedankt.

Frankfurt am Main, November 2013 – Peter Gorzolla, Cynthia Hog-Angeloni und Birthe Anne Wiegand

# 2 Grußwort

**Grußwort anlässlich der Hessischen Schülerakademie für die Oberstufe 2013**

Seitdem es jährlich eine Hessische Schülerakademie Oberstufe und eine für die Mittelstufe gibt, sind etliche Aufgaben gemeinsam zu lösen. Dazu gehört diejenige, das Konzept von Begabtenförderung durch wissenschaftliche und musisch-kulturelle Bildung ganzheitlich zu entwickeln und zu vertreten. Die Akademieleitungen und die Mitarbeitenden stehen dafür im Kontakt miteinander bzw. wechseln sogar von einer Akademie zur anderen. Auch die Gewinnung neuer Kursleiter ist eine gemeinsame Aufgabe, ebenso wie die Sicherung der jährlichen Zuschüsse für die Akademiehaushalte. Die Einwerbung von Mitteln für Stipendien, damit die Teilnahmemöglichkeit nicht sozial ungerecht wird, gehört ebenfalls dazu.

Für alle diese Aufgaben hat der Trägerverein der Burg Fürsteneck im vergangenen Jahr als Beratungsgremium das Kuratorium Hessische Schülerakademien ins Leben gerufen. Außer dem Unterzeichnenden gehören ihm z. Zt. an: Prof. Dr. Wolf Aßmus, Verona Eisenbraun, MinRat Walter Diehl, Saskia Quené und Günter Schmuck. Die Mitarbeit ist ehrenamtlich. Sie spiegelt institutionelle Bindungen wider, ist aber eine persönliche Berufung für einige Jahre. Die Akademieleitungen und die Direktorin der Burg, Marion Lusar, sind mit beratender Stimme bei den Sitzungen beteiligt.

Ein paar Ergebnisse aus der Arbeit des Kuratoriums in den ersten zwei Jahren seien hier genannt:

1. Bei der Akademie 2014 kann zum ersten Mal ein Kurs in Musik stattfinden.
2. Die Personalmittel der Universität FfM konnten für eine weitere Periode gesichert werden.
3. Verhandlungen über neue Stipendienmittel stehen vor einem vermutlich positiven Abschluss.
4. Die Zuwendungen des Kultusministeriums sowie die inhaltliche und finanzielle Förderung des AfL (jetzt: Landesschulamt) sind uns auch im Jahr 2013 zugute gekommen. Das Renommee der Hessischen Schülerakademien spielte eine deutliche Rolle bei der Ansprache der Kultusministerin während des 60-jährigen Jubiläums der Heimvolkshochschule Burg Fürsteneck.
5. Im Frühjahr 2013 hat – als Gemeinschaftsveranstaltung von Burg Fürsteneck mit der Musischen Gesellschaft – eine einwöchige Tagung zu Konzeptfragen beider Akademien stattgefunden. Ein Protokoll darüber soll in `www.hsaka.de` eingestellt werden.

(1. und 2. beziehen sich speziell auf die Oberstufenakademien.)

Die guten Ergebnisse unserer Akademien und die Arbeit des Kuratoriums bedingen sich gegenseitig. Alle Mitwirkenden der Oberstufenakademie 2013 seien hiermit herzlich gegrüßt. Ihnen und den Mitgliedern des Kuratoriums danke ich für ihre Tätigkeit.

Schmitten-Brombach, im September 2013

Prof. Dr. Wolfgang Metzler,
Vorsitzender des Kuratoriums Hessische Schülerakademien

# 3 Mathematikkurs

**Topologie, die Mathematik stetiger Verwandtschaften**

Flächen, die sich ineinander stetig deformieren lassen, wie z. B. eine Kugel- und eine Würfeloberfläche, heißen *topologisch gleich*. Von einer Torusoberfläche sind beide *topologisch verschieden*.

Topologische Phänomene wurden schon von René Descartes (1596-1650) und Leonard Euler (1707-1783) untersucht. Im 19. Jahrhundert gab Carl Friedrich Gauß (1777-1855) zusätzliche Anregungen. Für andere mathematische Gebiete (Funktionen komplexer Veränderlicher) und Anwendungen in der Physik (z. B.: In welchem Raum leben wir eigentlich?) spielen sie eine wesentliche Rolle. Im ersten Drittel des 20. Jahrhunderts wurde das Studium der Grundlagen unabweisbar, u. a. das eines präzisen topologischen Dimensionsbegriffs. Algebraische Invarianten wurden entdeckt, mit denen man z. B. beweisen kann, dass sich gewisse Knoten nicht ineinander deformieren lassen. Wie sich mit ihrer Hilfe dreidimensionale Räume charakterisieren lassen, betrifft Resultate aus jüngster Zeit.

Anhand zugänglicher Fragen haben wir einen Einblick in dieses wichtige mathematische Gebiet der Topologie gewonnen.

**Kursleitung**

*Dr. Cynthia Hog-Angeloni*, Akademische Rätin für Mathematik an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, nebenberuflich an der Goethe-Universität Frankfurt am Main

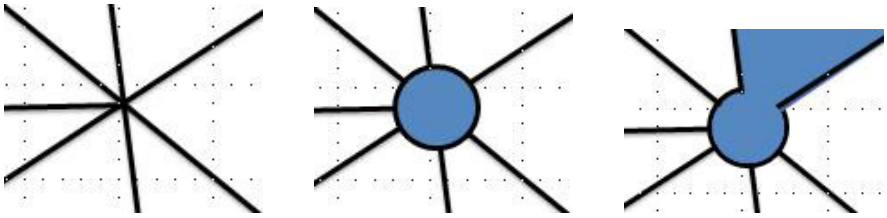
*Dr. Wolfgang Metzler*, Professor für Mathematik an der Goethe-Universität Frankfurt am Main

## 3.1 Färbungen in der Ebene

Lara Mayer
Betreuerin: Veronika Kütt

**Färbbarkeit von ebenen Landkarten**

Eine Landkarte richtig einzufärben heißt, dass zwei Länder mit einer gemeinsamen Grenze nicht dieselbe Farbe haben. Dabei versteht man als Land Elementarflächenstücke, die keine Inseln haben. Zuerst werden wir Karten regulär machen, das heißt, dass in jeder Ecke genau drei Bögen zusammentreffen. Dazu verwandeln wir Ecken mindestens vierten Grades in einen Kreis und entfernen dann die Grenzlinie zwischen diesem und einem der Gebiete. Stößt nun das Gebiet an sich selbst, so können wir diese Kante entfernen und erhalten ein Ringgebiet. Ist der innere und der äußere Teil des Ringes färbbar, so ist die komplette Karte färbbar.



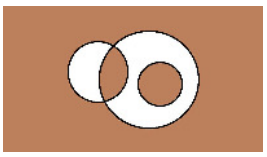
Eine reguläre Karte schließt somit auch aus, dass sich zwei Gebiete an den Ecken berühren, da diese sonst vierten Grades wäre. Es reicht also, nur reguläre Karten zu betrachten, da wir die Anzahl der Gebiete nicht verändern und die Karte noch komplexer machen. Daher kann diese mit gleich vielen

oder mehr Farben gefärbt werden als die ursprüngliche, weswegen für diese die Färbungszahl sicher auch gilt.

Die dualen Graphen (dafür zeichnet man in jedes Gebiet einen Punkt und Gebiete mit gemeinsamen Grenzen werden über eine Strecke miteinander verbunden) regulärer Gebiete bestehen aus Dreiecken.

**Der Zweifarbensatz**

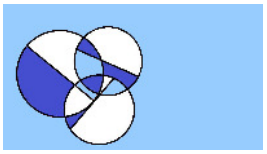
Wenn $n$ Geraden in einer Ebene gezogen werden, kann die dadurch entstehende Karte mit zwei Farben regulär gefärbt werden, indem man immer eine Seite von der neu gezogenen Gerade umfärbt.



Der Zweifarbensatz gilt beispielsweise auch für Kreise, die in der Ebene liegen. Man kann die dadurch entstehende Karte regulär mit zwei Farben färben, indem man entweder das Innere oder das Äußere des neu entstanden Kreises umfärbt.

**Der Dreifarbensatz**

„In einer Ebene liegen $n$ Kreise. In jedem Kreis ist eine Sehne so gezogen, dass Sehnen von zwei verschiedenen Kreisen höchstens einen Punkt gemeinsam haben.“ [1]



Die so entstandene Karte kann mit drei Farben regulär gefärbt werden. Man zieht zuerst den Kreis und färbt vom neuerhaltenen Kreis entweder das Innere oder das Äußere um, anschließend zieht man die dazugehörige Gerade und färbt die Gebiete auf einer ihrer Seiten um. Dabei wird immer Farbe 1 zu Farbe 2, Farbe 2 zu Farbe 3, und Farbe 3 zu Farbe 1 (in diesem Beispiel: Farbe 1: hellgrau; Farbe 2: dunkelgrau; Farbe 3: weiß).

**Der Fünffarbensatz**

Es genügt, den Beweis an der regulären Karte durchzuführen. Jede reguläre Karte enthält mindestens ein Polygon mit weniger als 5 Seiten, da aus $(6-2)F_2 + (6-3)F_3 + (6-4)F_4 + (6-5)F_5 + (6-6)F_6 + (6-7)F_7 + ... = 12$ folgt, dass mindestens ein Glied auf der linken Seite positiv sein muss, wobei $F_n$ $n$-seitige Gebiete sind.

Damit die linke Seite der Gleichung etwas Positives ergibt, muss mindestens eine der Zahlen $F_2$, $F_3$, $F_4$ oder $F_5$ ungleich Null sein. Dies ist eine *unvermeidbare Menge*, das heißt, in jeder regulären Karte gibt es mindestens eine davon als Teilkonfiguration.

$M$ sei eine reguläre Karte mit $n$ Gebieten. In allen Fällen lässt sich eine neue reguläre reduzierte Karte $M'$ mit $(n-1)$ oder $(n-2)$ Gebieten konstruieren. Für $M'$ gilt: Kann sie mit 5 Farben gefärbt werden, so auch $M$. Dasselbe Verfahren wird auf $M'$ angewendet. Es entsteht eine Folge von abgeleiteten Karten $M, M', M'', ....$ $n$ wird stets kleiner, bis eine Karte mit 5 oder weniger Gebieten entsteht. Diese ist sicher mit 5 Farben färbbar. Da man schrittweise zu $M$ zurückkehren kann, ist $M$ selbst mit 5 Farben richtig färbbar. Wir haben die Karte auf Unvermeidbarkeit und Reduzierbarkeit geprüft. Dies ist ein konstruktiver Beweis, eine vollkommen durchführbare Methode in endlich vielen Schritten, um eine zulässige Farbverteilung auf M zu erhalten.

**Das Vierfarbenproblem**

Es gibt in jeder regulären Landkarte mindestens ein Polygon mit höchstens fünf Kanten, das heißt, im dualen Graphen gibt es mindestens eine Ecke, deren Grad höchstens fünf ist, als Teilkonfiguration (siehe Abbildung). (Diese heißt „unvermeidbare Menge“.) Wir suchen ein minimales Gegenbeispiel, das nicht vierfärbbar ist, aus dem aber durch Weglassen irgendeiner Ecke ein vierfärbbarer Graph entsteht. Nun prüfen wir die Reduzierbarkeit der unvermeidbaren Menge, also ob man für alle diese die Vierfärbung zu einer auf dem ganzen Graphen fortsetzen kann.

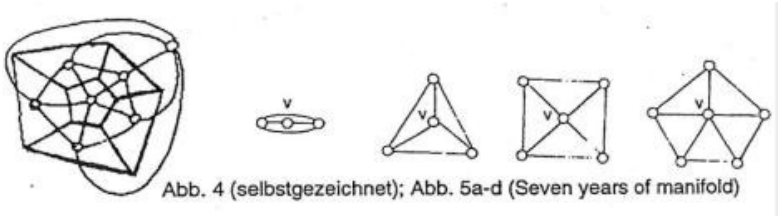


Abb. 4 (selbstgezeichnet); Abb. 5a-d (Seven years of manifold)

In Fall 3 in der Abbildung seien etwa alle vier äußeren Ecken unterschiedlich gefärbt. Wenn es nicht möglich wäre, zwei gegenüberliegende umzufärben, müsste eine „Kempe-Kette“ (nach Alfred B. Kempe (1849-1922), der die Grundlage zum endgültigen Beweis lieferte), also eine Verbindung zwischen diesen, die nur die beiden Farben benutzt, existieren. Nach dem Jordanschen Kurvensatz (siehe Referat 5) können aber nicht gleichzeitig die Ketten für beide „Eckenpaare“ existieren. Schließlich können zwei diagonale Außenecken dieselbe Farbe haben, somit bleibt eine Farbe für die Außenecke übrig. Das funktioniert für die ersten drei Elemente der unvermeidbaren Menge, der 4. Fall ist aber nicht reduzierbar, weswegen Kempes Beweisansatz unvollständig war.

Kenneth Appel (*1932) und Wolfgang Haken (*1928) haben die Idee fortgeführt, aber mit einer viel größeren unvermeidbaren Menge (knapp 2000 Fälle) gearbeitet. Mit Hilfe eines Computers konnte die Reduzierbarkeit 1976 nach 1500h Rechnerzeit gezeigt werden. Dieser Beweis ergab aufgrund des Computereinsatzes intensive Diskussionen und ist noch nicht „von Hand“ geführt worden.

**Quellen**


- Courant, Richard; Robbins, Herbert: *Was ist Mathematik*, 3. Auflage, Springer-Verlag, Heidelberg, 1973
- Dynkin, Evgenij B.; Uspensky, Vladimir A.: *Mathematische Unterhaltungen I – Mehrfarbenprobleme*, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1979 [1]
- Stewart, Ian; Jaworski, John: *Seven years of manifold*, Birkhäuser-Verlag, 1981


## 3.2 Die Eulersche Polyederformel

Simon Bodenschatz
Betreuer: Roman Napierski

Die Eulersche Polyederformel wurde von Euler entdeckt und lautet $E - K + F = 2$, wobei $E$ die Anzahl der Ecken, $K$ die Anzahl der Kanten und $F$ die Anzahl der Flächen der planaren Einbettung des Polyeders bezeichnen.

Sie gilt dabei für alle einfachen Polyeder. Polyeder werden „einfach“ genannt, wenn sich ihre Oberfläche stetig in eine Sphäre transformieren lässt bzw. gleichwertig sie nach Entfernen einer Fläche in die Ebene

eingebettet werden können. Polyeder, die z.B. Tunnel aufweisen, wie in Abbildung 1 gezeigt, sind dabei auf keinen Fall einfach. Ein Anwenden der Polyederformel auf das gezeigte Beispiel führt dies vor Augen: $16 - 32 + 16 \neq 2$

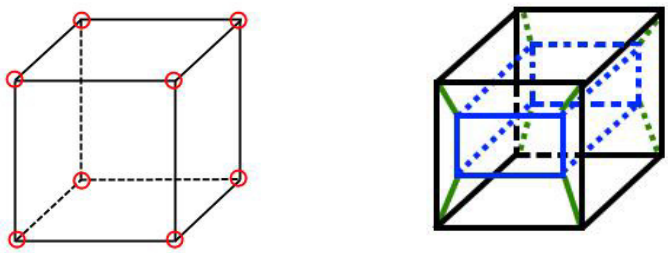


Abbildung 1: links: Beispiel: Würfel: $8 - 12 + 6 = 2$; rechts: nicht-einfaches Polyeder

Der Beweis der Eulerschen Polyederformel erfolgt über die genannte Einbettung eines beliebigen einfachen Polyeders in die Ebene. So erhält man einen planaren Graphen (dessen umgebende Fläche bei $F$ mitgezählt wird).

Wir betrachten nun die Verallgemeinerung $E - K + F = r + 1$ der eulerschen Polyederformel für alle planaren Graphen, auch für jene, die nicht zusammenhängend sind. Hierbei ist $r$ die Anzahl der Zusammenhangskomponenten. Die Eulersche Polyederformel ergibt sich dann als Spezialfall für $r = 1$.

Der Beweis erfolgt nun durch schrittweise Reduktion eines beliebigen planaren Graphen auf eine Ecke und somit eine Fläche. Hierzu betrachten wir zuerst das Entfernen einer Kante aus dem Graphen. Dabei gibt es zwei Fälle:

Entweder die Kante ist Teil eines Kreises im Graphen, oder sie ist es nicht. Wenn die Kante Teil eines Kreises ist, grenzt sie nach dem Jordanschen Kurvensatz (siehe Thema 5) an genau zwei Flächen. Damit verringert das Entfernen dieser Kante die Anzahl der Kanten und die Anzahl der Flächen um eins.

$$E - (K - 1) + (F - 1) = r + 1 \;\Leftrightarrow\; E - K + F = r + 1$$

Ähnlich verhält es sich, wenn die Kante nicht Teil eines Kreises ist. In diesem Fall erhalten wir einen weiteren nicht-zusammenhängenden Teilgraphen, sodass die Anzahl der Kanten sich um eins verringert, sich aber gleichzeitig die Anzahl der Zusammenhangkomponenten um eins erhöht.

$$E - (K - 1) + F = (r + 1) + 1 \;\Leftrightarrow\; E - K + F = r + 1$$

Der zweite Fall, den wir betrachten müssen, ist das Entfernen einer Ecke. Dies kann nur geschehen, wenn an diese Ecke keine Kanten mehr grenzen. In diesem Fall verringert das Entfernen der Ecke die Anzahl der Ecken und die Anzahl der Zusammenhangkomponenten um eins.

$$(E - 1) - K + F = (r - 1) + 1 \;\Leftrightarrow\; E - K + F = r + 1$$

Beide Operationen werden nun so lange durchgeführt, bis der Graph nur noch aus einer Ecke besteht. Da jeder der Schritte umkehrbar ist, die Gültigkeit der Gleichung nicht beeinträchtigt hat und die Gleichung für eine einzige Ecke in der Ebene offensichtlich gilt, muss die Gleichung auch für den ursprünglichen planaren Graphen gegolten haben.

### Reguläre Polyeder

Mit Hilfe der eulerschen Polyederformel lässt sich auch zeigen, dass es nur fünf reguläre Polyeder geben kann (mit der Bedingung, dass jede Fläche des Polyeders mindestens drei Ecken hat). Ein Polyeder

heißt regulär, wenn seine Flächen nur aus gleichseitigen $n$-Ecken mit festem $n$ bestehen und auch an jeder Ecke gleich viele Kanten $r$ abgehen.

Um dies zu beweisen, zählen wir die Kanten über die Flächen ab. Dabei wird jede Fläche von $n$ Kanten umschlossen. Da im regulären Polyeder jede Kante an zwei (nicht notwendigerweise verschiedene) Flächen grenzt, werden diese dabei doppelt gezählt. Damit ergibt sich folgende Gleichung: $nF = 2K$.

Genauso zählen wir die Kanten über die Ecken ab. An jeder Ecke stoßen $r$ Kanten zusammen. Da zu jeder Kante zwei Ecken gehören, werden die Kanten doppelt gezählt. Somit ergibt sich dann folgende Gleichung: $rE = 2K$.

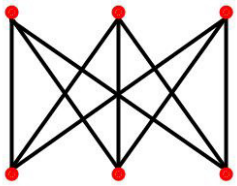
Umformen und Einsetzen in die Polyederformel ergibt $\frac{2K}{r} + \frac{2K}{n} - K = 2$ oder umgeformt $\frac{1}{r} + \frac{1}{n} = \frac{1}{K} + \frac{1}{2}$. Das bedeutet, da $K$ eine natürliche Zahl ist, dass $\frac{1}{r} + \frac{1}{n} - \frac{1}{2}$ auf jeden Fall größer als Null sein muss. Damit können $r$ und $n$ nicht beide größer als 3 sein, denn schon mit $r = 4$ und $n = 4$ ist $\frac{1}{r} + \frac{1}{n} - \frac{1}{2}$ kleiner als $\frac{1}{2}$. Damit reicht es, Fall 1: $r \leq 3$ und Fall 2: $n \leq 3$ zu betrachten.

Außerdem gilt $n \geq 3$ und $r \geq 3$, da wir nur Polygone als Randflächen zulassen, die mindestens drei Kanten haben und daher an jedem Polyedereckpunkt mindestens drei Kanten aufeinandertreffen.

Betrachtet man den Fall $r = 3$, so ergibt sich durch Einsetzen in die Formel $K = \frac{1}{n} - \frac{1}{6}$.

Da $K$ immer noch größer als Null sein muss, kann $n$ nur die Werte 3, 4 und 5 annehmen. Anlog ergibt sich für den Fall $n = 3$, dass $r$ nur die Werte 3, 4 und 5 annehmen kann. Setzt man diese Werte in die eingangs aufgestellten Formeln ein, erhält man die anderen Kennzahlen. Aus diesen ergeben sich dann die auch als platonische Körper bekannten regulären Polyeder.

### Anwendung



Bei dem $K_{3,3}$ handelt es sich um einen vollständigen bipartiten Graphen. (siehe Abbildung) Bipartit nennt man einen Graphen genau dann, wenn sich seine Ecken so in zwei disjunkte Mengen unterteilen lassen, dass sämtlich Kanten des Graphen ausschließlich von der einen in die andere Menge verlaufen.

Behauptung: Der $K_{3,3}$ ist nicht planar. Beweis: Angenommen, der $K_{3,3}$ wäre planar. Dann müsste für ihn die eulersche Polyederformel gelten. Stellt man diese nun nach $F$ frei und setzt die Ecken und Kanten des $K_{3,3}$ ein, erhalten wir für $F$ den Wert 5.

Da der $K_{3,3}$ vollständig bipartit ist und keine Zwei- oder Dreiecke vorkommen, enthält jeder Kreis im Graphen mindestens vier Kanten. Bei $K_{3,3}$ ist ferner jede Kante Teil eines Kreises, daher grenzen an jede Kante genau zwei Flächen. Damit erhalten wir die folgende Ungleichung: $4F \leq 2K$.

Einsetzen ergibt: $20 \leq 18$. Dieser Widerspruch impliziert, dass die Annahme: „Der ist $K_{3,3}$ planar“ falsch war. $\Rightarrow$ Der $K_{3,3}$ ist nicht planar.

Ein ähnlicher Beweis für den $K_5$, also den Graphen mit fünf Ecken, bei dem jedes Eckenpaar durch eine Kante verbunden ist, wurde im Kurs als Aufgabe gestellt.

### Quellen


- Boltjanskij, Vladimir G.; Efremovic, Vadim A.: *Anschauliche Kombinatorische Topologie*, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1986
- Courant, Richard; Robbins, Herbert: *Was ist Mathematik*, 3. Auflage, Springer-Verlag, Heidelberg, 1973
- Haase, Christian: *Diskrete Mathematik*, Vorlesungsskript, Goethe-Universität Frankfurt, 2012

## 3.3 Topologische Invarianten

Paula Kilp
Betreuer: Roman Napierski

In der Topologie ist es uns erlaubt, die Gestalt eines Objektes so stark zu deformieren, dass die meisten klassischen geometrischen Eigenschaften zerstört werden. Ein Beispiel: Eine Kugel hat in der Geometrie einen bestimmten Radius, ein bestimmtes Volumen und eine bestimmte Oberfläche. Bei einer Deformation ist es uns möglich, diese Größen beliebig zu verändern und zu verformen. Die Kanten von Graphen dürfen aber nicht durchtrennt und in Flächen keine Löcher gerissen werden. Die Eigenschaften, welche nach einer solchen Verformung erhalten bleiben, nennt man topologische Invarianten, und eben diese sind die Grundlage für das Studium von topologischen Räumen.

Ein topologischer Raum ist erst einmal eine Punktmenge, in der wir „Umgebungen“ von Punkten bilden können. Darüber können wir wie in der Analysis einen Stetigkeitsbegriff einführen.

### Topologische Verwandtschaft

Zwei topologisch verwandte Körper heißen „homöomorph“. Das bedeutet: Ist es möglich, einen Körper $A$ durch Verformung in einen Körper $B$ zu transformieren, spricht man davon, dass $A$ zu $B$ homöomorph ist: $f(A) = B$. Die zugehörigen Abbildungen $f : A \to B$ sind bijektiv und stetig in beiden Richtungen. Bijektiv bedeutet, dass wir jedem Punkt aus $A$ (Urbild) genau einen Punkt aus $B$ (Bildmenge) zuordnen können und umgekehrt.

### Isotopie

Die Isotopie ist ein Spezialfall des Homöomorphismus, die Abbildung zweier Körper aufeinander zusammen mit einer Abbildung des umgebenden topologischen Raumes. Wir nehmen zwei homöomorphe Figuren $A$ und $B$, welche beide in demselben umgebenden Raum $R$ eingebettet sind. Ist es nun möglich, durch einen Homöomorphismus von $R$ diese beiden Figuren zur Deckung zu bringen (ähnlich einer Kongruenz) so spricht man davon, dass $A$ und $B$ im umgebenden Raum $R$ isotop sind.

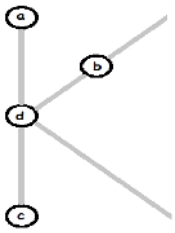
### Topologische Invarianten

(1) Die Anzahl der Löcher: Wir betrachten abgeschlossene topologische Kreisscheiben in der Ebene und in diesen gelegene endlich viele kleinere Kreise, deren Inneres wir entfernen. Dann ist die Anzahl der Löcher des Restes eine topologische Invariante.

(2) Einfacher und mehrfacher Zusammenhang: Wenn jede geschlossene Kurve auf der Figur $X$ stetig auf einen Punkt zusammengezogen werden kann, ohne dass sie $X$ jemals verlässt, so heißt $X$ „einfach zusammenhängend“. Ist dies nicht möglich, zum Beispiel aufgrund eines oder mehrerer Löcher, spricht man von mehrfachem oder $n$-fachem Zusammenhang. Bei Beispiel (1) dient die Anzahl der Löcher als Grundlage, um den mehrfachen Zusammenhang zu präzisieren: Sind $n$ Schnitte notwendig, um den ebenen Bereich einfach zusammenhängend zu machen, indem man die Löcher mit dem Außenrand verbindet, so ist der Bereich $(n+1)$-fach zusammenhängend.

(3) Zerfällungspunkte: Ein Punkt $x$ aus einer Menge $X$ heißt Zerfällungspunkt, wenn beim Entfernen von $x$ die Menge $X$ unzusammenhängend wird. Die Eigenschaft, ein Zerfällungspunkt zu sein oder nicht, ist eine topologische Invariante. Formal: Wenn $x$ Zerfällungspunkt des Objektes $X$ ist und $f : X -> Y$ ein Homöomorphismus, so ist $f(x)$ ein Zerfällungspunkt von $B$.

(4) Index eines Punktes: Neben der Eigenschaft, ein Zerfällungspunkt zu sein oder nicht, hat jeder Punkt eines Graphen auch die Eigenschaft, dass man ihm eine Zahl zuordnen kann, welche seinen „Index“ angibt. Dieser drückt aus, in wie viele Richtungen man sich von dem Punkt aus auf dem Graph bewegen kann.




Beispiel: Bei diesem Graphen haben die Punkte $a$ und $c$ den Index 1, der Punkt $b$ Index 2 und der Punkt $d$ einen Index von 4.

**Quellen**


- Boltjanskij, Vladimir G.; Efremovic, Vadim A.: *Anschauliche Kombinatorische Topologie*, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1986
- Crilly, Tony: *50 Schlüsselideen der Mathematik*, Spektrum Akademischer Verlag, 2009
- `http://de.wikipedia.org/wiki/Axiomensysteme_der_Allgemeinen_Topologie` (13.08.2013)


## 3.4 Der topologische Dimensionsbegriff und Peanokurven

Johannes Mohr
Betreuer: Roman Napierski

### Geschichtlicher Hintergrund und erste Definitionen

Schon ca. 300 Jahre v. Chr. wurden die ersten Definitionen der Dimension in Euklids „Elementen“ niedergeschrieben. Darin definiert er eine 1-dimensionale Figur als etwas, was durch Punkte begrenzt wird. Eine 2-dimensionale Figur ist demnach etwas, was durch Kurven begrenzt wird, während die Begrenzung eines 3-dimensionalen Körpers aus Flächen (2-dimensionalen Figuren) besteht. Eine weiterer Definitionsversuch erfolgte über die Ausdehnungen der Figur. Demnach ist eine Kurve 1-dimensional, weil sich diese nur in eine Richtung ausbreitet, während eine Kugel 3-dimensional ist, da diese sich in drei Richtungen ausbreitet. Beide Ansätze stoßen jedoch schon bei der 4. Dimension an ihre Grenzen.

Erst 1912 plädierte der französische Mathematiker Jules Henri Poincaré (1854-1912) für eine tiefere Analyse und genauere Definition des Dimensionbegriffes. Er legte den Begriff der Trennung von Punkten zugrunde. Diese Idee führte Pawel S. Urysohn (1898-1924) später aus und erreichte folgende induktive Definition der Dimension:

### Die Urysohnsche Definition der Dimension

*Eine endliche Menge von nicht zusammenhängenden Punkten ist nulldimensional. Ist schon definiert, welche Figuren $(n-1)$-dimensional sind, dann werden $n$-dimensionale Figuren als solche definiert, die nicht $(n-1)$-dimensional sind und in denen jeder beliebige Punkt sowie die in seiner Nähe befindlichen Punkte vom restlichen Teil der Figur mit Hilfe einer $(n-1)$-dimensionalen Figur (oder einer Figur mit noch geringerer Dimension) getrennt werden können.*

### Die Peanokurve

Noch vor dem Dimensionsbegriff stellt sich die Aufgabe, zu definieren, was eine Kurve sein soll. Zum Beispiel „Eine Kurve ist eine Länge ohne Breite“, oder „Eine Kurve ist die Spur eines bewegten Punktes“. Die gerichtete Spur eines bewegten Punktes nennt man Weg. Ein Weg ist eine stetige Abbildung (z.B. von $[0,1]$ nach $X$). Lange Zeit wurde letztgenannte Definition für die „richtige“ gehalten, bis mit der Peanokurve (Giuseppe Peano, 1858-1932) ein problematischer Sonderfall entdeckt wurde. Nach unserer Vorstellung sollte eine Kurve nämlich 1-dimensional sein, es gibt aber eine stetige Abbildung des Intervalls $[0,1]$, deren Bild eine Fläche ausfüllt und somit 2-dimensional ist. Die Rede ist von der Peanokurve $f(t)$, welche als Grenzfunktion einer Funktionenfolge definiert ist.

$$f(t) := \lim_{n\to\infty} f_n(t),\ f_n(t) : J \to B \in \mathbb{R}^2,\ J := [0,1]$$

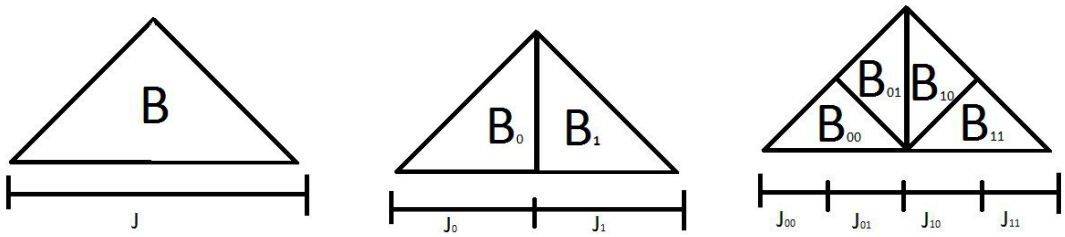
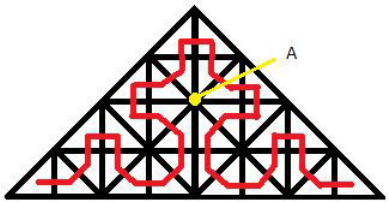



Abbildung 1: links: $n = 0$, mittig: $n = 1$, rechts: $n = 2$

wobei $B$ ein rechtwinkliges, gleichschenkliges Dreieck in $\mathbb{R}^2$ mit der Hypotenusenlänge 1 ist.

Durch $n$-faches Halbieren der Fläche (wie in der Abbildung) entstehen $2^n$ Dreiecke. Entsprechend teilen wir das Intervall $J$ in $2^n$ gleich große Teilintervalle. Jedes Teilintervall wird nun in das entsprechende Teildreieck abgebildet, so dass die Abbildung für jedes $n$ stetig ist (siehe Abbildung unten).




Für $n \to \infty$ schrumpfen die Teilintervalle zu einem Punkt, denn:

$|J_n| = \frac{1}{2}^n$ und $\lim_{n\to\infty} \frac{1}{2}^n = 0$, wobei $J_n$ ein beliebiges Teilintervall von $J$ nach $n$-ter Teilung ist. Dieser Punkt erhält ein eindeutiges Bild, da die $B_n$ im Limes auch nur noch einen Punkt enthalten, weil die Hypotenusenlänge der $B_n$ gegen 0 konvergiert. (Beweis weiter unten.) Dabei ist $B_n$ ein beliebiges Dreieck aus $B$ nach $n$-ter Teilung.

Außerdem existiert für alle $x \in B$ ein $t \in J$, sodass $f(t) = x$, weil für jedes $x \in B$ eine Folge $B_{i1}, B_{i2}, B_{i3}, ..., B_{in}$ existiert, welches sich im Limes auf $x$ „zusammenzieht“ und zu jedem $B_{i1}, B_{i2}, B_{i3}$, ..., $B_{in}$ (und dann auch im Limes) ein $J_{i1}, J_{i2}, J_{i3}, ..., J_{in}$ gehört. Man sagt auch: Die Grenzfunktion ist surjektiv. Anschaulich bedeutet das, dass die Grenzfunktion das Dreieck vollständig ausfüllt, also eine 2-dimensionale Fläche ist.

Nun muss gezeigt werden, dass gleichmäßige Konvergenz vorliegt, denn dann gilt, dass die Grenzfunktion auch stetig ist. Eine gleichmäßige Konvergenz liegt definitionsgemäß vor, wenn
$\lim_{n\to\infty} \sup_{x\in D_f} |f_n(x) - f(x)| = 0$.
Der Ausdruck, über den der Limes zu bilden ist, bezeichnet schlicht den größtmöglichen Abstand von $f_n(x)$ und $f(x)$ innerhalb eines der kleinen Dreiecke nach $n$-facher Teilung. Dies ist im rechtwinkligen Dreieck höchstens die Hypotenusenlänge $d$, also: $\sup_{x\in D_f} |f_n(x) - f(x)| \leq d$

Nun hat das kleine Dreieck, welches entsteht, indem man das Ursprungsdreieck $n$-mal halbiert, die Hypotenusenlänge $\frac{1}{\sqrt{2}}^n$. Es ist also

$$\lim_{n\to\infty} \sup_{x\in D_f} |f_n(x) - f(x)| = \lim_{n\to\infty} \frac{1}{\sqrt{2}}^n = 0$$

$\Rightarrow$ Es liegt gleichmäßige Konvergenz vor und die Grenzfunktion ist stetig.

Überprüfen wir nun die Peanokurve auf Injektivität: Diese würde vorliegen, wenn für alle $s$ und $t$ aus $J$ die Implikation $f(s) = f(t) \Rightarrow s = t$ gelten würde. Gerade haben wir bewiesen, dass die Teildreiecke im Grenzwert zu einem Punkt schrumpfen. Wie man in der Abbildung oben sieht, gibt es Punkte wie den Punkt $A$, die zu mehreren Dreiecken gehören und an denen (am Beispiel der Abbildung) die Funktion $f_5(x)$ mehrfach vorbei läuft. Da im Grenzfall alle Dreiecke genau einen Punkt beinhalten, muss die Grenzfunktion durch manche Bildpunkte mehrmals laufen. Folglich wird mehreren $x$-Werten der gleiche Bildpunkt zugeordnet, womit bewiesen ist, dass die Peanokurve im Gegensatz zu den Abbildungen $f_n$ nicht injektiv ist.

Es gibt also dimensionserhöhende stetige Abbildungen, wenn man nicht auf Bijektivität besteht. Dagegen ist die Dimension für „vernünftige Räume“ (wie z.B. $\mathbb{R}^n$) invariant unter Homöomorphismen. Siehe dazu insbesondere [1], S. 41, oder [2], Kap. 5, §3.3.

**Quellen**


- Boltjanskij, Vladimir G.; Efremovic, Vadim A.: *Anschauliche Kombinatorische Topologie*, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1986 [1]
- Courant, Richard; Robbins, Herbert: *Was ist Mathematik*, 3. Auflage, Springer-Verlag, Heidelberg, 1973 [2]
- von Mangoldt, Hans; Knopp, Konrad: *Höhere Mathematik I/ IV*, Hirzel-Verlag, Stuttgart, 1948
- `http://de.wikipedia.org/wiki/Gleichm%C3%A4%C3%9Fige_Konvergenz` (13.08.2013)
- `http://de.wikipedia.org/wiki/Henri_Poincar%C3%A9` (13.08.2013)
- `http://de.wikipedia.org/wiki/Henri_L%C3%A9on_Lebesgue` (13.08.2013)

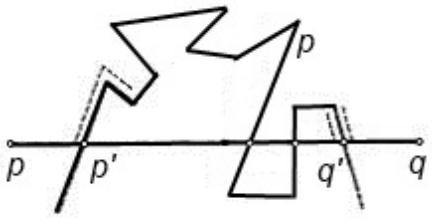

## 3.5 Der Jordansche Kurvensatz und der Satz von Schoenflies

Davut-David Basköy
Betreuerin: Jana Schreiner

**Der Jordansche Kurvensatz**

Dieser von Camille Jordan (1838-1922) formulierte Satz sagt, dass eine geschlossene Kurve ohne Doppelpunkte die Ebene in zwei unterschiedliche Gebiete unterteilt, nämlich $A$ (das Äußere der Kurve) und $B$ (das Innere der Kurve). Zwei Punkte der gleichen Klasse können dabei verbunden werden, ohne $P$ zu schneiden, während die Verbindungslinie zweier Punkte unterschiedlicher Klassen $P$ schneiden muss.

**Beweis für endliche Polygone**



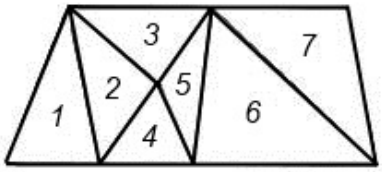

Wählt man einen beliebigen Punkt $p$ in der Ebene und einen Strahl an $p$, der nicht parallel zu einer der Seiten von $P$ ist und keine der Ecken von $P$ schneidet, schneidet dieser $P$ in geradzahlig oder ungeradzahlig vielen Punkten. Dies bestimmt, welche Parität der Punkt hat; diese hängt nicht von der Richtung des Strahles ab. Um den Satz zu beweisen, zeigt man, dass man zwei beliebige Punkte $p$ und $q$ derselben Parität durch einen Streckenzug, der $P$ nicht schneidet, verbinden kann. Kann man sie nicht direkt durch eine Gerade verbinden, ohne $P$ zu schneiden, so bildet man einen Polygonzug, der entlang $P$ verläuft (siehe Abbildung). Dabei sind zwei Fälle zu betrachten. Zunächst markieren wir zwei Punkte $r$ und $s$ mit unterschiedlicher Parität, die in unmittelbarer Nähe zu $q'$ liegen. $q'$ ist hierbei der letzte Schnittpunkt vor $q$ des Strahles mit $P$. Kommt der Polygonzug rechts

von $q'$ bei $s$ an, so kann man $p$ und $q$ problemlos miteinander verbinden. Kommt der Polygonzug allerdings links von $q'$ bei $r$ an, so wechselt die Parität, wenn man $r$ und $s$ miteinander verbindet. Daraus folgt, dass $p$ und $q$ unterschiedliche Paritäten hätten, im Widerspruch zur Voraussetzung.

Somit wissen wir, dass man $p$ und $q$ immer miteinander verbinden kann, ohne das Polygon zu schneiden. Also zerlegt ein geschlossener Polygonzug die Ebene in zwei Gebiete.

**Der Satz von Schoenflies**

Der Satz von Schoenflies besagt, dass es zu zwei gegebenen geschlossenen Kurven $J$ und $J'$ in der Ebene einen Homöomorphismus $f : \mathbb{R}^2 \leftrightarrow \mathbb{R}^2$ gibt, durch den $J$ auf $J'$ abgebildet wird, also $f(J) = J'$. Dabei wird Inneres auf Inneres und Äußeres auf Äußeres abgebildet.
Der grundlegende Unterschied zum Jordanschen Kurvensatz liegt also darin, dass beim Satz von Schoenflies die Kurve *mitsamt der Ebene* abgebildet wird.

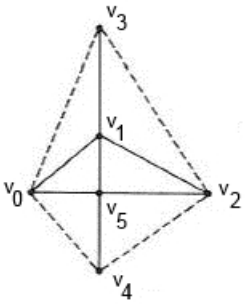



**Beweis im polygonalen Fall**

1. Schritt: Ein beliebiger Polygonzug $J$ soll auf den Rand eines Dreiecks reduziert werden. Das heißt, wir suchen einen Homöomorphismus $f : \mathbb{R}^2 \leftrightarrow \mathbb{R}^2, J \leftrightarrow \partial\sigma$, wobei $\sigma$ ein Dreieck ist und $\partial\sigma$ sein Rand. Hierfür trianguliert man das Polygon, das durch $J$ begrenzt wird, und entfernt freie Randdreiecke durch Abbildungen, die den Polygonzug, sein Inneres und sein Äußeres erhalten. Frei sind die Dreiecke, die genau eine bzw. zwei Kanten mit $J$ gemeinsam haben. Im Bild sieht man, dass nur die Dreiecke 1, 3, 4 und 7 frei sind, während etwa Dreieck 6 nicht frei ist, da es neben der Kante zusätzlich eine Ecke mit $J$ gemeinsam hat. Beim Entfernen dieses Dreiecks wäre die Randlinie nicht mehr einfach geschlossen und somit muss man beweisen, dass es immer ein anderes (freies) Randdreieck gibt, das entfernt werden kann.

2. Schritt: Mit vollständiger Induktion kann bewiesen werden, dass es sogar immer zwei freie Randdreiecke gibt. Wir finden also jederzeit ein freies Randdreieck, das wir entfernen können.

3. Schritt: Man reduziert das Polygon unter Mitnahme des umgebenden $\mathbb{R}^2$ folgendermaßen: Das Dreieck $v_0v_1v_2$ in der Abbildung sei frei und habe die Kante $v_0v_2$ mit $J$ gemeinsam. Man verschiebe die Punkte dieser Kante parallel zur Geraden $v_3v_4$ auf die Kanten $v_0v_1$ und $v_1v_2$ (also so, dass $v_5$ auf $v_1$ abgebildet wird) und setze diese Abbildung linear auf den Rest des Dreiecks $v_0v_1v_2$ fort. Dadurch wird das freie Randdreieck „entfernt“, und der Polygonzug bleibt genauso erhalten wie sein Inneres und Äußeres. Dieses Verfahren lässt sich auf andere Randdreieck analog anwenden. Entfernen wir nach und nach alle Randdreiecke, erhalten wir am Ende ein Polygon, das nur noch aus einem einzigen Dreieck besteht.



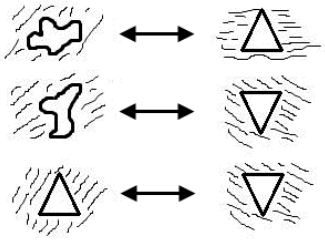

4. Schritt: Nachdem wir das Polygon auf ein einziges Dreieck zurückgeführt haben, stellen wir fest, dass man im $\mathbb{R}^2$ jedes Dreieck $\sigma$ auf ein beliebiges anderes Dreieck $\sigma'$ abbilden kann, sogar durch eine lineare Abbildung, die wiederum das Dreieck mit seinem Inneren und Äußeres erhält, also $g : \mathbb{R}^2 \leftrightarrow \mathbb{R}^2, \sigma \leftrightarrow \sigma'$.

5. Schritt: Nun lassen sich drei Abbildungen definieren:

$f_1 : \mathbb{R}^2 \leftrightarrow \mathbb{R}^2, J \leftrightarrow \partial\sigma$

$f_2 : \mathbb{R}^2 \leftrightarrow \mathbb{R}^2, J' \leftrightarrow \partial\sigma'$

$f_3 : \mathbb{R}^2 \leftrightarrow \mathbb{R}^2, \sigma \leftrightarrow \partial\sigma'$



6. Schritt: Die zusammengesetzte Abbildung $h := f_2^{-1} f_3 f_1$ bildet nun einen Polygonzug $J$ auf ein Dreieck $\sigma$ ab, dieses auf ein anderes Dreieck $\sigma'$ (dieses hängt von $J'$ ab), und $\sigma'$ auf $J'$. Bei jeder der Einzelabbildungen bleiben der Polygonzug, sein Inneres und sein Äußeres erhalten, also bei Anwenden der Gesamtabbildung auf $J$. Wir haben also einen Homöomorphismus $h : \mathbb{R}^2 \leftrightarrow \mathbb{R}^2, f(J) = J'$ gefunden.

Damit ist der polygonale Fall des Satzes von Schoenflies bewiesen.

**Quellen**


- Courant, Richard; Robbins, Herbert: *Was ist Mathematik*, 3. Auflage, Springer-Verlag, Heidelberg, 1973
- Moise, Edwin E.: *Geometric Topology in Dimensions 2 and 3*, Springer-Verlag, 1977


## 3.6 Klassifikation von Flächen

Antonius Nies
Betreuerin: Jana Schreiner

### Die Orientierbarkeit einer Fläche

Eine erste Einteilung von Flächen ist die in *orientierbare* und *nicht orientierbare* Flächen. Erstere haben im dreidimensionalen Raum zwei Seiten, eine Innen- und eine Außenseite. Hierzu gehören die meisten Flächen, die man kennt, wie z. B. Kugeloberfläche/Sphäre/reguläre Polyeder, Torus und Brezel. Nicht orientierbare Flächen liegen – wenn überhaupt – einseitig im $\mathbb{R}^3$, sie haben also kein Innen und kein Außen. Ein Beispiel hierfür ist das Möbiusband. Wir wollen zusammenhängende, abgeschlossene, beschränkte und randlose Flächen klassifizieren.

Abbildung 1: links: Möbiusband [1], rechts: Kleinsche Flasche [2]

### Das Geschlecht einer Fläche

Eine weitere wichtige Invariante von Flächen ist das Geschlecht $p$. Es ist definiert als die Anzahl der geschlossenen Kurven auf der Fläche, entlang derer geschnitten werden kann, ohne dass sie in zwei Teile zerfällt. Eine Kugel hat z.B. das Geschlecht 0, ein Torus 1 und eine Kleinsche Flasche 2.

### Die Eulersche Charakteristik einer Fläche

Direkt abhängig von diesen beiden Invarianten ist die Eulersche Charakteristik $\chi$, sie ist durch $\chi = E - K + F$ definiert, wobei $E$ die Anzahl der Ecken, $K$ die der Kanten und $F$ die der Flächen angibt. Wir berechnen sie erst einmal für die Standardtypen *Kugel mit p Henkeln bzw. Kreuzhauben* als $2 - 2p$ (orientierbare Flächen) oder $2 - p$ (nicht orientierbare Flächen) wie folgt:

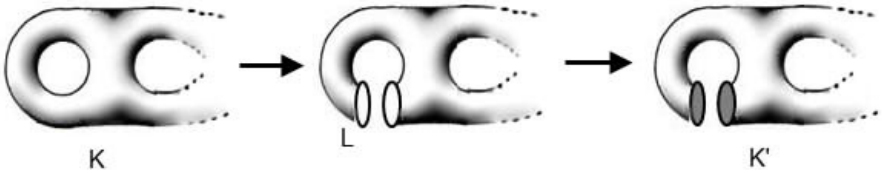
Zu Beginn denken wir uns eine Sphäre mit $p$ (in der Abbildung $p = 2$) Henkeln. Dann trennen wir alle Henkel an je einer Seite ab. Dadurch erhalten wir je $p$ zusätzliche Ecken und Kanten, was sich in der Eulercharakteristik gegenseitig aufhebt. Am Ende drücken wir die Henkel in die Kugel hinein, was $E$, $K$ und $F$ nicht verändert, sodass eine Kugel entsteht, aus der $2p$ Scheiben herausgeschnitten sind. Von der Kugel wissen wir nach Referat 2, dass $\chi = 2$ ist. Wenn man die $2p$ Scheiben abzieht, erhält man $\chi = 2 - 2p$, was ebenso für die Kugel mit $p$ Henkeln gilt, da wir die Eulersche Charakteristik nicht verändert haben. Analog lässt sich $\chi$ auch für einseitige Flächen ausrechnen. Hier entsteht nur ein Loch pro abgeschnittener Kreuzhaube, sodass wir insgesamt $\chi = 2 - p$ für die Sphäre mit $p$ Kreuzhauben erhalten.

**Der Klassifikationssatz**

Dieser Satz besagt, dass jede geschlossene Fläche $K$ homöomorph zu einer Kugel mit aufgesetzten Henkeln oder Möbiusbändern ist. So funktioniert der Beweis:

$K$, $M$ und $K'$ seien die unten lokal skizzierten Flächen, $L$ eine einfache Kurve, die $K$ nicht zerlegt, und $CL$ eine Scheibe mit Randlinie $L$. Wird $L$ durch Verdickung, wie in der Abbildung, zu einem Zylinder, ergibt sich für $\chi(K')$:

$$\chi(K') = \chi(M) + 2 \cdot \chi(CL) = \chi(K) - 2 \cdot \chi(L) + 2 \cdot 1 = \chi(K) + 2$$




Wird $L$ durch Verdickung zu einem Möbiusband, ergibt sich für $\chi(K')$:

$$\chi(K') = \chi(K) + \chi(CL) - \chi(L) = \chi(K) + 1$$

Zusammengefasst gilt also in jedem Fall $\chi(K') > \chi(K)$.

Das bedeutet, dass man so lange, wie nicht-zerlegende Kurven existieren, Henkel oder Möbiusbänder entfernen kann und dabei die Eulercharakteristik vergrößert. Erreicht man schließlich den maximalen Wert 2 und somit die Sphäre (siehe dazu unten), kann man auf diese umgekehrt Henkel oder Möbiusbänder aufkleben, bis wir die Ausgangsfläche zurückgewinnen, die somit homöomorph zu $K$ ist.

Nun müssen wir noch zeigen, dass 2 die größtmögliche Eulercharakteristik ist und für diesen Wert eine Sphäre herauskommt. Dazu benutzen wir etwas Graphentheorie.

Wir triangulieren die beliebige gegebene Fläche $K$ (was wir nach Tibor Rado (1895-1965) können) und wählen einen aufspannenden Baum $B$ des Graphen der Triangulierung. Nun erzeugen wir den dualen Graphen $G$ der Triangulierung, wobei wir nur die Ecken verbinden, zwischen denen keine Spannbaumkante liegt. Wenn wir $B$ und $G$ beide verdicken, ist ihre Randlinie identisch. Damit ist auch $G$ zusammenhängend, aber nicht unbedingt ein Baum, da die Fläche Henkel haben kann. Im Falle, dass der Graph $G$ ebenfalls ein Baum ist, erhalten wir die Vereinigung zweier Scheiben längs ihres Randes, also eine Sphäre (mit Euler-Charakteristik 2). In diesem Fall hat der duale Graph seine

maximale Eulercharakteristik, da die Eulercharakteristik eines Graphen durch Hinzufügen von Kanten nur verkleinert wird. Daraus folgt $\chi(K) = \chi(B) \cup \chi(G) \leq 2$.

Ist er kein Baum, enthält er eine geschlossene nicht-zerlegende Kurve und man kann die Eulercharakteristik der Fläche vergrößern, indem man $L$ wie oben beschrieben zuklebt. Im Kurs haben wir gezeigt, dass jeder Henkel in zwei Möbiusbänder verwandelt werden kann, sofern ein Möbiusband in der Fläche vorhanden ist (siehe dazu auch [3]).

Somit ist der Klassifikationssatz bewiesen.

**Quellen**


- Armstrong, Mark A.: *Basic Topology*, Springer-Verlag, 1979 [3]
- Courant, Richard; Robbins, Herbert: *Was ist Mathematik*, 3. Auflage, Springer-Verlag, Heidelberg, 1973
- `http://www3.htl-hl.ac.at/homepage/bok/dt/mathe/mstart.htm` (13.08.2013) [1]
- `http://www.math.uni-bielefeld.de/~sek/top/leit/beispiel/kreuzhau.htm` (13.08.2013) [2]


## 3.7 Färbungen von Landkarten auf Flächen

Katharina Reiß
Betreuer: Veronika Kütt

Im Folgenden beschäftigen wir uns damit, wie viele Farben man benötigt, um eine Landkarte auf einer zusammenhängenden geschlossenen Fläche $Q$ so zu färben, dass keine Nachbarländer dieselbe Farbe erhalten (siehe Abbildung 1). Dabei sollen die Länder jeweils zusammenhängend sein, also insbesondere keine „Kolonien“ existieren.

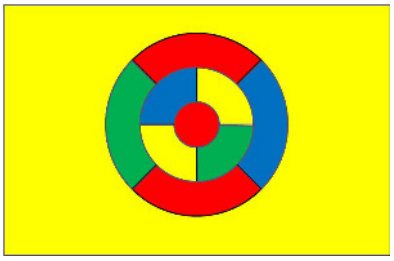


Abbildung 1: Eine gefärbte Landkarte

Für diese Frage hat Percy J. Heawood (1862-1955) folgende Formel aufgestellt, durch die die Anzahl der benötigten Farben abgeschätzt werden kann; sie gilt für alle solchen Flächen, orientierbare wie nicht-orientierbare, wobei $\lfloor x \rfloor$ die größte ganze Zahl $\leq x$ bezeichnet.

$$col(Q) \leq \left\lfloor \frac{7 + \sqrt{49 - 24\chi(Q)}}{2} \right\rfloor$$

$col(Q)$ steht für die Chromatische Zahl der Fläche $Q$. Diese gibt die Anzahl der höchstens benötigten Farben an, die man zum Färben einer beliebigen Karte auf $Q$ benötigt. $\chi(Q)$ wurde als *Eulersche Charakteristik* schon im Referat 6, „Klassifikation von Flächen“, eingeführt. Beispielsweise ergibt sich aus der Formel für die Chromatische Zahl der Sphäre $S^2$ die Abschätzung $col(S^2) \leq 4$, für die des Torus $col(T) \leq 7$ und für die der projektiven Ebene $col(N_1) \leq 6$.

Wir betrachten nun eine Landkarte auf der Fläche $Q$ mit einer Färbung der Länder. Für diese Färbung erstellen wir den *dualen Graphen*, dessen Ecken die Farbe des entsprechenden Landes erhalten.

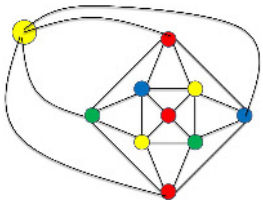


Abbildung 2: Der Graph der Fläche aus Abbildung 1

Die Anzahl der benötigten Farben zur Färbung dieses Graphen entspricht derjenigen der Landkarte. Nun wird dieser Graph vereinfacht:
Wir entfernen zunächst einen beliebigen Eckpunkt aus dem Graphen $G$. Bei dem so erhaltenen Graphen $G'$ überprüfen wir, ob er mit weniger als $c$ Farben gefärbt werden kann. Falls nicht, also wenn er weiterhin die gleiche Chromatische Zahl hat, kann man $G'$ statt $G$ weiter untersuchen.

Diese Vereinfachung kann man so lange fortführen, bis man den *kritischen Graphen* $G^*$ erhält, aus dem man keinen weiteren Eckpunkt entfernen kann, ohne dass sich die Chromatische Zahl verkleinert. $G^*$ ist ein Teilgraph des ursprünglichen Graphen $G$ (siehe Abbildung 3).

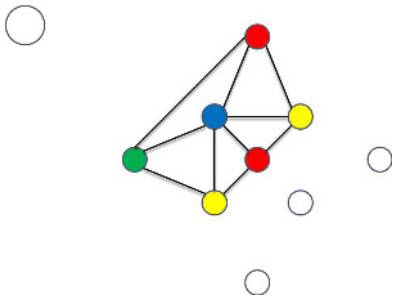


Abbildung 3: Der kritische Graph $G^*$

Da G* auf der Fläche liegt, gilt

1. $E - K + F \geq x(Q)$

Nun behaupten wir: In jedem Eckpunkt von $G^*$ enden nicht weniger als $c-1$ Kanten. (Es können jedoch auch mehr als $c-1$ Kanten in einem Punkt enden.) Angenommen, $G^*$ hätte einen Eckpunkt, in dem weniger als $c-1$ Kanten enden. Wenn wir diesen Eckpunkt entfernen, brauchen wir nur noch $c-1$ Farben, um den Graphen zu färben. Doch wenn wir diesen Eckpunkt wieder dazu nehmen, ist noch eine Farbe von den $c-1$ Farben übrig, mit der dieser Eckpunkt gefärbt werden kann. So brauchen wir für $G^*$ nur noch $c-1$ Farben, was der Wahl von $G^*$ widerspricht.

Deshalb können wir folgende Gleichung aufstellen:

2. $(c-1) \cdot E \leq 2K$

Außerdem sind die Flächen von $G^*$ von mindestens drei Seiten begrenzt, sonst müsste es entweder (für ein Zweieck) zwei Verbindungen zwischen zwei Punkten geben oder (für ein Eineck) eine Verbindung von einem Punkt zu demselben zurück. Solche Verbindungen treten jedoch in dualen Graphen nicht auf (Abb.4). Daher gilt:

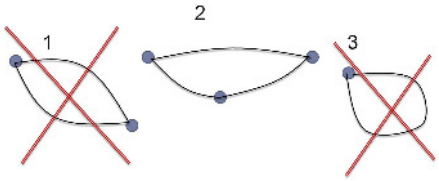



Abbildung 4: Ausschnitte von $G^*$

3. $3F \leq 2K$

Diese drei Ungleichungen vereinfachen wir nun.

Die 3. Gleichung kann man in $\frac{2}{3}K - F \geq 0$ umformen und dann in 1. $F$ ersetzen. So erhält man durch Umformen schließlich $2K \leq 6E - 6\chi(Q)$. Nun schätzen wir mit Hilfe der zweiten Gleichung $2K$ ab, so dass wir die Ungleichung $(c-1)E \leq 2K \leq 6E - 6\chi(Q)$ erhalten bzw.

4. $c - 1 \leq 6 - \frac{6\chi(Q)}{E}$

Für den letzten Schritt des Beweises der Ungleichung von Heawood betrachten wir zunächst die Sonderfälle der Kugeloberfläche $P_0$ und der projektiven Ebene $N_1$, welche die einzigen Flächen mit positiver Eulerscher Charakteristik sind. Für die Kugeloberfläche besagt die Ungleichung $col(S^2) \leq 4$, das ist der Vierfarbensatz, siehe Referat 1. Für die Fläche $N_1$ verlangt die Ungleichung von Heawood $col(N_1) \leq 6$. Aufgrund von Gleichung 4 gilt für $N_1$: $c - 1 \leq 6 - \frac{6}{E}$. Da $c$ eine natürliche Zahl sein muss, folgt $c - 1 \leq 5$. Somit gilt die Formel von Heawood auch für $N_1$.

Für alle anderen Flächen nehmen wir nun Ungleichung 4 und vereinfachen sie weiter mit Hilfe der offensichtlichen Bedingung $E \geq c$: $E$ muss größer oder gleich der Chromatischen Zahl sein, sonst hätten wir weniger Länder als Farben zum Färben. Da wir nur noch die Flächen mit Euler-Charakteristik $\chi(Q) \leq 0$ untersuchen, gilt $\frac{-6\chi(Q)}{E} \leq \frac{6\chi(Q)}{c}$. So können wir in 4. $E$ einfach durch $c$ ersetzen und erhalten durch Umformung eine quadratische Ungleichung in Normalform:

5. $c^2 - c + 6\chi(Q) \leq 0$

Durch das „$\leq 0$“ ist klar, dass $c$ im Bereich zwischen den beiden Nullstellen der Funktion liegen muss. Da wir nur eine Ungleichung aufstellen wollen, sagen wir, dass $c$ nicht größer sein darf als die größere der beiden Nullstellen. Dadurch erhalten wir die gewünschte Abschätzung:

$$c \leq \left\lfloor \frac{7 + \sqrt{49 - 24\chi(Q)}}{2} \right\rfloor$$

und haben somit die Formel von Heawood für alle geschlossenen Flächen bewiesen.

Inzwischen ist bewiesen worden, dass in der Ungleichung von Heawood – ausgenommen bei der Kleinschen Flasche – in Wirklichkeit Gleichheit gilt.

**Quellen**


- Boltjanskij, Vladimir G.; Efremovic, Vadim A.: *Anschauliche Kombinatorische Topologie*, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1986
- Courant, Richard; Robbins, Herbert: *Was ist Mathematik*, 3. Auflage, Springer-Verlag, Heidelberg, 1973
- Tietze, Heinrich: *Gelöste und ungelöste Probleme der Mathematik aus alter und neuer Zeit*, 7. Auflage, Beck Verlag, München, 1980
- Dokumentation Deutsche Schülerakademie 2000, Anweiler, Verein Bildung und Begabung


## 3.8 Die Fundamentalgruppe

Tobias Blum
Betreuerin: Birthe Anne Wiegand

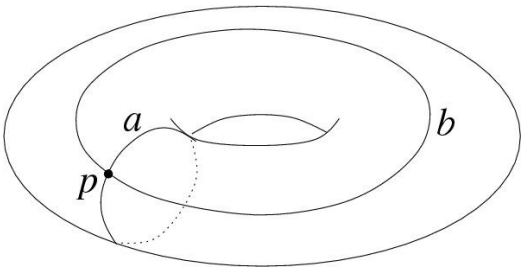
Im Folgenden wollen wir uns mit einer wichtigen topologischen Invariante beschäftigen. Hierfür müssen wir zuerst klären, was eine Gruppe ist. Danach lernen wir die Fundamentalgruppe eines topologischen Raumes kennen und abschließend werden wir noch sehen, wie man umgekehrt zu einer beliebigen Gruppe einen topologischen Raum bestimmen kann, der diese Gruppe als Fundamentalgruppe hat.

Eine Gruppe ist eine Menge von Elementen mit einer auf ihr definierten Verknüpfung $*$ zwischen je zwei Elementen. Diese muss vier Kriterien erfüllen: Die Verknüpfung muss 1. abgeschlossen sein, die Verknüpfung von zwei Elementen muss also wieder ein Element der Gruppe sein, sie muss 2. assoziativ sein, also $a * (b * c) = (a * b) * c$ für alle $a, b, c$. Es muss 3. ein neutrales Element $e$ geben, sodass für jedes Element $a$ der Gruppe $a * e = e * a = a$ gilt. Schließlich muss es 4. zu jedem Element a der Gruppe ein inverses Element $a^{-1}$ geben, für welches $a * a^{-1} = a^{-1} * a = e$ gilt. Falls die Gruppe außerdem kommutativ ist, also $a * b = b * a$ gilt für alle $a$ und $b$, redet man von einer abelschen Gruppe.

Um die Fundamentalgruppe $\pi_1(X, x_0)$ einer Fläche oder eines Raumes zu bestimmen, betrachtet man alle orientierten geschlossenen Kurven, die im Basispunkt $x_0 \in X$ beginnen und enden. Man fasst die Kurven in Homotopieklassen zusammen: Zwei Kurven heißen „homotop relativ $x_0$“ und gehören somit der gleichen Klasse an, wenn man sie stetig ineinander überführen kann. Dabei muss jeder Zwischenschritt ebenfalls eine geschlossene Kurve sein, die in $x_0$ beginnt und endet. Als Verknüpfung definieren wir das „nacheinander Durchlaufen“ von zwei Kurven. Die Menge aller Klassen mit dieser Verknüpfung nennen wir die Fundamentalgruppe. Zuerst muss geprüft werden, ob die Fundamentalgruppe die Kriterien einer Gruppe erfüllt. Sie ist abgeschlossen, da das nacheinander Durchlaufen zweier geschlossener Kurven wieder eine geschlossene Kurve ist. Assoziativität ergibt sich unmittelbar durch Umparametrisieren der Homotopie-Abbildung. Das neutrale Element der Gruppe ist die Klasse der nullhomotopen Wege, also derer, die sich auf den Basispunkt kontrahieren lassen. Man erhält zu jedem Element $a$ das inverse Element, indem man $a$ in umgekehrter Richtung durchläuft. Etwa am Beispiel der zweifach gelochten Ebene erkennt man, dass die Fundamentalgruppe nicht abelsch sein muss. Wir haben uns außerdem mit der Abstraktion vom Basispunkt beschäftigt und festgestellt, dass die Fundamentalgruppe bis auf Isomorphie unabhängig von der Wahl des Basispunktes ist, sofern der Raum wegzusammenhängend ist.

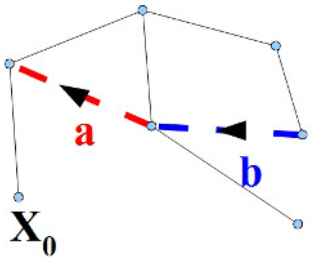
Die Fundamentalgruppe ist eine topologische Invariante. Das heißt, dass homöomorphe Räume die gleiche Fundamentalgruppe besitzen. Deshalb können Räume mit verschiedenen Fundamentalgruppen nicht homöomorph sein – was aber nicht bedeutet, dass Räume mit gleicher Fundamentalgruppe homöomorph sein müssen.

Fundamentalgruppe der Kreislinie: Die Windungszahl $n \in \mathbb{Z}$ einer Kurve auf $S^1$ beschreibt die Anzahl der Umläufe um den Kreis. Je nachdem, ob sie in mathematisch positiver oder negativer Richtung läuft, erhält sie ein positives oder negatives Vorzeichen. Wählt man den Erzeuger der Fundamentalgruppe so, dass er die Windungszahl 1 erhält (einzige Alternative wäre $-1$), so ergibt sich eine Isomorphie von $\pi_1(S^1)$ und $\mathbb{Z}$, siehe dazu [1].




Nun wollen wir die Fundamentalgruppe des Torus bestimmen. Wir stellen fest, dass die Kurven $a$ und $b$ (siehe Abbildung) die gesamte Gruppe erzeugen: Jede beliebige Kurve auf dem Torus ist homotop zu einer Kombination aus $a$, $b$ und deren Inversen. Als nächstes wollen wir prüfen, ob die Fundamentalgruppe des Torus abelsch ist. Hierzu müssen wir zeigen, dass der Kommutator $a * b * a^{-1} * b^{-1}$ nullhomotop ist. Im Falle des Torus ist es möglich, dies sehr anschaulich zu zeigen. Als erstes schneiden wir den Torus entlang $a$ auf und deformieren das Ergebnis so zu einem Zylinder. Diesen schneiden wir erneut auf, diesmal an $b$. Wir erhalten ein Rechteck, dessen Rand durch den Weg $aba^{-1}b^{-1}$ gegeben ist, den gewünschten Kommutator. Er lässt sich also über die Rechtecksfläche zu einem Punkt kontrahieren. Also gilt $a * ba^{-1} * b^{-1} = 1$ und somit $a * b = b * a$. Außerdem kommutiert jede Erzeugende mit dem Inversen der anderen. Wir können also alle Kombinationen aus $a$, $b$, $a^{-1}$ und $b^{-1}$ durch paarweises Vertauschen in die Form $a_n b_m$ bringen mit $n$, $m \in \mathbb{Z}$. Die Fundamentalgruppe ist also abelsch und hat zwei Erzeuger. Deshalb ist $\pi_1(T) = Z^2$.

Abschließend betrachten wir noch die Fundamentalgruppen von Graphen, da man über diese sehr anschaulich Visualisierungen von beliebigen Gruppen erhält. Wir wählen einen Basispunkt $x_0$ und zeichnen einen aufspannenden Baum des Graphen ein. Die Kanten, die Teil des Graphen, aber nicht Teil des Baumes sind (dick hervorgehoben), orientieren und benennen wir – sie stehen für die Erzeuger der Fundamentalgruppe. Da ein Baum keine Kreise enthält, ist jeder Weg, der nur auf Kanten des Baumes verläuft, nullhomotop. Ein Weg, der genau eine erzeugende Kante benutzt, ist nicht trivial und außerdem eindeutig bis auf Homotopie, da es auf einem Baum zwischen zwei Knotenpunkten nur einen eindeutigen reduzierten Weg gibt (ohne Stacheln).




Wir erhalten also die Fundamentalgruppe eines Graphen mit $n$ nichttrivialen Kanten als sogenannte *freie Gruppe* mit $n$ Erzeugenden und umgekehrt. Den Beweis dazu haben wir nur in intuitiver Weise geführt, exakt würde er die Methode der simplizialen Approximation benötigen. In den Graphen kann man dazu noch Flächen entlang von Kantenwegen einkleben, um über diese dann den entsprechenden Kantenweg zusammenziehen zu können. Sie äußern sich in einer *Präsentation der Gruppe* als Bestimmungsgleichungen, sogenannte *definierende Relationen*, die man üblicherweise von den Erzeugern durch einen senkrechten Strich trennt, wie etwa im obigen Beispiel für den Torus: $\pi_1(T) = \langle a, b \mid aba^{-1}b^{-1} = 1 \rangle$. Aus diesem Einkleben ergeben sich topologisch nur die Folgen, die auch die Algebra liefert.

**Quellen**


- Boltjanskij, Vladimir G.; Efremovic, Vadim A.: *Anschauliche Kombinatorische Topologie*, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1986 [1]

## 3.9 Anwendungen der Fundamentalgruppe

Kai-Lars Ritzke
Betreuerin: Birthe Anne Wiegand

Die Fundamentalgruppe, die wir im vorgehenden Referat als topologische Invariante kennengelernt haben, findet ihre Anwendung zum Beispiel beim Beweis von Existenzsätzen, also dem mathematischen Nachweis, dass eine gesuchte Lösung unter gegebenen Umständen definitiv existiert – meist jedoch, ohne dem Suchenden eine „Anleitung“ zu geben, wie die gesuchte Lösung zu finden ist. Ebenfalls im vorgehenden Referat wurde die Isomorphie von $\pi_1(S^1)$ und $\mathbb{Z}$ vermöge der Umlaufszahl besprochen.

Wir betrachten nun stetige antipodenerhaltende Abbildungen $f : S^1 \longrightarrow S^1$. Die Antipode eines Punktes $x$ ist der im Kreis genau gegenüberliegende Punkt. Wir wollen sie im Folgenden allgemein mit $x^*$ bezeichnen. Ist $S^1$ der Einheitskreis, so gilt $x^* = -x$. $f$ soll dabei die Bedingung $f(x^*) = (f(x))^*$ erfüllen. Weil $f$ stetig sein muss, können wir den Weg von einem Punkt $A$ zu seinem antipodalen Punkt $B = A^*$ und simultan den Weg von $B$ zu $A = B^*$ betrachten. Damit die Bedingung $f(x^*) = f(x)^*$ für alle $x$ erfüllt ist, müssen alle $x$ zwischen $A$ und $B$ sowie alle $x^*$ zwischen $B$ und $A$ auf dem Kreis aufeinander abgebildet werden. Für die antipodalen Wege $\alpha = \beta^*$ von $A$ zu $B$ und $\beta = \alpha^*$ von $B$ zu $A$ auf dem anderen Halbkreis gilt, dass der Gesamtwinkel $(\frac{1}{2} + k), k \in \mathbb{Z}$ ist, da $A$ und $B$ auf dem Kreis genau 180° voneinander entfernt sind. Die Gesamtwindungszahl $z$ von $f = \alpha + \beta$ ist also $2 \cdot (\frac{1}{2} + k) = 2k + 1$, eine ungerade Zahl. Wir halten fest, dass jede stetige antipodale Abbildung $f : S^1 \longrightarrow S^1$ eine ungerade Umlaufzahl $z = (2k + 1), k \in \mathbb{Z}$ hat.

Mit dieser Aussage wollen wir nun beweisen, dass es keine stetige antipodenerhaltende Abbildung $f : S^2 \longrightarrow S^1$ von der 2-Sphäre (Kugeloberfläche) auf die 1-Sphäre (Kreis) gibt mit der Bedingung $f(x^*) = f(x)^*$ für alle $x \in S^2$. Dabei ist zu beachten, dass antipodal auf der Kugeloberfläche bedeutet, auf der gleichen Geraden durch den Mittelpunkt der Kugel zu liegen. Nehmen wir an, wir könnten eine solche stetige Abbildung $f$ definieren. Betrachten wir die 2-Sphäre als Menge ihrer Breitengrade, so sei $h(t) = S^2 \cap A(t)$ die Schnittmenge der 2-Sphäre und der um $-1 \leq t \leq 1$ parallel zur Äquatorialebene von $S^2$ verschobenen Ebene $A(t)$. Wir erhalten so Kreise für $-1 < t < 1$ und Punkte für $t = 1$ und $t = -1$. Zusammen ergeben diese wieder $S^2$. Betrachten wir nun die Klasse stetiger antipodenerhaltender Abbildungen $f_t : h(t) \longrightarrow S^1$, also Abbildungen $S^1 \longrightarrow S^1$ für $-1 < t < 1$ und $P \longrightarrow S^1$ für $t = -1$ bzw. $t = 1$. Diese Abbildungen $h(t) \longrightarrow S^1$ haben ungerade Windungszahl für $-1 < t < 1$, aber die Abbildungen $h(1) \longrightarrow S^1$ und $h(-1) \longrightarrow S^1$ sind konstante Abbildungen zu $h(-1)^*$ bzw. $h(1)^*$. Konstante Abbildungen sind nullhomotop und haben somit auch Windungszahl 0. Die immer ganzzahligen Windungszahlen $w$ ändern sich in unserer stetigen Klasse von stetigen Abbildungen $f_t$ also stetig von $n = 0$ für $t = -1$ zu $n = (2k + 1), k \in \mathbb{Z}$ zu $-1 < t < 1$ und wieder zu $n = 0$ für $n = 1$. Dies ist ein Widerspruch, denn wir können im Bereich der ganzen Zahlen nicht stetig von 0 zu einer ungeraden Zahl übergehen. Deshalb gibt es keine stetigen antipodenerhaltenden Abbildungen $S^2 \longrightarrow S^1$.

Nehmen wir nun an, es gäbe eine Abbildung $f : S^2 \longrightarrow \mathbb{R}^2$ mit $f(x) \neq f(-x)$ für alle $x \in S^2$, die also jedem Punkt der Einheitssphäre $S^2$ mit dem Ursprung als Mittelpunkt einen anderen Punkt auf $\mathbb{R}^2$ zuordnet als der zugehörigen Antipode auf der 2-Sphäre. Dann können wir folgende stetige Funktion $g(f(x))$ definieren, die auf den Einheitskreis mit Radius 1 abbildet:

$$g(f(x)) = \frac{f(x) - f(-x)}{\|f(x) - f(-x)\|}$$

Sie existiert und ist stetig, da der Nenner des Bruches nie 0 ist. Es ist leicht zu überprüfen, dass $g(f(-x)) = -g(f(x)$ gilt. Wir hätten also mit $g(f(x))$ eine stetige, antipodenerhaltende Funktion $g : S^2 \longrightarrow S^1$ konstruiert. Das widerspricht unserer vorherigen Aussage, dass eine solche stetige Abbildung generell nicht existiert und wir folgern, dass es für jede Abbildung $f : S^2 \longrightarrow \mathbb{R}^2$ mindestens

ein $x \in S^2$ gibt mit $f(x) = f(x^*)$, es wird also ein Paar Antipoden immer auf $\mathbb{R}^2$ miteinander identifiziert. Dies ist eine Version des *Satzes von Borsuk und Ulam*.

Nun kommen wir zum Schinkenbrötchensatz. Seien $A_i, i = 1; 2; 3$ die Volumina dreier Körper in $\mathbb{R}^3$, z.B. eines Sandwiches mit einer Scheibe Fleisch und zwei Scheiben Toast, und $\vec{a} \in S^2$ ein Ortsvektor, der einen Punkt auf der Einheitssphäre $S^2$ definiert. Dann sei $E(\vec{a}, d)$ die zu $\vec{a}$ senkrechte, vom Mittelpunkt aus um $d$ in Richtung $\vec{a}$ verschobene Ebene, und $E^{\pm}(\vec{a}, d)$ die Halbräume des $\mathbb{R}^3$ vor bzw. hinter $E(\vec{a}, d)$. Hier ist zu erwähnen, dass „vor“ und „hinter“ hier anhand der Richtung von $\vec{a}$ eindeutig definierte Begriffe sind. Es gilt $E(\vec{a}, d) = E(\vec{-a}, -d)$. Definieren wir nun die stetige Funktion $f_i^{\pm}(\vec{a}, d)$ als das Volumen $A_i \cap E^{\pm}(\vec{a}, d)$ von $A_i$ vor bzw. hinter $E(\vec{a}, d)$. Nach dem Nullstellensatz von Bolzano gibt es für jedes $\vec{a}$ ein $d_{\vec{a}}$, sodass $f_1^+(\vec{a}, d_{\vec{a}}) = f_1^-(\vec{a}, d_{\vec{a}})$. $E(\vec{a}, d_{\vec{a}})$ teilt also $A_1$ in zwei Hälften gleichen Volumens. Sei $f : S^2 \longrightarrow \mathbb{R}^2$ die stetige Funktion $f(\vec{a}) = (f_2^+(\vec{a}, d_{\vec{a}}), f_3^+(\vec{a}, d_{\vec{a}}))$, somit ist $f(-\vec{a}) = (f_2^+(-\vec{a}, -d_{\vec{a}}), f_3^+(-\vec{a}, -d_{\vec{a}}))$, denn $d_{-\vec{a}} = -d_{\vec{a}}$. Nach dem Satz von Borsuk und Ulam existiert ein $\vec{b} \in S^2$ mit $f(-\vec{b}) = f(\vec{b})$. Für dieses $\vec{b}$ und $i = 2; 3$ gelten, weil $E^+(\vec{a}, d) = E^-(\vec{-a}, -d)$ und $d_{-\vec{b}} = -d_{\vec{b}}$ ist, folgende Gleichungen.

$$f_i^+(\vec{b}, d_{\vec{b}}) = f_i^+(\vec{-b}, d_{\vec{-b}}) = f_i^+(-\vec{b}, -d_{\vec{b}}) = f_i^-(\vec{b}, d_{\vec{b}})$$

Weil unsere Definition von $d_{\vec{b}}$ schon fordert, dass $E(\vec{b}, d_{\vec{b}})$ das Volumen von $A_1$ halbiert und obige Gleichungen $f_2^+(\vec{b}, d_{\vec{b}}) = f_2^-(\vec{b}, d_{\vec{b}})$ und $f_3^+(\vec{b}, d_{\vec{b}}) = f_3^-(\vec{b}, d_{\vec{b}})$ besagen, ist $E(\vec{b}, d_{\vec{b}})$ die gesuchte Ebene, die das Volumen $A_1, A_2, A_3$ jeweils halbiert.

Der Schinkenbrötchensatz lässt sich auch ins $n$-Dimensionale verallgemeinern: Dann geht es darum, $n$ $n$-dimensionale Körper durch eine einzige $(n-1)$-dimensionale Hyperebene zu halbieren. Im Zweidimensionalen existiert ein wesentlich simplerer Beweis mit dem Nullstellensatz von Bolzano, der sich der beiden Freiheitsgrade Steigung und Verschiebung der Geraden bedient.

Mithilfe der Fundamentalgruppe und der Windungszahlen haben wir außerdem gezeigt, dass ein Polynom $n$-ten Grades im Körper der komplexen Zahlen $\mathbb{C}$ inklusive Doppelnullstellen genau $n$ Nullstellen hat. Dies ist eine Version des Fundamentalsatzes der Algebra.

**Quellen**


- Boltjanskij, Vladimir G.; Efremovic, Vadim A.: *Anschauliche Kombinatorische Topologie*, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1986
- Courant, Richard; Robbins, Herbert: *Was ist Mathematik*, 3. Auflage, Springer-Verlag, Heidelberg, 1973
- Stöcker, Ralph; Zieschang, Heiner: *Algebraische Topologie*, 2. Auflage, B. G. Teubner Verlag, Stuttgart, 1994


## 3.10 Wilde Sphären

Hannes Güdelhöfer
Betreuerin: Birthe Anne Wiegand

Es liegt nahe zu versuchen, die Sätze von Jordan und Schoenflies, die wir bisher nur in der Ebene betrachtet haben, auch auf den Raum (oder höhere Dimensionen) zu übertragen. Während man feststellt, dass das dreidimensionale Äquivalent des Satzes von Jordan weiterhin gilt – eine 2-Sphäre

zerlegt den $\mathbb{R}^3$ immer in zwei Gebiete – macht man eine erstaunliche Entdeckung: Wilde Sphären sind ein Gegenbeispiel zum Satz von Schoenflies im Dreidimensionalen. Sie zeigen, dass ein Homöomorphismus zwischen zwei 2-Sphären im Raum nicht immer auf einen Homöomorphismus des gesamten umgebenden Raumes fortsetzbar sein muss. Dies gelingt, indem man beweist, dass sich eine topologische Invariante des äußeren Gebiets ändert, nämlich die Fundamentalgruppe. Das äußere Gebiet kann daher nach der „Verformung“ also nicht zu einem der beiden ursprünglichen Gebiete des Komplements homöomorph sein.

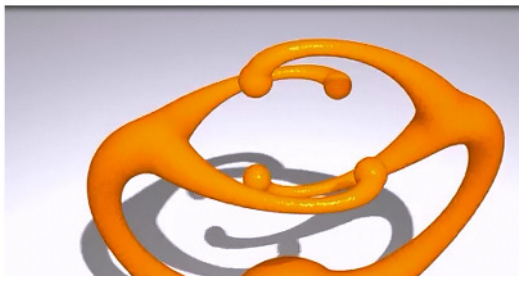
Konkret wollen wir zeigen, dass bei einer geeigneten Nicht-Standard-Einbettung der 2-Sphäre

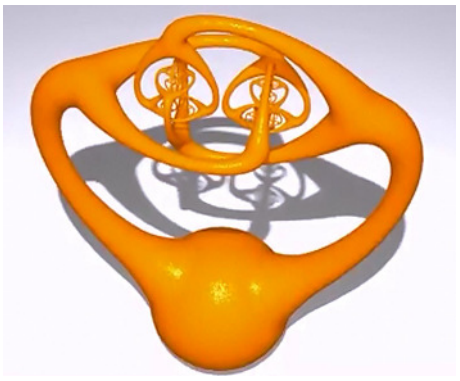
$$f : S^2 \to \mathbb{R}^3,\ f(S^2) = S$$

das äußere Gebiet $A$ der beiden Gebiete des Komplements $\mathbb{R}^3$ $S$ nichttriviale Fundamentalgruppe hat und somit zu keinem der beiden Gebiete des Komplements $\mathbb{R}^3$ $S^2$ vor der Verformung homöomorph ist.

Wir haben eine wilde Sphäre konstruiert und hergeleitet, warum sie der analogen Aussage des zweidimensionalen Satzes von Schoenflies widerspricht.

Um diese gehörnte Sphäre von James W. Alexander (1888-1971) zu erzeugen, drückt man aus einer 2-Sphäre zwei Hörner heraus, so dass sie sich gegenüberstehen. Aus den Enden dieser beiden Hörner werden wieder zwei kleinere Hörner heraus gedrückt und zwar so, dass sie in den Zwischenraum der aus dem anderen Horn entstandenen Hörner zeigen (linke Abbildung, beide entnommen aus [1]).





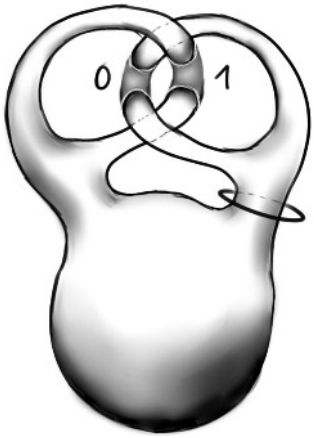
Dieser Vorgang wird unendlich oft fortgesetzt und durch Limespunkte komplettiert. Dadurch erhält man die gehörnte Sphäre von Alexander (rechte Abbildung).

Die gehörnte Sphäre ist homöomorph zur Standard-Sphäre: Im Urbild wie im Bild lassen sich für die Limespunkte Schachtelungen geschlossener Regionen bilden, welche die Bijektivität und Stetigkeit von $f : S^2 \to S$ und der inversen Abbildung ergeben.

Das Außengebiet der Standardsphäre hat triviale Fundamentalgruppe, da sich alle Kurven auf einen Punkt zusammenziehen lassen, $\pi_1(A) = 1$.

Das Außengebiet der gehörnten Sphäre von Alexander besitzt dagegen eine nicht triviale Fundamentalgruppe, $\pi_1(A') \neq 1$:

Es bleibt also zu beweisen, dass es eine Kurve gibt, die sich nicht zusammenziehen lässt. Eine genaue Begründung dafür findet man in [2]. Wir haben es uns im Kurs anschaulich folgendermaßen klar gemacht: Wir betrachten eine Kurve, die um die erste Generation Hörner herum verläuft. Um eine solche Kurve zusammenzuziehen, muss man durch eine der beiden Lücken der Hörner zweiter Generation durch. Diese Lücken werden mit „0“ und „1“ bezeichnet (siehe Abbildung unten).




Um die Kurve durch diese Lücken hindurch zu ziehen, muss man jedoch wiederum durch eine der beiden Lücken der Hörner der dritten Generation. Auch diese werden mit einer „0“ und einer „1“ bezeichnet. Dies wird fortgesetzt, bis man eine unendlich lange Folge von „0“ und „1“ hat. Jede solche Folge bestimmt einen Limespunkt, der bei der Zusammenziehung der Kurve getroffen wird. Dieser Punkt liegt aber auf der gehörnten Sphäre – die Kurve lässt sch also im Außenraum nicht auf einen Punkt zusammenziehen, ohne die Sphäre zu berühren.

Damit ist diese Kurve nicht auf einen Punkt zusammenziehbar, die Fundamentalgruppe des Außengebietes hat sich also geändert.

Es gibt noch viele weitere Beispiele für wilde Sphären, auch wenn die Grundidee, die Fundamentalgruppe des Komplements der Sphäre zu ändern, immer die gleiche ist.

**Quellen**


- Boltjanskij, Vladimir G.; Efremovic, Vadim A.: *Anschauliche Kombinatorische Topologie*, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1986
- Hatcher, Allen: *Algebraic Topology*, 1. Auflage, Cambridge University Press, 2001 [2]
- Moise, Edwin E.: *Geometric Topology in Dimensions 2 and 3*, Springer-Verlag, 1977
- Stillwell, John: *Classical Topology and Combinatorial Group Theory*, Springer-Verlag, 1980
- `http://www.youtube.com/watch?v=Pe2mnrLUYFU&feature=youtu.be` (13.08.2013) [1]

# 4 Physikkurs

**Physik der Atmosphäre**

Die Meteorologie ist ein Teilgebiet der Physik. Im Kurs „Physik der Atmosphäre“ behandeln wir die physikalischen Grundlagen, auf denen viele meteorologische Erscheinungen beruhen. Um die zahlreichen Phänomene der Atmosphäre zu verstehen, benötigen wir insbesondere Thermodynamik und Optik, z. B. die Physik idealer und realer Gase, die Druckverteilung in der Atmosphäre, den Wasserdampfgehalt, die verschiedenen Wärmetransportmechanismen und die Lichtbrechung und Lichtstreuung. Die durchgeführten Experimente zu den verschiedenen meteorologischen Erscheinungen führen zu einem tieferen Verständnis der Atmospäre.

**Kursleitung**

*Dr. Wolf Aßmus*, Professor für Physik an der Goethe-Universität Frankfurt am Main, Gerald Kucera-Professur für Materialforschung, Tätigkeit in der Lehrerausbildung

*Dr. Helmar Becker*, Diplomphysiker und Lehrer

## 4.1 Impuls- und Energieerhaltung

Katharina Kraus
Betreuer: Florian Dinges

Der Impuls $\vec{p}$ als Produkt aus Masse $m$ und Geschwindigkeit $\vec{v}$ eines Körpers ist dessen Bewegungsrichtung entsprechend ausgerichtet und kann durch einen Stoß auf einen anderen Körper übertragen werden.

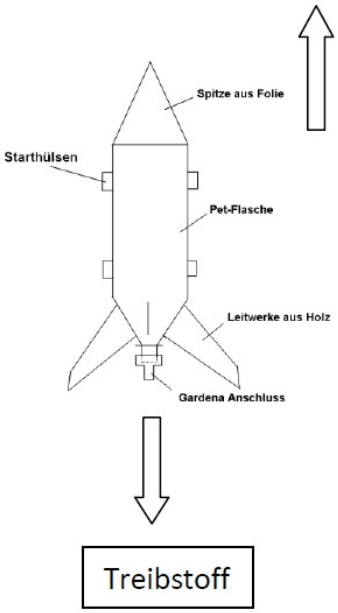
Nach Newtons drittem Axiom zu Wechselwirkungen in einem geschlossenen System gilt der **Impulserhaltungssatz**. Demnach ist die Summe der Gesamtimpulse konstant.

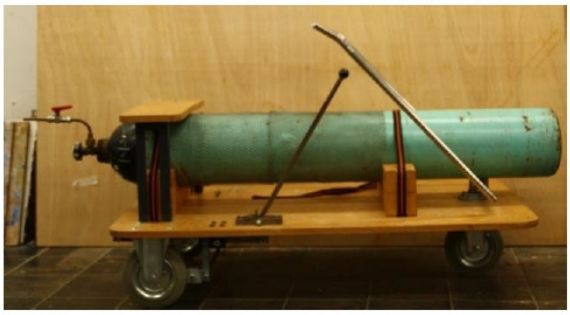
Man unterscheidet zwischen **elastischem und inelastischem Stoß**. Die kinetische Energie bleibt beim elastischen Stoß erhalten, ebenso der Impuls. Dieses Verhalten lässt sich beim Zusammenstoß mehrerer Billardkugeln beobachten. Der inelastische Stoß zeichnet sich dadurch aus, dass sich z.B. beim Autounfall ein Teil der Bewegungsenergie in andere Energieformen wie Wärmeenergie umwandelt, der Impuls bleibt auch hier erhalten. Oft spielen noch andere Komponenten wie Rotationsenergie eine Rolle, die die vollständige oder ideale Übertragung verhindern.

Nach einem vollständig inelastischen Stoß haben die Körper die gleiche Geschwindigkeit $v_3$:

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v_3$$

Beim sogenannten **Rückstoßprinzip** gilt wie bei den verschiedenen Stößen das dritte Newton'sche Axiom, beispielsweise bei einem Schuss aus einem Gewehr. Das Gewehr ($m_g$) bewegt sich kurz danach durch den vorwärts gerichteten Impuls der Kugel ($m_k$) in die entgegengesetzte Richtung, folglich in die des Schützen. Dementsprechend muss ein negatives Vorzeichen gesetzt werden: $m_k \cdot v_k = -m_g \cdot v_g$. Damit bleibt der Gesamtimpuls konstant. Genauso läuft der Start einer Rakete ab (siehe Abbildung). Durch den Impuls des austretenden Treibstoffs bewegt sich die Rakete in die umgekehrte Richtung. Diesen Vorgang haben wir bei der Wasserrakete beobachtet, die durch das Ausströmen des Wassers angetrieben wurde. So konnten wir auch auf einem Wagen fahren, der durch das ausströmende Gas einer Stickstoffflasche bewegt wurde.



Die erste Formulierung des **Energieerhaltungssatzes** durch den deutschen Physiker Hermann von Helmholtz lautet:

„Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden. Sie kann nur von einer Form in andere Formen umgewandelt oder von einem Körper auf andere Körper übertragen werden.“

Fällt beispielsweise eine Kugel auf einen Tisch, so wird ihre kinetische Energie nach dem Energieerhaltungssatz in Wärmeenergie umgewandelt. Diesen Temperaturanstieg konnten wir mit Hilfe einer Wärmebildkamera beobachten.

Betrachtet man ein mathematisches Pendel oder eine Halfpipe, lässt sich eine Energieumwandlung von potenzieller in kinetische Energie feststellen. Am tiefsten Punkt ist die potenzielle Energie gleich null, die kinetische Energie maximal. Umgekehrt ist am höchsten Punkt der Betrag der potenziellen Energie maximal und die kinetische Energie gleich null. Durch Gleichsetzung der beiden Energieformen kann man die Geschwindigkeit der Kugel oder des Skaters berechnen. Dabei ergibt sich, dass die Geschwindigkeit $\vec{v}$ massenunabhängig ist.

$$E_{pot} = E_{kin} \;\Rightarrow\; m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \;\Rightarrow\; v = \sqrt{2gh}$$

Das bekannte **Newton-Pendel** besteht aus 5 Metallkugeln, deren Abstand zwischen ihren Mittelpunkten dem Durchmesser einer Kugel entspricht. Durch die Anwendung von Impuls- und Energieerhaltung kann gezeigt werden, dass mit der Auslenkung der ersten Kugel nur die letzte Kugel ausgelenkt werden kann. Die Anzahl der zu Beginn ausgelenkten Kugeln entspricht der Anzahl der nach dem Stoß ausgelenkten Kugeln.

**Quellen**

- Schlichting, Hans Joachim et al.: *Oberstufe Physik*, Ausgabe B, Band 1, Cornelsen Verlag, Berlin, 2010

- http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/erhaltungssaetze-undstoesse#Impulsbegriff%20und%20Impulssatz (10.08.13)
- http://www.walter-fendt.de/ph14d/stossmath.htm (10.08.13)
- http://m.schuelerlexikon.de/mobile_physik/Energieerhaltungssatz.htm (10.08.13)
- http://www.didaktik.physik.uni-due.de/veranstaltungen/soe/versuchsberichte/SS07/SOEII-Raketen/wasserrakete1.bmp (10.08.13)

## 4.2 Ideale Gase / Kinetische Gastheorie

Simon Niemöller
Betreuer: Stephan Pohl

### Ideale Gase

Ein ideales Gas ist eine vereinfachte Vorstellung von Gasen, um ihr Verhalten zu beschreiben. Diese Vereinfachungen beruhen auf folgenden Annahmen:

- Keine anziehenden und abstoßenden Kräfte zwischen den Teilchen
- Das Eigenvolumen der Teilchen ist vernachlässigbar
- Brown'sche Teilchenbewegung
- Zusammenstöße zwischen Teilchen sind als ideal elastisch ansehbar

Boyle-Mariotte-Gesetz (Isotherm)
Die Physiker Robert Boyle und Edme Mariotte erkannten im 17. Jahrhundert, dass sich bei konstanter Temperatur der Druck antiproportional zum Volumen ändert: $p \approx V^{-1}$ ($T = \text{const.}$)

Gay-Lussac-Gesetz (Isobar)
Ebenfalls im 17. Jahrhundert entdeckte Joseph Gay-Lussac, dass sich für einen konstanten Druck das Volumen eines Gases proportional zur absoluten Temperatur verhält: $V \approx T$ ($p = \text{const.}$)

Ideales Gasgesetz
Aus Boyle-Mariotte und Gay-Lussac lässt sich die ideale Gasgleichung herleiten, indem man zuerst eine isotherme Expansion und daran anschließend eine isobare Expansion durchführt:

$pV = NkT$, wobei $N$ die Teilchenzahl und $k$ die Boltzmann-Konstante bezeichnet.

### Kinetische Gastheorie

Auf Grund der kinetischen Gastheorie können der Gasdruck sowie die kinetische Energie der Gasteilchen hergeleitet werden. Der Druck entsteht durch das dauerhafte Bombardement der Wände des Würfels durch die Gasteilchen (siehe Abbildung 1).

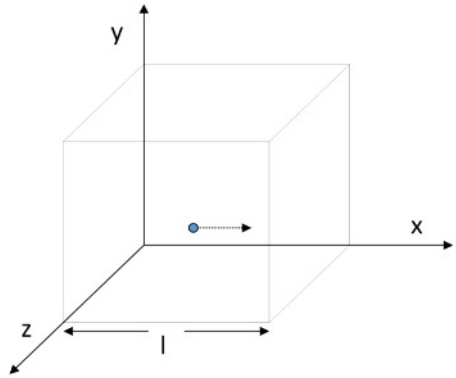


Abbildung 1: Bewegung eines Teilchens in x-Richtung

Die Kraft eines Teilchens auf die Würfelwand in x-Richtung folgt aus dem 2. Newton'schen Axiom: $F = \frac{\Delta(mv_x)}{\Delta t}$

Für die Kraft aller eingeschlossenen Moleküle auf die Würfelwände gilt: $F = \frac{m}{l} \cdot N \cdot \frac{\overline{v^2}}{3}$

Daraus resultiert der Druck auf die Behälterwände:
$p = \frac{Nm\overline{v^2}}{3V}$

Stellt man nach pV um, zeigt sich die Abhängigkeit von der kinetischen Energie: $pV = \frac{2}{3}N(\frac{1}{2}m\overline{v^2})$

Der linke Teil der Gleichung entspricht nun der idealen Gasgleichung und zeigt so die Abhängigkeit der kinetischen Energie der Teilchen von der Temperatur: $\frac{2}{3}N(\frac{1}{2}m\overline{v^2}) = NkT$

$\Rightarrow\ E_{kin} = \frac{3}{2}kT$

Folglich erkennt man, dass die Temperatur eines idealen Gases proportional zum mittleren Geschwindigkeitsquadrat der Teilchen ist.

**Quellen**


- Tipler, Paul A.; Mosca, Gene: *Physik*, Spektrum-Verlag, Heidelberg, 2009
- Giancoli, Douglas C.: *Physik*, Pearson, München, 2006
- Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl: *Physik*, Wiley-VCH, Weinheim 2009


## 4.3 Reale Gase

Maxim Gerspach
Betreuer: Stephan Pohl

**Vergleich mit idealen Gasen; die Van-der-Waals-Gleichung**

Ideale Gase sind Idealisierungen realer Gase, die Annahmen treffen, welche in der Realität nicht ganz zutreffend sind. Diese sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

| **Ideales Gas** | **Reales Gas** |
|---|---|
| Punktförmige Teilchen | Ein- oder mehratomige Teilchen |
| Keine gegenseitigen Wechselwirkungen | WW zwischen Atomen oder Molekülen |
| Kein Eigenvolumen | Moleküle haben Ausdehnung |
| Ideales Gasgesetz: $pV = NkT$ | Näherungsweise Van-der-Waals-Gleichung |

Der Zustand realer Gase kann durch die Van-der-Waals-Gleichung beschrieben werden. Die Zustandsgleichung ist gegeben durch

$$\left(p + \frac{aN^2}{V^2}\right)(V - Nb) = NkT$$

Die Variablen $a$ und $b$ heißen Van-der-Waals-Koeffizienten. Setzt man beide Null, so erhält man das Ideale Gasgesetz. Tatsächlich repräsentiert $a$ die intermolekularen Wechselwirkungen, wobei der Term $\frac{aN^2}{V^2}$ auch Binnendruck genannt wird. Das Eigenvolumen der Teilchen wird durch den Koeffizienten $b$ berücksichtigt.

**Kritische Größen**

Der kritische Punkt eines Gases ist derjenige Zustand, in dem die Unterschiede zwischen flüssiger und gasförmiger Phase aufhören zu existieren. In Diagramm 3 entspricht dies dem Sattelpunkt der Isotherme bei $31,04°C$. Resultierend aus der Van-der-Waals-Gleichung würde unterhalb dieser Temperatur eine Expansion durch Erhöhung des Drucks erfolgen. Deswegen werden durch die sogenannte Maxwell-Konstruktion (siehe Abb. 2) gleiche Flächen oberhalb und unterhalb einer Horizontalen durch diese ersetzt.

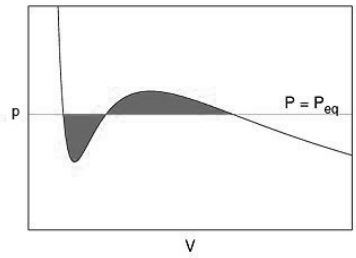



Abbildung 2: Maxwell-Konstruktion

### pV-Diagramm realer Gase

In Abbildung 3 sieht man einige Isothermen von $CO_2$ im $pV$-Diagramm. Bewegt man sich entlang der Punkte $A$ bis $F$ (unterhalb der kritischen Temperatur), so verhält sich das Gas für kleine $p$ zunächst einmal wie ein ideales Gas. Richtung $C$ weicht sein Verhalten vom Idealen ab, bis das Gas in $C$ anfängt, sich zu verflüssigen. In $E$ ist lediglich die flüssige Phase vorhanden. Um nun das Molvolumen weiter zu verkleinern, ist eine sehr starke Druckerhöhung notwendig.

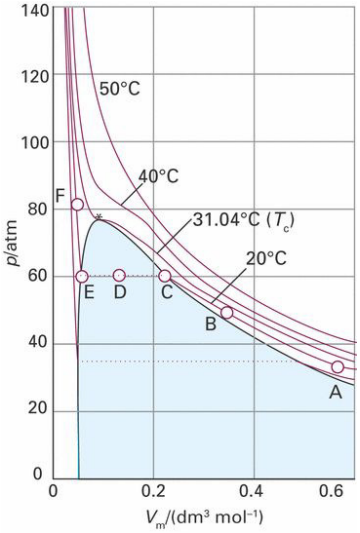



Abbildung 3: pV-Diagramm von $CO_2$

#### Joule-Thomson-Effekt

Der Joule-Thomson-Effekt besagt, dass bei realen Gasen aufgrund der Wechselwirkungen zwischen den Teilchen mit der Expansion auch eine Temperaturänderung einhergeht, da sie zur Erhöhung des intermolekularen Abstands Arbeit aufwenden müssen bzw. gewinnen, beispielsweise im Fall von $CO_2$ gegen die anziehenden Kräfte zwischen den Molekülen. Dieses Verhalten können wir mit dem Öffnen einer $CO_2$-Flasche beobachten. Durch die Expansion entsteht schließlich festes $CO_2$ (siehe Abb. 4).

Abbildung 4: Abkühlung von $CO_2$ durch Expansion

Stärke und Richtung dieser Temperaturänderung werden durch den Joule-Thomson-Koeffizienten $\mu_{JT}$ beschrieben, der folgendermaßen definiert ist:

$$\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_H$$

Der Index H meint dabei einen isenthalpen Vorgang. Ist der Koeffizient negativ, so impliziert eine Expansion eine Erhöhung der Temperatur, für einen positiven Joule-Thomson-Koeffizient eine Abkühlung.

**Linde-Verfahren**

Das Linde-Verfahren dient zur Verflüssigung von Gasen, die einen positiven Joule-Thomson-Koeffizienten aufweisen. Bei Raumtemperatur funktioniert es zum Beispiel für Luft. Zunächst wird diese komprimiert, sodass sie sich erwärmt. Nun wird sie mithilfe der Umgebungsluft auf Umgebungstemperatur abgekühlt und anschließend entspannt. Auf Grundlage des Gegenstromprinzips wird der Vorgang bis zur Verflüssigung der Luft wiederholt.

**Quellen**


- Atkins, Peter; de Paula, Julio: *Physical Chemistry*, Oxford University Press (9th edition), 2009
- `http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a4/Vanderwaals2.jpg/400px-Vanderwaals2.jpg` (26.07.2013)


## 4.4 Luftfeuchtigkeit, Taupunkt und die Entstehung von Wolken

Tobias Zaenker
Betreuer: Stephan Pohl

**Physikalische Größen**

Die Atmosphäre der Erde kann durch die beiden Komponenten „trockene Luft“ und Wasserdampf beschrieben werden. Der Partialdruck des Wasserdampfes wird als Dampfdruck $e$ bezeichnet. Beide Komponenten üben jeweils einen Druck auf die Umgebung aus. Folglich setzt sich der gesamte Luftdruck $p$ aus beiden Komponenten zusammen.

Befindet sich feuchte Luft über einer Wasseroberfläche, so findet ein Teilchenaustausch zwischen der Luft und dem Wasser statt. Sind diese Ströme in beide Richtungen gleich groß, so bezeichnet man die Luft als gesättigt. Den dabei herrschenden Dampfdruck bezeichnet man als den Sättigungsdampfdruck der Luft. Dieser steigt mit zunehmenden Temperaturen an.

Aus dem Verhältnis von Dampfdruck und Sättigungsdampfdruck erhält man die relative Luftfeuchtigkeit, die den Sättigungsgrad der Luft in Prozent angibt, aber kein Maß für die absolute Menge an Wassermolekülen in der Luft ist. Die Dichte der Wassermoleküle $\rho_w$ wird auch als absolute Feuchtigkeit $a$ bezeichnet (meist in $g/m^3$). Für sie folgt aus der allgemeinen Gasgleichung:

$$\rho_w = \frac{m_w}{R^*} \cdot \frac{e}{T}$$

($m_w$: Molekulargewicht des Wassers, $R^*$: universelle Gaskonstante, $e$: Dampfdruck, $T$: Temperatur)

Für ein Luftpaket mit gegebener Luftfeuchtigkeit gibt es eine bestimmte Temperatur, bei der der Dampfdruck gleich dem Sättigungsdampfdruck ist. Diese Temperatur ist der Taupunkt $T_d$. Auch über Eis existiert ein Sättigungsdampfdruck, der jedoch niedriger ist, da der Teilchenstrom aus der festen Phase geringer ist. Dementsprechend kann sich auch hier ein Gleichgewicht einstellen; die zugehörige Temperatur ist der Frostpunkt $T_i$.

Wenn sich Luft vertikal nach oben bewegt, sinkt ihre Dichte. Daher führt man als ein dichteunabhängiges Maß der Luftfeuchtigkeit die spezifische Feuchtigkeit und das Mischungsverhältnis ein. Ersteres

ergibt sich aus dem Verhältnis von Wasserdampf- und Gesamtluftdichte, zweites ist das Verhältnis aus Wasserdampfdichte und Dichte der trockenen Luft. Da der Wasserdampf nur einen kleinen Teil der Luft bildet, kann man beides mit der Formel $0.622 \cdot \frac{e}{p}$ annähern.

Die Dichte von feuchter Luft ist aufgrund der geringeren Dichte von Wasserdampf kleiner als die Dichte von trockener Luft. Folglich ist die Temperatur von trockener Luft größer als von feuchter Luft bei gleichem Druck und gleicher innerer Energie. Die Temperatur der entsprechenden trockenen Luft definiert man als die virtuelle Temperatur $T_v$. Über die Dichteformeln erhält man mit guter Annäherung eine Temperaturdifferenz $\Delta T = 0,378 \cdot T\frac{e}{p}$ zwischen der Temperatur $T$ und $T_v$.

**Bestimmung der Luftfeuchtigkeit**

Mithilfe eines Aspirations-Psychrometers (siehe Abbildung) bestimmen wir die relative Luftfeuchtigkeit. Dieses besteht aus zwei Thermometern, wovon eines mit einem feuchten Stoff umgeben ist. Aufgrund der Verdunstungskälte nimmt die Temperatur am angefeuchteten Thermometer ab, sodass wir anhand der Temperaturdifferenz die relative Feuchte ermitteln können.

Mit einem Taupunkt-Hygrometer (siehe Abbildung) ermitteln wir den Taupunkt durch Verdunstung von Aceton in einem verspiegelten Zylinder. Sinkt hierdurch die Temperatur auf den Taupunkt, kondensiert an diesem Wasserdampf aus der Luft. Durch wiederholtes Abkühlen und Erwärmen können wir den Taupunkt relativ genau eingrenzen. Das Haar-Hygrometer (siehe Abbildung) benutzt die Eigenschaft von hygroskopischen Substanzen wie z.B. eines Haares. Dieses ändert je nach relativer Luftfeuchtigkeit die Länge. Die Längenänderung messen wir und ermitteln dadurch die Luftfeuchtigkeit.

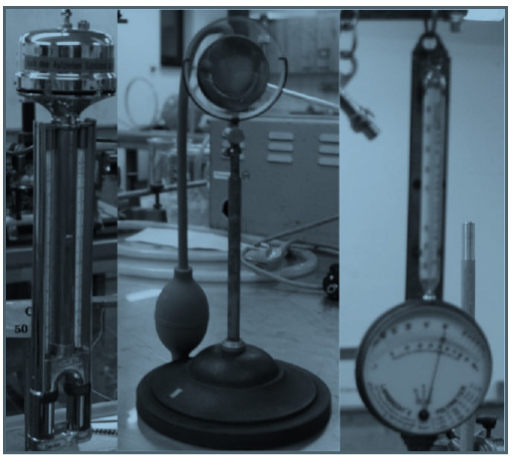


Abbildung: Methoden zur Bestimmung der Luftfeuchtigkeit: (von links) Aspirations-Psychrometer, Taupunkt-Hygrometer, Haar-Hygrometer

**Wolken, Nebel, Eiskristalle**

Wolken entstehen, wenn Luft in höhere atmosphärische Schichten aufsteigt. Dort folgt durch die Temperaturabhängigkeit des Sättigungsdampfdrucks, dass die relative Feuchte steigt und Wasser kondensiert. Hierzu benötigt man jedoch Kondensationskeime, die in der Luft in Form von schwebenden Aerosolen vorliegen. Es bilden sich viele kleine Tröpfchen, die das Licht diffus streuen und so die Wolken weiß erscheinen lassen.

Diese Tropfen können wachsen und im Fallen weitere Tropfen aufsammeln. Wenn sie zu groß werden, können sie aus den Wolken herausfallen. Da die relative Luftfeuchtigkeit währenddessen wieder sinkt, verdunsten viele Tropfen auf dem Weg nach unten. In der Regel kommt es daher zu Regen, wenn sich Eisteilchen in den Wolken bilden. Durch ihren niedrigeren Sättigungsdampfdruck wachsen diese schneller. In Bodennähe können diese wieder schmelzen und so den Regen bilden.

Nebel entsteht bei übersättigter Luft in Bodennähe, ähnlich wie bei Wolken, doch sind die Tropfen meist kleiner.

Damit Eiskristalle entstehen können, sind ebenfalls Keime, die sogenannten Gefrierkerne, erforderlich. Diese bilden aus Wasser sechseckige Eisprismen, die weiter zu Säulen oder Platten wachsen können. Durch zufällige Zusammenstöße verbinden sich diese zu vielfältigen Eiskristallen.

### Quellen


- Liljequist, Gösta H.; Cehak, Konrad: *Allgemeine Meteorologie*, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg, 2006


## 4.5 Reflexion und Brechung

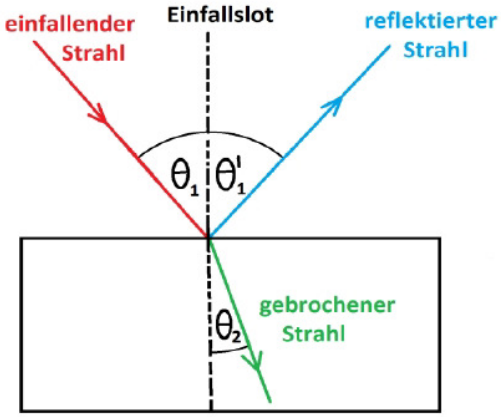
Céline Klein
Betreuer: Alexander Dick

### Definition der Brechzahl

In allen Medien sind unterschiedliche Lichtgeschwindigkeiten zu messen. In durchsichtigen Medien (Luft, Wasser, Glas) ist die Geschwindigkeit kleiner als im Vakuum ($c = 3 \cdot 10^8 m/s$). Durchsichtige Medien lassen sich mit der Brechzahl $n$ bzw. dem Brechungsindex charakterisieren: $n = \frac{c}{c_n}$ (Verhältnis der Lichtgeschwindigkeit $c$ im Vakuum zur Lichtgeschwindigkeit $c_n$ im Medium).

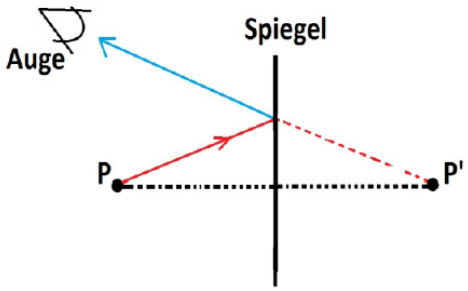
### Reflexions- und Brechungsgesetz

Gelangt ein Lichtstrahl auf die Grenzfläche zweier Medien mit unterschiedlichen Brechungsindizes, wird ein Teil des Lichtes reflektiert, der andere gelangt in das Medium. Mit Ausnahme des senkrechten Einfalls hat der durchgelassene Strahl eine andere Richtung als der einfallende Strahl. Man nennt dies Brechung.
Reflexionsgesetz: $\theta_1' = \theta_1$
Brechungsgesetz: $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$
Dieses Brechungsgesetz entwickelte der holländische Forscher Willebord Snellius im Jahre 1621, daher wird es auch das Snellius'sche Brechungsgesetz genannt. Einige Jahre später fand dies auch der französische Mathematiker und Philosoph René Decartes heraus.



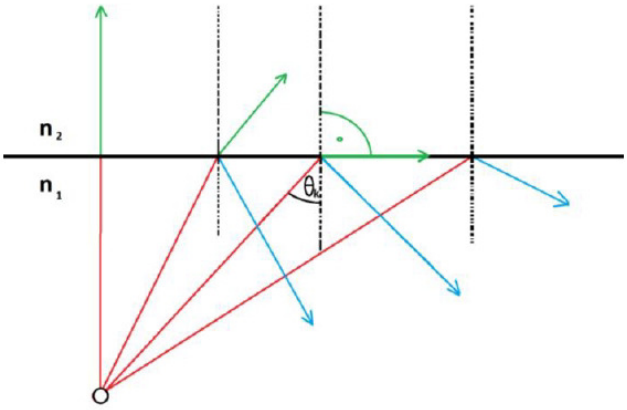

### Spiegelreflexion und diffuse Reflexion

Ein Lichtstrahl ausgehend von einem Punkt $P$ wird auf einer glatten Oberfläche reflektiert. Diese Strahlen divergieren anschließend so, als gingen sie von einem Punkt $P'$ (Bildpunkt) hinter der Oberfläche aus. Das menschliche Auge kann nicht zwischen diesen Strahlen und jenen, die wirklich von einer Punktquelle bei $P'$ ausgehen, unterscheiden. Deswegen sehen wir Punkt $P$ im Spiegel.



Man unterscheidet in der Physik einerseits die sogenannte Spiegelreflexion, auch reguläre Reflexion an glatten Oberflächen genannt, und andererseits die diffuse Reflexion an rauen Oberflächen. Hierbei werden die Lichtstrahlen in verschiedene Richtungen reflektiert, sodass kein erkennbares Bild entsteht. Beispiele für diffuse Reflexionen sind eine Buchseite und das Aufrauen eines Glases im Bilderrahmen, damit das Bild nicht durch Spiegelreflexionen gestört wird. Außerdem tritt dies bei Trockenheit auf der Straße auf, wenn die Lichtstrahlen des Scheinwerfers teilweise reflektiert werden. Daher ist die Straße gut zu erkennen. Ist diese jedoch nass, wird weniger Licht zurückgeworfen, wodurch die Straße schlechter zu erkennen ist.

**Totalreflexion**




Ein Phänomen bei Reflexion und Brechung ist die sogenannte Totalreflexion. Wir haben Lichtstrahlen, die ausgehend von einem optisch dichteren Medium mit immer steigenden Einfallswinkeln auf die Grenzfläche treffen, beobachtet. Der Brechungswinkel hierbei steigt bis zu einem kritischen Einfallswinkel $\theta_k$, bei welchem der Brechungswinkel 90° beträgt. Wird der Einfallswinkel weiter erhöht, wird der gesamte Strahl reflektiert, man spricht von einer Totalreflexion. Der kritische Einfallswinkel ist abhängig von den Brechzahlen der beiden Medien. Mit Hilfe des Brechungsgesetzes kann dieser berechnet werden, man erhält

$$\sin\theta_k = \frac{n_2}{n_1}\sin 90^\circ = \frac{n_2}{n_1}$$

Eine Totalreflexion kann nur auftreten, wenn die Brechzahl im ersten Medium höher ist als die im zweiten Medium.
Die Totalreflexion kann in der Faseroptik angewendet werden. In Glasfasern wird der Lichtstrahl an den Wandungen total reflektiert, sodass das Licht bis zum Ende der Glasfaser übertragen wird. Zu beachten ist, dass der gebrochene Lichtstrahl mindestens unter dem kritischen Winkel auftrifft. Durch Überbiegen der Faser kann man den Prozess unterbinden. Dies haben wir gesehen, als wir einen Lichtstrahl in eine Glasfaser bzw. in einen Wasserstrahl eingekoppelt haben. Lichtleitfasern werden in der Medizin bei minimal invasiven Eingriffen verwendet, um die inneren Organe oder den Verlauf der OP zu betrachten.
In der Telekommunikation werden heutzutage anstatt Funkwellen Lichtwellen benutzt, da diese mit $10^{14}$ Hz mehr Informationen pro Zeiteinheit übertragen als Funkwellen mit $10^6$ Hz. Eine haardicke Glasfaser kann Videosignale in Echtzeit und hoher Qualität übertragen, das entspricht der Informationsmenge pro Zeiteinheit von 32 000 gleichzeitig geführten Telefonaten.

**Regenbogen**

Der Regenbogen ist ein Phänomen der Reflexion und Brechung in der Atmosphäre. Hier werden Lichtstrahlen in Wassertropfen gebrochen. Durch die sogenannte Dispersion, also dem von Wellenlängen abhängigen Brechungsindex im Medium, wird kurzwelliges Licht stärker gebrochen als langwelliges. Man unterscheidet bisher drei verschiedene Arten von Regenbogen. Der primäre Regenbogen ist der lichtintensivste, da das Licht nur einmal reflektiert wird. Eine zweimalige Reflexion ermöglicht es, den

sekundären Regenbogen zu sehen, der allerdings deutlich schwächer ist. Beide konnten wir im Experiment beobachten. Ein sehr schwer zu erkennender Regenbogen ist der tertiäre Regenbogen, bei dem drei Reflexionen stattfinden. Der Betrachter müsste in Richtung des Sonnenlichts schauen, wodurch der Regenbogen fast nicht zu erkennen ist.

**Quellen**


- Liljequist, Gösta H.; Cehak, Konrad: *Allgemeine Meteorologie*, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg, 2006
- Tipler, Paul A.; Mosca, Gene: *Physik*, Spektrum-Verlag, Heidelberg, 2009
- Kraus, Helmut: *Die Atmosphäre der Erde*, Springer, Heidelberg, 2004


## 4.6 Lichtstreuung

Johanna Hering
Betreuer: Alexander Dick

**Elastische Streuprozesse**

Für elastische Streuprozesse gilt, dass die streuenden Teilchen keine Energie aufnehmen, d.h. das Atom bleibt in seinem energetischen Grundzustand und Primär- und gestreute Welle haben die gleiche Frequenz.

**Rayleigh-Streuung**

Sie beschreibt Wechselwirkungen von Licht mit einzelnen Atomen/Molekülen (z.B. Gas), bei denen die Teilchen willkürlich in der Luft verteilt sind. Die Wellenlänge ist hierbei groß gegenüber dem Durchmesser der Teilchen. Diese Streuung ist kohärent. Für die Intensität $I$ der Streuung gilt: $I \approx \frac{1}{\lambda^4}$. Das bedeutet, dass das kurzwellige blaue Licht viel stärker gestreut wird als das langwellige rote.

**Beispiel: Himmelsblau und Abendrot in freier Natur**

Das Licht der Sonne wird von den Atomen und Molekülen in der Atmosphäre gestreut, deshalb ist der Himmel auf dem Mond (keine Atmosphäre) schwarz. Doch bei uns gibt es eine Atmosphäre, die das blaue Licht mehr streut als rotes und deshalb ist unser Himmel blau. Bei Morgen- und Abendrot ist der Lichtweg der Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre sehr lang, dadurch wird der Großteil des blauen Lichts weggestreut. Zurück bleibt das rote Licht.
Besonders schön sieht man diesen Effekt in Gebieten mit hoher Luftverschmutzung, da dort auch Staub- und Rußpartikel das blaue Licht wegstreuen.

**Tyndall-Streuung und Mie-Streuung**

Der Unterschied zur Rayleigh-Streuung ist die Größe und Art der Teilchen. Bei der Tyndall-Streuung sind es zum Beispiel Fettteilchen und Seifenteilchen in einer Flüssigkeit, die klein im Vergleich zur Wellenlänge des Lichts sind. Bei der Mie-Streuung kann sich der Durchmesser der Staub- und Rußteilchen der Wellenlänge annähern und die Streuung des blauen Lichts wird stärker.
In einem Experiment haben wir mit einer Taschenlampe in ein Gefäß mit milchiger Flüssigkeit geleuchtet und konnten beobachten, dass von den Seiten bläuliches und von der gegenüberliegenden Seite der Taschenlampe rötliches Licht zu sehen war. Dies zeigt, dass das blaue Licht stärker durch die Fettteilchen nach außen weggestreut wird als das rote.

**Inelastische Streuprozesse**

Bei inelastischen Streuprozessen werden die streuenden Teilchen durch Energieaufnahme in einen angeregten Zustand gehoben, wobei sich die Frequenz der Lichtwelle verändert.

**Fluoreszenz**

Elektronen im Atom können nur auf bestimmten Energieniveaus existieren. Sie können durch Lichtwellen angeregt werden. Dabei verbleiben die Elektronen meist nur sehr kurz im angeregten Zustand, fallen dann auf das Grundniveau zurück und emittieren dabei Licht der gleichen Frequenz (elastisch). Man nennt dies Resonanzfluoreszenz.
Hier gibt es keinerlei Phasenverknüpfung von Primär- und emittierter Welle (Inkohärenz).
In Festkörpern stimmen Anregungs-und Emissionsfrequenz oft nicht mehr überein und die Emissionsfrequenz ist dann niedriger (Energieverlust durch Wärme, inelastisch).

**Raman-Streuung**

Diese Streuung beschreibt Wechselwirkungen von Lichtwellen mit schwingungsfähigen Gebilden (z.B. Molekülen), bei denen Streuwellen mit geringerer Frequenz und Energie erzeugt werden.

**Compton-Streuung**

Dies sind Wechselwirkungen von elektromagnetischen Wellen und freien oder quasifreien Elektronen in Festkörpern, die erst bei sehr kleinen Wellenlängen – meist im Röntgenbereich – merklich werden. Wegen der hohen Quantenenergie der Welle kann man die Bindung der Elektronen an Atome vernachlässigen und es als elastischen Stoß zwischen Photon und Elektron bezeichnen. Die Compton-Streuung ist inelastisch und kohärent.

**Polarisation**

Licht ist eine elektromagnetische Welle, deren $E$- und $B$-Feldvektor senkrecht zueinander stehen und zunächst entlang aller Richtungen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung verteilt sind. Erst wenn man das Licht durch einen Polarisationsfilter schickt, kommen nur noch Lichtwellen durch, deren $E$-Feldvektor in die passende Richtung zeigt. Die anderen Richtungen werden vom Polfilter absorbiert. Diese Lichtwellen sind dann linear polarisiert. Dreht sich die Richtung des $E$- und $B$-Feldes ständig im Kreis, nennt man dies zirkular polarisiertes Licht. Weitere Polarisationsmöglichkeiten sind die Polarisation durch Reflexion, Streuung (im Experiment haben wir gesehen, dass das gestreute Licht der Sonne polarisiert ist) und durch Doppelbrechung in Kristallen.

**Quellen**


- Tipler, Paul A.; Mosca, Gene: *Physik*, Spektrum-Verlag, Heidelberg, 2009
- Paus, Hans J.: *Physik*, Hanser-Verlag, München, 2002


## 4.7 Atmosphärische Elektrizität

Nadin Sarajlic
Betreuer: Helmar Becker

Die Atmosphäre der Erde ist schwach leitfähig. Die Leitfähigkeit wird durch geladene Teilchen in der Luft ermöglicht, die aufgrund von kosmischer, ultravioletter und radioaktiver Strahlung durch

Ionisation entstehen. Der spezifische Widerstand in Bodennähe ist etwa $10^{21}$ mal größer als der von Metallen, mit steigender Höhe nimmt die Leitfähigkeit der Luft jedoch zu.

In etwa $70 - 80$ km Höhe befindet sich die weltumspannende Ausgleichsschicht, deren Leitfähigkeit so groß ist, dass Ladungsüberschüsse innerhalb weniger Minuten weltweit ausgeglichen werden. Insgesamt ist die Ausgleichsschicht permanent positiv, die Erde negativ geladen. Durch die leitfähige Luft fließt daher in Schönwettergebieten ständig ein Strom von insgesamt etwa 1500 A – der Vertikalstrom. Die Ausgleichsschicht würde sich innerhalb kurzer Zeit entladen, würde es keinen Aufladevorgang geben – dies geschieht in Gewittern.

Für die Entstehung von Gewittern gibt es diverse Theorien, die jedoch nicht alle Aspekte der Vorgänge abdecken. Sie greifen vor allem den Aufbau von Gewitterwolken auf, der durch Messung und Beobachtung festgestellt wurde.

Eine dieser Theorien ist die Influenztheorie von Wilson. Der Theorie nach werden hinunterfallende Tropfen durch die Influenzwirkung der negativ geladenen Erdoberfläche polarisiert. Sie sind am oberen Ende negativ, am unteren positiv geladen. Durch die Bewegung nach unten lagern sich an der Unterseite der Tropfen mehr negative als an der Oberseite positive Ionen an, sodass die Tropfen negative Ladungen in die unteren Schichten der Wolken transportieren und die Wolken meist unten negativ und oben positiv geladen sind.

Durch Blitze und Niederschlag gelangen die negativen Ladungen zur Erde; die positiven Ladungen in den hohen Schichten der Gewitter gelangen zur Ausgleichsschicht.

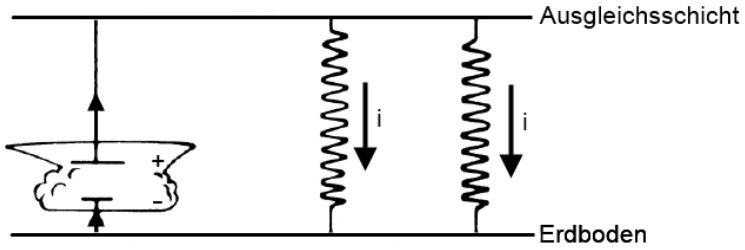



Abbildung 1: Gewitter als Generator (aus „Allgemeine Meteorologie“)

Die Ausgleichsschicht wird demnach ständig durch den Vertikalstrom in Schönwettergebieten mit etwa 1500 A entladen, während sie von der Gesamtheit der Gewitter weltweit mit der gleichen Stromstärke aufgeladen wird.

In den Gewitterwolken entsteht ein elektrisches Potenzial, das zu Blitzen innerhalb der Wolke und zwischen Wolke und Boden führt.

Aufgrund zu geringer elektrischer Feldstärke können Blitze nicht direkt von der Wolke zur Erde überschlagen. Vorentladungen, die durch Stoßionisation ausgelöst werden, bauen etappenweise einen Blitzkanal auf, der zur Hauptentladung, dem eigentlichen Blitz, führt. Abwechselnd folgen Ruhephasen und weitere Hauptentladungen durch den bereits vorhandenen, leitenden Blitzkanal.

Dabei kommt es häufig zu den bekannten Linien- und Flächenblitzen, sehr selten zu Perlschnur- und Kugelblitzen. Zu letzteren gibt es bis dato noch keine hinreichende Erklärung.

Wir haben im Verlauf des Kurses mithilfe eines Hörnertransformators veranschaulicht, dass Blitze durch einen bereits vorhandenen Plasmakanal deutlich größere Distanzen überwinden können als durch einen einzelnen Blitzschlag, der sich aufgrund zu geringer Spannung sonst nur über wenige Millimeter erstreckt. Dies wird dadurch ermöglicht, dass bereits ionisierte Luft vorhanden ist, durch die ein Ladungsaustausch vollzogen werden kann. Der Plasmakanal „wandert“ aufgrund der erhitzten Luft

entlang der sich spreizenden Hörner nach oben und vergrößert sich. Die Ladungen überwinden eine größere Distanz.

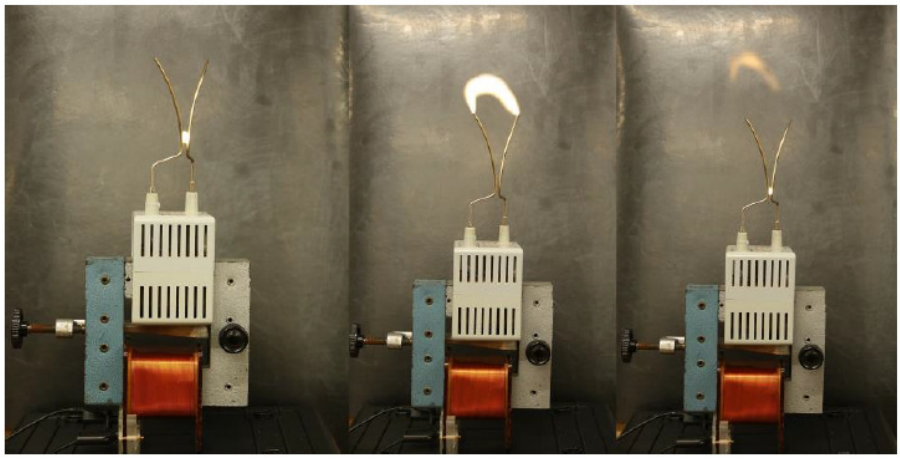


Abbildung 2: Hörnertransformator ($U_{max} = 15$ kV) mit größer werdendem Plasmakanal

**Quellen**


- Liljequist, Gösta H.; Cehak, Konrad: *Allgemeine Meteorologie*, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg, 2006


## 4.8 Wärmestrahlung

Veronika Wissa
Betreuer: Wolf Aßmus

**Was ist Wärmestrahlung?**

Wärmestrahlung ist elektromagnetische Strahlung im nicht sichtbaren Bereich mit Wellenlängen > 750 nm. Bei einer elektromagnetischen Welle schwingen das elektrische Feld $E$ und das magnetische Feld $B$. Beide stehen senkrecht aufeinander und senkrecht zur Ausbreitungsrichtung $k$. Die Energie $E$ einer elektromagnetischen Welle wird von Planck mit $E = hv$ angegeben, wobei $h = 6,626 \cdot 10^{-34} Js$ das Planck'sche Wirkungsquantum und $v$ die Frequenz ist.

**Schwarz**

Nicht alles, was das menschliche Auge als schwarz sieht, ist schwarz, denn völlig schwarze Farbe absorbiert uneingeschränkt alle Strahlungen. Das menschliche Auge reagiert nur auf den sichtbaren Spektralbereich, der ungefähr von Strahlung der Wellenlänge 400 nm bis 700 nm reicht. Kein Körper ist völlig schwarz, aber man nennt einen Körper „schwarz für die Frequenz $v$“, wenn sein Absorptionsvermögen für diese Frequenz bzw. Wellenlänge gleich 1 ist.

**Der Schwarze Körper**

Mithilfe eines Kastens kann man ein Modell für den Schwarzen Körper bauen. Die Wände müssen allseitig geschlossen und das Kasteninnere muss hohl sein. Man bohrt ein winziges Loch in eine Wand. Von außen betrachtet ist dieses Loch extrem schwarz. Die Wahrscheinlichkeit, dass Strahlung aus dem Loch austritt ist sehr gering: Das Loch erscheint bei Zimmertemperatur schwarz. Man erhitzt den Schwarzen

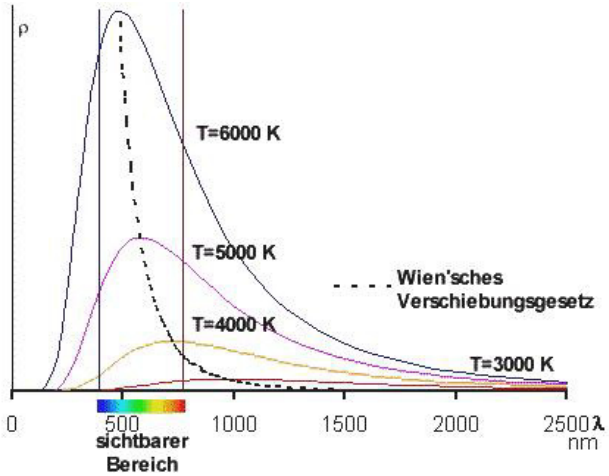
Körper, sodass man die Energiedichte der austretenden Wärmestrahlung aus dem Loch messen kann. Bei hoher Temperatur erscheint das Loch hell. Der Schwarze Körper ist ein idealer Strahler.

### Das Planck'sche Strahlungsgesetz

Max Planck hat das Strahlungsgesetz formuliert, mit dem man die Energiedichte $\varrho$ als Funktion der Temperatur und Wellenlänge bestimmt.

$$\varrho(v_T) = \frac{8\pi h v^3}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{hv/kT} - 1}$$

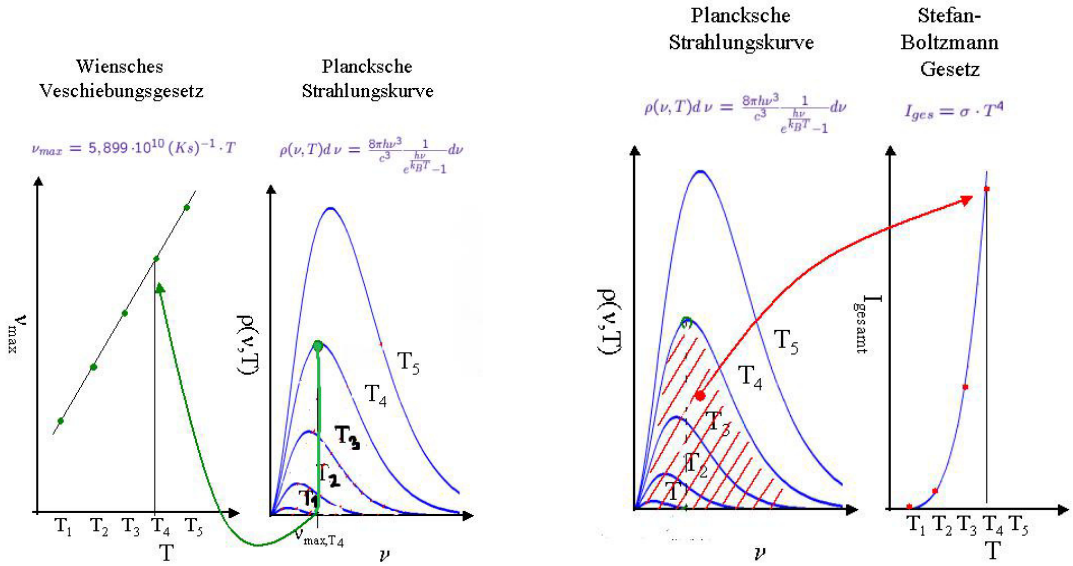
Die vier Kurven beschreiben die Emission eines schwarzen Körpers bei unterschiedlichen Temperaturen. Je höher die Temperatur ist, desto größer wird die Strahlungsdichte und desto mehr verschiebt sich das Emissionsmaximum in Richtung der kurzwelligen Strahlung.




### Wien'sche Verschiebung

Die Verschiebung der Emissionsmaxima nennt man Wien'sche Veschiebung.

$$v_{max} = \frac{2,82}{h} \cdot k_B T = 5,88 \cdot 10^{10} T, \quad k_B\text{: Boltzmann-Konstante}$$




### Stefan-Boltzmann-Gesetz

Die vom Schwarzen Körper abgestrahlte Leistung $P$ wird durch die Fläche unterhalb der jeweiligen Planck-Kurve bestimmt.

$$P = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

$\sigma$ wird als Stefan-Boltzmann-Konstante bezeichnet. Die abgestrahlte Leistung hängt von $T^4$ ab.

**Kirchhoff'sche Regel**

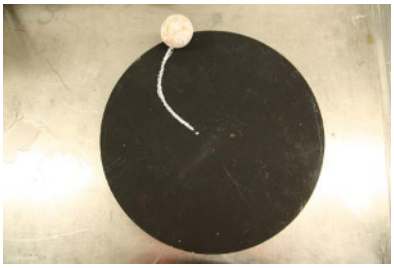
Mithilfe der Kirchhoff'schen Regel: $\varrho(v,T) = A(v,T) \cdot \varrho_{schwarz}(v,T)$ kann man die abgestrahlte Energiedichte eines beliebigen Körpers aus seinem Absorptionsvermögen $A(v,T)$ und der Energiedichte eines Schwarzen Körpers bei der selben Temperatur berechnen.

**Quellen**


- Martienssen, Werner: *Einführung in die Physik*, Bd. 4, Akademische Verlagsgesellschaft, 1976
- Gerthsen, Christian; Meschede, Dieter: *Physik*, Springer-Verlag, Heidelberg, 2006


## 4.9 Die Corioliskraft und ihre Auswirkungen auf die Atmosphäre


Daniel Liedtke
Betreuer: Florian Dinges

Die Corioliskraft ist ein Phänomen, das man beobachten kann, wenn sich Körper in einem sich drehenden System bewegen. Wenn sich ein Körper in einem solchen System kräftefrei mit einer Geschwindigkeit $\overrightarrow{v}$ bewegt, so bewegt er sich von außen betrachtet geradlinig. Betrachtet man ihn jedoch aus dem rotierenden System heraus, so bewegt er sich auf einer Kurve. Für einen solchen Beobachter wirkt es, als erfahre der Körper eine Kraft. Diese Kraft existiert zwar nicht tatsächlich, wird aber trotzdem vom Beobachter wahrgenommen. Eine solche Kraft nennt man Scheinkraft, in diesem Fall handelt es sich um die Corioliskraft.

Um die Corioliskraft zu berechnen, wird ein Körper betrachtet, der sich von einem Punkt $A$ in Richtung eines Punktes $B$ im rotierenden System bewegt. Bis der Körper den Punkt $B$ erreicht, braucht er die Zeit $\Delta t$, sodass er eine Strecke von $\overrightarrow{r_B} - \overrightarrow{r_A} = \overrightarrow{v}\Delta t$ zurücklegt. Gleichzeitig bewegt er sich mit der Bahngeschwindigkeit seines Startpunktes um $\Delta\overrightarrow{s_A} = \overrightarrow{v_A}\Delta t$. Sein Zielpunkt $B$ hat sich währenddessen allerdings schon um $\Delta\overrightarrow{s_B} = \overrightarrow{v_B}\Delta t$ weiterbewegt, sodass der Körper um $\Delta\overrightarrow{s} = (\overrightarrow{v_B} - \overrightarrow{v_A})\Delta t = -\overrightarrow{\omega} \times (\overrightarrow{r_B} - \overrightarrow{r_A}),\ \Delta t = -\overrightarrow{\omega} \times \overrightarrow{v}t^2$ zurückbleibt. Die Beschleunigung ist dann $\overrightarrow{a} = (2\overrightarrow{s})/(t^2) = 2m\overrightarrow{\omega} \times \overrightarrow{v}$ und die Corioliskraft ergibt sich als $\overrightarrow{F_C} = 2\overrightarrow{\omega} \times \overrightarrow{v}$.

Da die Erde ein rotierendes System ist, wirkt auch auf bewegte Körper auf der Erde eine Corioliskraft, zum Beispiel auf sich bewegende Luftmassen. Sie ist also an der Entstehung des Windes beteiligt. Hierzu betrachtet man nur die Horizontalkomponente der Corioliskraft, diese ergibt sich nach Einfügen eines Proportionalitätsfaktors $f$ als $|\overrightarrow{F_C}| = -2m|\overrightarrow{\omega}||\overrightarrow{v}|\sin\varphi = mf|\overrightarrow{v}|$ und ist stets senkrecht zur Bewegungsrichtung orientiert.

Da in der Atmosphäre an verschiedenen Orten verschieden starke Luftdrücke vorliegen, wie man es aus Wetterkarten kennt, tritt eine weitere Kraft vermehrt auf: die Gradientkraft, die vom Hochdruck zu einem Tiefdruck wirkt. Diese ist umso stärker, je höher der Luftdruckunterschied ist. Als Formel für die Gradientkraft, die auf ein Luftelement mit den Volumen $V$ wirkt, ergibt sich daher $\overrightarrow{F_G} = -\frac{\partial p}{\partial s} \cdot V$. Man kann sie durch Einsetzen des Isobarenabstands näherungsweise aus der Wetterkarte ablesen.

Nimmt man an, dass Isobare geradlinig und parallel zueinander verlaufen, so kann man bereits hiermit eine recht gute Näherung für Windgeschwindigkeit und Richtung ermitteln. Die Corioliskraft wirkt stets senkrecht zur Bewegung, die Gradientkraft stets vom Hoch- zum Tiefdruckgebiet hin. Damit die Windgeschwindigkeit konstant bleibt, muss gelten, dass die Summe der wirkenden Kräfte gleich Null

ist. Damit zwei Kräfte zusammen Null ergeben, müssen sie antiparallel zueinander wirken. Damit muss auch die Corioliskraft senkrecht zu den Isobaren wirken, und daraus folgt, dass der Wind (der wiederum senkrecht zur Corioliskraft stehen muss) parallel zu den Isobaren verläuft. Für die Geschwindigkeit des Windes ergibt sich durch Gleichsetzen von $F_C$ und $F_G$:

$$|\overrightarrow{v}| = \frac{|\overrightarrow{F_G}|}{2mf} = \frac{|\overrightarrow{v}p|}{2\rho f}$$

Man nennt diesen Wind dann geostrophischen Wind.

Da die Isobaren nicht immer geradlinig verlaufen, läuft der Wind in der Regel auf Kurvenbahnen, die man annähert, indem man sie punktuell als kreisförmig betrachtet. In diesem Fall muss man noch eine weitere Kraft einbeziehen: die Zentripetalkraft, also die Kraft, die aufgebracht werden muss, damit ein Körper sich auf einer Kreisbahn bewegt. Sie berechnet sich als $|\overrightarrow{F_Z}| = (m|\overrightarrow{v}|^2)/(r)$. Als Gleichung ergibt sich nun (je nachdem, ob die Isobaren um ein Hoch- oder um ein Tiefdruckgebiet verlaufen) $(m|\overrightarrow{v}|^2)/(r) = mf|\overrightarrow{v}| \pm |\overrightarrow{F_G}|$, wobei das + für Tief- und das − für Hochdruckgebiete gilt. Auflösen nach $v$ ergibt nun:

$$|\overrightarrow{v_{1/2}}| = \frac{mf \pm \sqrt{m^2f^2 \pm 4\frac{m|\overrightarrow{F_G}|}{|\overrightarrow{r}|}}}{2\frac{m}{|\overrightarrow{r}|}} = \frac{rf \pm \sqrt{r^2f^2 \pm 4\frac{\overrightarrow{r}\cdot\overrightarrow{F_G}}{m}}}{2}$$

Da in der Wurzel ein Minus bei Hochdruckgebieten erscheint, wird sich dort ein deutlich schwächerer Wind bilden als bei Tiefdruckgebieten. Außerdem muss der Radikand größer oder gleich 0 sein, da der Wind sonst keine reelle Geschwindigkeit annehmen kann. Daher ergibt sich bei Hochdruckgebieten $|\overrightarrow{F_G}| < \frac{|\overrightarrow{r}|f^2m}{4}$, es gibt hier also keine beliebig großen Druckgradienten. Für Tiefdruckgebiete ergibt sich allerdings keine solche Beschränkung.

In der Praxis ergeben sich weitere Ursachen für Wind. So kann man z.B. bei starken Winden die Corioliskraft vernachlässigen, man erhält den sogenannten zyklostrophischen Wind, der zum Beispiel in Taifunen vorkommt. Ebenfalls kommt es vor, dass die Gradientkraft sehr klein ist, hier erhält man ebenfalls eine Kreisbahn, den sogenannten Trägheitskreis. Außerdem treten Reibungskräfte auf. Will man eine allgemeine Gleichung für den Wind aufstellen, so ergibt sich die allgemeine Bewegungsgleichung, nach den Entdeckern auch Navier-Stokes-Gleichung genannt:

$$\frac{\partial\overrightarrow{v}}{\partial t} + \overrightarrow{v}(\overrightarrow{\nabla}\cdot\overrightarrow{v}) = -2\overrightarrow{\omega}\times\overrightarrow{v} - \overrightarrow{\nabla}p\cdot\frac{1}{\rho} + \overrightarrow{a_R} + \frac{\overrightarrow{v}^2}{|\overrightarrow{R}|}$$

Eines der Experimente, die wir zu diesem Thema gemacht haben, ist der Feuertornado. Hierbei wird ein Feuer in einem zylinderförmigen Kupfernetz angezündet und dieses in Drehung versetzt. Die erhitzte Luft steigt auf, frische Luft wird von außen angesaugt und wird durch das Netz in Drehung versetzt. Auf dem Weg zur Mitte behält sie sowohl Bahngeschwindigkeit als auch Drehimpuls bei, daher muss die Winkelgeschwindigkeit deutlich ansteigen. Die Flammensäule wird dadurch in schnelle Drehung versetzt.

**Quellen**


- Ciancoli, Douglas: *Physik*, Pearson Studium, München, 2006
- Kraus, Helmut: *Die Atmosphäre der Erde*, Springer-Verlag, Heidelberg, 2004
- Liljequist, Gösta H; Cehak, Konrad: *Allgemeine Meteorologie*, Springer-Verlag, Heidelberg, 2006

## 4.10 Chaos und Vorhersagbarkeit

Jan Fotakis
Betreuer: Florian Dinges

„Prognose ist die zentrale Aufgabe und Bewährung jeder Naturwissenschaft“ [1]. Schon die ersten Erkenntnisse im frühen 20. Jahrhundert zeigten, dass beliebig genaue Vorhersagen von subatomaren Teilchen nach der Heisenberg'schen Unschärferelation nicht möglich sind. Jedoch enden hier nicht die Einschränkungen der Vorhersagbarkeit von Systemzuständen jeglicher Art. Des Weiteren tauchen diese Einschränkungen nicht nur bei komplexen Systemen, sondern schon bei vermeintlich trivialen auf. Beispiel hierfür ist das mathematische Pendel - beschrieben durch eine homogene Differenzialgleichung 2. Ordnung - welches bereits in der Oberstufe behandelt wird. Für diesen Oszillator gilt:

$$l \times \Phi = -g \times \sin \varphi$$

Diese Gleichung ist nicht linear und somit mathematisch nicht eindeutig lösbar. Dieses Problem wird in der Schule durch eine Kleinwinkelapproximation übersprungen. Jedoch ist dies bereits eine Vereinfachung und zeigt die Einschränkung der Vorhersagbarkeit von physikalischen Systemen. Die Abweichungen, die sich durch diese Einschränkung ergeben, sind zunächst klein, jedoch wird der Fehler mit fortschreitender Zeit immer größer. Dennoch handelt es sich hier nicht um chaotisches Verhalten; dies tritt erst beim periodisch angeregten Pendel auf (siehe auch Duffing-Schwinger).

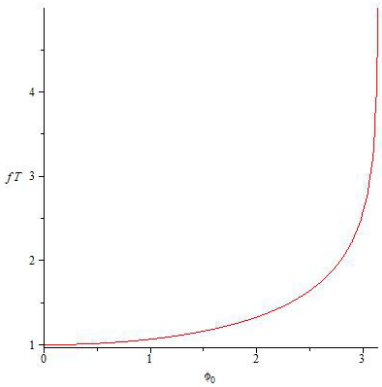



Abbildung 1: Periodendauer zugeordnet Amplitude; die Periodendauer ist nur für kleine Winkel konstant

Das interdisziplinäre Teilgebiet der Mathematik und Physik „Nichtlineare Dynamik“ (oder auch „Chaostheorie“ genannt) beschäftigt sich mit solchen nichtlinearen Systemen und deren Behandlung:

*„Chaostheorie beschäftigt sich mit Systemen, denen zwar deterministische Gesetzmäßigkeiten zugrunde liegen, deren Verhalten jedoch irregulär und langfristig nicht vorhersagbar ist.“* [2]

Solche Systeme sind von den Anfangsbedingungen extrem abhängig und reagieren empfindlich auf Parameteränderungen. Das sieht man sehr gut am Beispiel des sogenannten angeregten Duffing-Schwingers. Ein Duffing-Schwinger ist ein Oszillator, dessen Rückstellkraft nicht linear verläuft und einer Dämpfung unterliegt. Dieser wird nun durch einen sekundären Oszillator so zur Schwingung angeregt, dass die Verlustenergie als Folge der Dämpfung wieder hinzugeführt wird. Ändert man beim Duffing-Schwinger die Erregeramplitude geringfügig, kann diese extreme Veränderungen des Oszillationverhaltens als Folge haben: Nach mehreren Periodenverdopplungen bricht deterministisches Chaos aus. Das bedeutet, dass die Systemgleichungen zwar bekannt sind, jedoch das Verhalten des Schwingers zu keinem Zeitpunkt mehr beliebig genau vorhersagbar ist – das Einschwingen des Oszillators dauert unendlich lange. Hierbei wachsen kleine Abweichungen exponentiell zu großen Unterschieden an.

Das Gebiet der „Nichtlinearen Dynamik“ behandelt solche Systeme, indem es die Charakteristik des Phasenraums des Systems diskutiert bzw. solche Systeme simuliert. Der Zustand des Systems kann durch einen Punkt in einem Raum dargestellt werden, welcher genauso viele Dimensionen besitzt, wie das System Variablen hat. Dieser Punkt wandert mit Fortschreiten der Zeit und beschreibt dabei eine Kurve im Phasenraum, welche Trajektorie oder Orbit genannt wird. Die Gesamtheit aller Orbits nennt man das Phasenportrait bzw. den Phasenraum des Systems. Diese Phasenportraits zeigen

unterschiedliche charakteristische Merkmale auf, nach denen man die nichtlinearen Systeme beurteilt (u.a.):

1. Fixpunkte: Punkte, an denen sich das System nicht mehr ändert
2. Grenzzyklen und seltsame Attraktoren: nicht-punktförmige (stabile) Fixpunkte
3. Separatrix: Trennung, Orbit zwischen mindestens zwei Fixpunkten und/oder Grenzzyklen

Fixpunkte können stabil oder instabil sein. Diese Eigenschaft wird mathematisch über die Jacobi-Matrix des Systems (Systemmatrix) in der nahen Umgebung des jeweiligen Fixpunktes überprüft. Sind alle Realteile der Eigenwerte der Jacobi-Matrix negativ, so ist der Fixpunkt stabil. Diejenigen Orbits, welche in die Einzugsgebiete dieser Fixpunkte geraten, entkommen diesem nicht mehr – das System pendelt sich auf einen statischen Zustand ein (Attraktor). Kurven, welche ähnliche Eigenschaften eines Fixpunktes haben – die einmündenden Orbits verlassen diese Kurve nicht mehr – nennt man Grenzzyklen bzw. seltsame Attraktoren. Ein seltsamer Attraktor ist ein mindestens 3-dimensionales Gebilde/Körper im Phasenraum, dessen Punkte alle von Orbits durchlaufen werden. Das Verhalten dieser Orbits in solchen Attraktoren ist im Allgemeinen chaotisch.

### Chaos der Atmosphäre

Viele Wetterphänomene gehen mit Konvektionsströmungen einher. Folglich müssen für eine gute Wettervorhersage nicht nur die Anfangsbedingungen von Druck, Temperatur, Luftfeuchtigkeit etc. (Wetterdaten) an jedem Punkt zu jeder Zeit bekannt sein, sondern auch zumindestens die Verteilungsmechanismen (Strömungen etc.) sehr genau betrachtet werden. Darunter fällt auch die Konvektionsströmung als Resultat von Temperaturdifferenzen in der Atmosphäre. Lorenz entwickelte ein einfaches Modell zur Beschreibung eines Konvektionsstroms; dieses umfasst ein System aus drei Gleichungen, die einander bedingen. Betrachtet man den Phasenraum dieses Systems, stellt man fest, dass bei sehr kleinen Unterschieden in den Anfangsbedingungen des sogenannten Lorenz-Systems die Orbits zunächst ähnlich verlaufen, diese sich jedoch mit fortschreitender Zeit sehr stark (genauer: im Mittel exponentiell) auseinander entwickeln. Übertragen auf die Wettervorhersage bedeutet dies: Je ungenauer die Wetterdaten bekannt sind, desto kürzer ist das Zeitintervall, für welches eine Wettervorhersage eine Gültigkeit besitzt. Dieses Problem lässt sich auf andere Phänomene übertragen und unterstreicht somit die Problematik der Meteorologie und Wettermodelle.

### Quellen


- Gerthsen, Christian; Meschede, Dieter: *Physik*, Springer-Verlag, Heidelberg, 2006 [1]
- Thies, Renate: *Chaos - Nichtlineare Dynamik*, Skript Informatik, Universität Dortmund, 2004 [2]

# 5 Biologiekurs

**Eine Entdeckungsreise durch den menschlichen Körper**

Der menschliche Körper ist in seiner Komplexität nur schwierig zu erfassen. Oft ist uns gar nicht bewusst, was unser Körper tagtäglich alles zu leisten vermag. Entscheidend für das enorme Leistungsvermögen ist dabei das Zusammenspiel vieler Organe und innerer Strukturen. Einzeln für sich betrachtet nehmen diese dabei jeweils einen festen „Zuständigkeitsbereich“ ein, so dass einzelne Funktionen nur von ganz bestimmten Strukturen übernommen werden können. Der menschliche Körper als System betrachtet ist auf Grund jedes einzelnen Systembausteins beeinfluss- und veränderbar und „funktioniert“ nur innerhalb gewisser Grenzen. Durch die nähere Untersuchung dieser Komponenten lassen sich Eindrücke der Wahrnehmungs- und Leistungsfähigkeit des menschlichen Körpers gewinnen und wichtige Erkenntnisse ableiten.

Im Biologiekurs begaben wir uns auf die Entdeckungsreise durch die Humanbiologie. Mit Hilfe zahlreicher Versuche und Experimente analysierten wir die Wahrnehmungs- und Leistungsfähigkeit unseres Körpers. Wir gewannen zudem Eindrücke zur biologischen Entwicklungsgeschichte des Homo Sapiens unter Anwendung moderner Forschungsmethoden sowie auf genetischer und anthropologischer Ebene zu dessen Individualität.

**Kursleitung**

*Dr. Guido Klees*, Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Didaktik der Biowissenschaften an der Goethe-Universität Frankfurt am Main

*Christian Dietz*, Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Didaktik der Biowissenschaften an der Goethe-Universität Frankfurt am Main

## 5.1 Anatomie des respiratorischen Systems und Atemregulation

Janina Pietzonka
Betreuerin: Ulrike Hadlok

Wir atmen ein und aus. Ständig. Ungefähr 16 Mal in der Minute. Das sind 960 Mal in der Stunde; 23.040 Mal am Tag. Ein Leben lang. Um dies leisten zu können, verfügt unser Körper über einen optimal angepassten Atmungsapparat. Über unser respiratorisches System nimmt der Körper den für lebenswichtige Vorgänge (Zellatmung) notwendigen Sauerstoff auf und gibt angefallenes Kohlenstoffdioxid ab.

Wie ist dieser spezielle Atmungsapparat aufgebaut? Durch Nase oder Mund strömt Luft in unsere Luftröhre, die Trachea. In diesen oberen Atemwegen werden durch empfindliche Flimmerhärchen Staubpartikel und Krankheitserreger herausgefiltert, die eingeatmete Luft aufgrund des gut durchbluteten Gewebes erwärmt und mit Hilfe der Schleimhäute befeuchtet. Die aus Knorpelringen bestehende Trachea teilt sich im unteren Bereich in zwei Hauptbronchien, die sich in jedem Lungenflügel weiter baumartig verzweigen. Dieser Bronchialbaum endet in den Terminalbronchiolen, an deren Enden sich die Alveolen befinden. Diese sind für den Gasaustausch verantwortlich und von einem dichten Kapillarnetz umgeben. Vom Herz kommend wird sauerstoffarmes Blut über die beiden Lungenarterien zu den Alveolen transportiert und sauerstoffreiches Blut über die beiden Lungenvenen zum Herz zurück. Die Lunge ist durch den Brustkorb, den Thorax, gut geschützt. Ummantelt wird sie vom Brustfell und nach unten liegt sie dem Zwerchfell auf. Das Brustfell besteht aus zwei Häuten: Zum einen aus

dem Lungenfell, das die Lungenflügel bekleidet, und zum anderen aus dem Rippenfell, das den inneren Brustkorbraum und das Zwerchfell (Diaphragma) überzieht. Zwischen beiden befindet sich der Pleuralspalt. Er ist mit Flüssigkeit gefüllt, was eine elastische Verschiebung beider Häute gegeneinander ermöglicht und so Volumenänderungen des Thorax zulässt. Das Zwerchfell, ein nach oben gewölbter Muskel, trennt Brust- und Bauchraum und ist mitverantwortlich für die Atembewegung.

Welche Atmungsmechanik liegt der Belüftung der Lunge zugrunde? Der Luftstrom durch die Atemwege beruht auf der Druckdifferenz zwischen Alveolen und Außenraum. Inspiration und Exspiration werden durch Änderungen des Thoraxvolumens mithilfe von Zwerchfell, Zwischenrippen- und Bronchialmuskulatur ermöglicht. Kontrahiert das Zwerchfell, so bewegt es sich nach unten. Kontrahieren die äußeren Zwischenrippenmuskeln, wird der Thorax angehoben. Dadurch vergrößert sich dessen Volumen. Es entsteht ein Unterdruck in der Lunge, der durch ein Nachströmen der Luft ausgeglichen wird. Entspannen sich Zwerchfell und äußere Zwischenrippenmuskulatur, so wird das Volumen der Lunge kleiner und die Luft herausgepresst und wir atmen aus. Durch die Kontraktion der inneren Zwischenrippenmuskulatur sind wir ebenfalls in der Lage aktiv auszuatmen. Je nach körperlicher Aktivität und damit einhergehend unterschiedlichem Sauerstoffbedarf können unser Atemrhythmus und die Menge eingeatmeter Luft variiert werden.

Wie erfolgt die Regulation der Atmung? Der menschliche Körper ist in der Lage, sowohl willkürlich als auch unwillkürlich die Atmung über einen Regelkreis zu beeinflussen. Das Atemzentrum befindet sich als Teil des ZNS im verlängerten Rückenmark, der *Medulla oblongata*. Es besteht aus verschiedenen Neuronengruppen, die die Atmungsaktivitäten während In- und Exspirationsphase (Ein- und Ausatmen) kontrollieren. Für eine optimale Atmung ist eine gegenseitige Hemmung der verschiedenen Gruppen möglich, wobei das pneumotaktische Zentrum den Rhythmus vorgibt. Chemorezeptoren in Halsschlagader und Aorta messen die $CO_2$- und $O_2$-Konzentration sowie den pH-Wert im Blut und geben diesen Istwert an das Atemzentrum weiter. Es erfolgt ein Vergleich mit dem Sollwert des Gehalts. Bei Nichtübereinstimmung werden über motorische Neurone Zwerchfell- und Rippenmuskulatur beeinflusst.

Alles heiße Luft? Von wegen! In unserem praktischen Teil drehte sich alles um die Anatomie der menschlichen Lunge. Das vorher erlangte Fachwissen konnte beim Sezieren einer echten Schweinlunge angewendet werden! Durch das Lernen am Original erforschten wir den Weg der Luft bis in die Alveolen. Besonders der Bronchialbaum und die Blutgefäße, die die Lunge durchziehen, ließen sich eindrucksvoll verfolgen. Das Aufblasen der Schweinlunge demonstrierte beeindruckend die Ausdehnungsfähigkeit der Lunge, denn ihr Volumen nimmt dabei bis zur Lungenbasis hin enorm zu. Auch die Konsistenz der Lunge und ihre Oberflächenstruktur ertasteten die Teilnehmer am Original. Es ließ sich in eindrucksvoller Weise von den Strukturen auf die Funktion des Organs schließen und somit der Zusammenhang von Struktur und Funktion als ein wesentliches Basiskonzept der Biologie erkennen. Der Aufbau der Trachea mit ihren einzeln ertastbaren Knorpelringen zum Beispiel sorgt für ihre Stabilität und Widerstandsfähigkeit.

Nach anfänglichen Berührungsängsten waren am Ende des Kurstages alle Teilnehmer begeistert.

**Quellen**


- Bayrhuber, Horst; Kull, Ulrich; Linder, Hermann: *Linder Biologie*, Schroedel Verlag, Hannover, 1999

- Berends, Annemarie; Würmli, Marcus: *Atlas der Medizin*, Manfred Pawlak Verlagsgesellschaft, Herrsching, 1985
- Clauss, Cornelia; Clauss, Wolfgang: *Humanbiologie kompakt*, Spektrum Verlag, Heidelberg, 2009
- Graupner, Heinz; Simon, Klaus H.: *Das Lexikon der Medizin*, Ullstein Verlag, Frankfurt am Main, 1970
- Rayner, Claire; Schwab, Jürgen: *Der Mensch, Die Wunder und Rätsel unseres Lebens*, Lingen Verlag, Köln, 1984


## 5.2 Pulmonaler Gasaustausch und Prozesse des Atemgastransports

Viktor Warkentin
Betreuerin: Ulrike Hadlok

Auf unserer Entdeckungsreise durch den menschlichen Körper beschäftigten wir uns ausführlich mit den Vorgängen während der Atmung. Unser respiratorisches System sorgt für den lebenswichtigen Gasaustausch zwischen Körper und Umgebung. Doch was passiert beim pulmonalen Gasaustausch im Detail? Wie erfolgen Sauerstoffaufnahme und Kohlenstoffdioxidabgabe in den Atemorganen?

Der Ort der Respiration ist die Lunge. Genauer betrachtet sind es die Alveolen, in denen der vielverzweigte Bronchialbaum innerhalb der Lungenflügel mündet. Ein Erwachsener besitzt ca. 300 Millionen Alveolen, die insgesamt eine Gesamtoberfläche von 80-140m$^2$ für den Gasaustausch bilden. Ein sehr dichtes Kapillarnetz sorgt für eine optimale Durchblutung des Gewebes. Die alveolokapilläre Membran ist einen Mikrometer dick. Diese dünne Barriere begünstigt, neben der großen Austauschfläche, die Diffusion der Atemgase. Beim pulmonalen Gasaustausch diffundiert Sauerstoff aus den Alveolen ins Blut sowie Kohlenstoffdioxid aus dem Blut in die Alveolen. Dies basiert auf physikalischen Gesetzen: Unsere Luft besteht zu 78% aus Stickstoff, 0,96% aus Edelgasen, 21% aus Sauerstoff und 0,04% aus Kohlenstoffdioxid. Jedes dieser Gase trägt einen Teildruck (Partialdruck) entsprechend seines Volumenanteils zum Gesamtdruck des Gasgemischs bei. Die Partialdruckdifferenz von Sauerstoff und Kohlendioxid zwischen Alveolarluft und Blut in den Kapillaren ist also die treibende Kraft für die Diffusion. Der Partialdruck von $O_2$ ist mit 13,33 kPa in den Alveolen höher als in den Kapillaren ($p(O_2) = 5{,}33$ kPa), sodass Sauerstoff ins Blut diffundiert. Dies geschieht in umgekehrter Richtung mit $CO_2$. Es kommt in den Lungenkapillaren zu einem Angleich der Sauerstoff- und Kohlenstoffdioxidpartialdrücke an die alveolaren Werte. Im Blut diffundiert der Großteil des Sauerstoffs in die Erythrozyten und wird von Hämoglobin gebunden. Das menschliche Atmungspigment Hämoglobin ist ein Protein-Tetramer, das aus vier Untereinheiten mit jeweils einer Häm-Gruppe besteht. Das Häm bindet zentral an ein Eisenatom, welches die Bindungsstelle für ein Sauerstoffmolekül ist. Sauerstoff wird auf diese Weise zu den Geweben transportiert, die diesen für die oxidative Verbrennung der Nährstoffe benötigen. Verschiedene Faktoren am Zielort erleichtern die Sauerstoffabgabe, da sie die Affinität von Hämoglobin zu Sauerstoff beeinflussen: Zunahme des $CO_2$-Gehalts in der Umgebung, pH-Wert sowie eine erhöhte Temperatur. Diese Abhängigkeit der Sauerstoffbindung nennt man Bohr-Effekt. Gleichzeitig wird durch diese Bedingungen die Aufnahme von Kohlenstoffdioxid, das aus den Geweben ins Blut diffundiert, begünstigt. Es wird als Stoffwechselendprodukt in die Lunge befördert und ausgeatmet.

Die regelmäßige Belüftung der Lunge (Ventilation) ist ein rhythmischer Wechsel zwischen Inspiration und Exspiration. Dabei unterscheidet man verschiedene Volumina und Kapazitäten der Lunge, die unter anderem abhängig von Geschlecht, Alter, Körpergröße und Kondition sind. Die wichtigsten Größen

sind das Atemzugvolumen, welches dem In- bzw. Exspirationsvolumen bei Erwachsenen in Ruhelage entspricht (ca. 0,5l), das Residualvolumen, welches das in der Lunge zurückbleibende Volumen nach maximaler Exspiration beschreibt und ein Kollabieren verhindert (ca. 1,3l - 1,6l), und die Vitalkapazität als Summe aus Atemzugvolumen, inspiratorischem und exspiratorischem Reservevolumen (ca. zwischen 3l - 5,5l).

Wer hat den längsten Atem und warum? Im praktischen Teil konnten wir unsere Lungenleistungsfähigkeit unter Beweis stellen. Dabei wurde die eigene Vitalkapazität mithilfe eines Spirometers erfasst. Dieser misst Veränderungen der Lungenvolumina bei In- und Exspiration. Die einzelnen persönlichen Volumina und Kapazitäten wurden mit Hilfe des Computerprogramms „CassyLab“ aufgezeichnet. Um den Gegebenheiten des Gasaustauschs näher auf den Grund zu gehen, führten wir weitere Versuche durch: Sie dienten zum einen dem Nachweis eines unterschiedlichen Gehalts an $CO_2$ in Ein- und Ausatmungsluft: Mithilfe von Phenolphtalein und Kalkwasser konnten hierbei auf Basis chemischer Reaktionen Kohlenstoffdioxidanreicherungen in der Ausatmungsluft sichtbar gemacht werden. Zum anderen dienten einfache Versuche mit Kerzen dem Nachweis des Sauerstoffverbrauchs. Hierbei wurde die Brenndauer der Kerzen unter verschiedenen Ausgangsbedingungen gemessen. Anhand dieser Messergebnisse berechneten wir den verbleibenden Sauerstoffgehalt. Insgesamt konnten wir durch intensive Forschung unser Wissen über die Ventilation der Lunge und den Gasaustausch vertiefen.

**Quellen**


- Berends, Annemarie; Würmli, Marcus: *Atlas der Medizin*, Manfred Pawlak Verlagsgesellschaft, Herrsching, 1985
- Clauss, Cornelia; Clauss, Wolfgang: *Humanbiologie kompakt*, Spektrum Verlag, Heidelberg, 2009
- Faller, Adolf; Schünke, Michael:. *Der Körper des Menschen - Einführung in Bau und Funktion*, 16. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 2012
- Graupner; Heinz, Simon, Klaus H.: *Das Lexikon der Medizin*, Ullstein Verlag, Frankfurt am Main, 1970
- Schmidt, Robert F.; Lang, Florian; Heckmann, Manfred: *Physiologie des Menschen*, 31. Auflage. Springer Verlag, Heidelberg, 2010
- Silbernagel, Stefan; Despopoulos, Agamemnon: *Taschenatlas der Physiologie*, 6. Auflage. Thieme Verlag, Stuttgart, 2003


## 5.3 Visuelle Wahrnehmung und optische Verarbeitung

Mariam Rizk
Betreuerin: Marie Gottfried

Während des Kurstages zur visuellen Wahrnehmung und optischen Verarbeitung wurde die Leistungsfähigkeit des menschlichen Auges getestet. Mithilfe mehrerer Experimente konnten der Aufbau des Auges und die optische Verarbeitung der Lichtreize in dem lichtempfindlichen Teil unseres Auges, der Netzhaut, und unserem Gehirn untersucht werden.

**Die Retina (Netzhaut)**

Die Netzhaut (Retina) liegt der Wand des Augapfels innen auf. Sie ist der Ort, an dem die Lichtreize in elektrische Signale umgewandelt werden. Die Retina ist schichtenförmig aufgebaut. Sie wird in *Stratum*

*neuroepitheliale*, *Stratum ganglionare retinae* und *Stratum ganglionare nervi optici* unterteilt. Das *Stratum neuroepitheliale* beinhaltet das erste Neuron der Sehbahn, die Photorezeptoren. Sie absorbieren Licht und wandeln es in ein elektrisches Signal um. Die Photorezeptoren sind synaptisch verbunden mit den bipolaren Retinaganglienzellen, dem zweiten Neuron, die in dem *Stratum ganglionare retinae* zu finden sind. Zu diesen zählen die Bipolarzellen, die Amakrinzellen und die Horizontalzellen. Bipolarzellen übertragen die Signale der Stäbchen und Zapfen an die nachfolgenden Ganglienzellen. Die Ganglienzellen, die die Information aus dem Auge an das Gehirn weiterleiten, befinden sich in dem *Stratum ganglionare nervi optici* und sind das dritte Neuron der Netzhaut. Ihre Axone bilden den *Nervus opticus* und ziehen direkt zum primären Sehzentrum im Gehirn. Die Netzhaut enthält die sogenannte Netzhautgrube (*Fovea centralis*), die Stelle, an der der Mensch am schärfsten sieht.

### Die Photorezeptoren (Zapfen und Stäbchen)

Die Netzhaut besitzt zwei Photorezeptortypen, die an verschiedene Lichtintensitäten angepasst sind. Dabei sind die weniger lichtempfindlichen Zapfen für das Farbsehen zuständig. Sie liegen in die gesamte Netzhaut verteilt, wobei ihre Dichte in der *Fovea centralis* am höchsten ist. Die extrem lichtempfindlichen Stäbchen sind dagegen für die Helligkeitswahrnehmung von Bedeutung. Sie befinden sich anders als die Zapfen nicht in der *Fovea centralis*. Insgesamt gibt ca. 120 Millionen Stäbchen und 6 Millionen Zapfen.

### Die Phototransduktion

Die Phototransduktion bezeichnet die Umwandlung eines Lichtreizes in ein elektrisches Signal. Sie findet in den Photorezeptorzellen statt. Die beiden Photorezeptortypen enthalten unterschiedliche Sehpigmente, Stäbchen das Sehpigment Rhodopsin und Zapfen verschiedene Zapfenopsine. Das auftreffende Licht verändert die Konformation des Sehpigments. Diese Veränderung aktiviert wiederum eine Signaltransduktionskaskade, sodass ein Signalpotenzial ausgebildet wird, das an die nachgeschalteten Neurone weitergeleitet wird. Ausschließlich die Ganglienzellen generieren Aktionspotentiale.

### Verschaltung und Auflösungsvermögen des Auges

Das Auflösungsvermögen des Auges wird in räumliches und zeitliches Auflösungsvermögen unterteilt und gibt Aufschluss über die Leistungsfähigkeit des Auges.

Das räumliche Auflösungsvermögen, also die Fähigkeit zwei Punkte gerade noch voneinander unterscheiden zu können, ist in der *Fovea centralis* am höchsten. An diesem Ort sind die Zapfen auf Bipolar- und Ganglienzellen im Verhältnis 1:1 verschaltet, wodurch die Sehschärfe positiv begünstigt wird. Dagegen laufen in der Netzhautperipherie die Informationen mehrerer Stäbchen an einer Ganglienzelle zusammen (konvergente Verschaltung). Der Visus, als Maß für die Sehschärfe, kann mithilfe eines standardisierten Sehtests ermittelt werden. Normalsichtige mit einem Visus von 1 können in 5 m Entfernung gerade noch zwei Punkte unterscheiden, die einen Abstand von 1,5 mm haben. Unter diesen Bedingungen beträgt der minimale Sehwinkel Alpha, d.h. der Winkel unter dem ein Objekt wahrgenommen wird, 0,0172°. Der Visus wird definiert als Quotient aus dem individuell berechneten minimalen Sehwinkel und dem Normwert 0,0172°. Die Ergebnisse aus dem Kurs stimmen mit dem Literaturwert überein. Zusätzlich kann die Größe des Netzhautbildes in der *Fovea centralis* berechnet werden. Dabei wird die Größe des Netzhautbildes durch die Anordnung der Zapfen im Bereich der *Fovea centralis* auf 2,5 - 4 begrenzt.

Ein weiteres Kriterium zur Leistungsbeschreibung des Auges stellt das zeitliche Auflösungsvermögen dar. Darunter wird die Fähigkeit verstanden, kurz hintereinander auftretende Lichtreize getrennt voneinander wahrzunehmen. Dabei beschreibt die Flimmerfusionsgrenze genau die Anzahl von Bildern

pro Sekunde, bei denen einzelne Bilder nicht mehr voneinander unterschieden werden können, sondern als Standbild wahrgenommen werden. Zur Bestimmung des minimalen zeitlichen Auflösungsvermögens werden Flimmerfusionskästen eingesetzt. Die Flimmerfusionsgrenze wird mithilfe von Lichtreizen mit verschieden Frequenzen bei unterschiedlicher Lichtintensität getestet. Da die Stäbchen für das skotopische Sehen (Nachtsehen) verantwortlich sind, gibt die Flimmerfusionsgrenze, die bei einer geringen Lichtintensität zwischen 20-30 Hz liegt, Aufschluss über das zeitliche Auflösungsvermögen der Stäbchen. Im Vergleich dazu liegt die Flimmerfusionsgrenze der Zapfen, die während des photopischen Sehens aktiv sind, bei 60-80 Hz. Stäbchen haben demnach ein wesentlich geringeres zeitliches Auflösungsvermögen als die Zapfen. Dies wird unter anderem durch das längere Aufsummieren des einfallenden Lichtes, die langsamere Regeneration der Sehpigmente sowie die konvergente Verschaltung der Stäbchen bedingt.

**Quellen**


- Engel, Andreas; Bear, Mark F.; Connors, Barry W.; Paradiso, Michael A.: *Neurowissenschaften. Ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin, Psychologie*, 3. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2009
- Faller, Adolf; Schünke, Michael: *Der Körper des Menschen. Einführung in Bau und Funktion*, 15. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 2008
- Reichert, Heinrich: *Neurobiologie*, 2. neuerarbeitete und erweiterte Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 2000


## 5.4 Auditive Wahrnehmung

Michelle Möll
Betreuerin: Larissa Stelzer

Jeder Mensch nimmt zu jeder Zeit über seine Sinnesorgane eine Unmenge an Informationen auf. Dieses gilt insbesondere für den Gehörsinn, der fast ununterbrochen von Schallereignissen gereizt wird. Die Reize müssen beim Hörvorgang unmittelbar bewertet werden. Es muss zwischen relevanten Reizen und Störgeräuschen unterschieden werden, um einer Reizüberflutung vorzubeugen.

**Der Schall**

Unter Schall versteht man (im Falle der Luftleitung) kleinste Druckschwankungen im Medium Luft. Der Schall breitet sich dabei im Medium als Welle aus, die im Frequenzbereich von 16 Hz bis 20 kHz vom menschlichen Gehör detektiert werden kann. Die Schallwellen werden durch die Amplitude und Frequenz genauer beschrieben. Dabei bezeichnet die Frequenz die Tonhöhe und die Amplitude die Lautstärke.
Da das Spektrum der Schallintensität, d.h. der Schalldruck, der auf das Gehör wirkt, sehr groß ist, führt er zu umständlich großen Zahlenwerten. Daher verwendet man zur Vereinfachung die Einheit des Schalldruckpegels, der in Dezibel (dB) angegeben wird. Der Schalldruckpegel steht im logarithmischen Verhältnis zu einem festgelegten Bezugsschalldruck ($P_0$) ($L = 20 \log P_x/P_0$). Durch dieses Verhältnis ergibt sich somit aus einer Zunahme des Schaldruckpegels um nur 20 dB eine Verzehnfachung des tatsächlichen Schalldrucks.
Schallereignisse unterscheidet man in Ton, Klang und Geräusch. Töne selbst kommen in der Natur nicht vor und bestehen aus nur einer periodischen Sinusschwingung. Der Klang hingegen setzt sich aus einem Grundton mit mehreren Obertönen zusammen, wie z.B. beim Anschlagen einer Gitarrensaite. Das Geräusch beinhaltet in erster Linie unsere alltäglichen Schallereignisse, die alle Frequenzen des

Hörbereichs umfassen. Im Gegensatz zum Ton und Klang ist eine Periode nicht mehr eindeutig erkennbar.

### Aufbau des Gehörs

Das Ohr wird in die drei Bereiche Außenohr, Mittelohr und Innenohr unterteilt. Die Ohrmuschel und der Gehörgang bilden das Außenohr. Das Trommelfell beschreibt die Grenze zum Mittelohr, in dem die Gehörknöchelchen (Hammer, Amboss, Steigbügel) liegen, welche die kleinsten Knochen im menschlichen Körper sind. Der Steigbügel endet am ovalen Fenster, das den Übergang zum Innenohr bildet. Das Innenohr besteht aus der Cochlea (Gehörschnecke) und dem vestibulären Labyrinth (Gleichgewichtsorgan). Der flüssigkeitsgefüllte Raum der Cochlea lässt sich in drei Skalen (Schläuche) und das Corti-Organ unterteilen. Dieses beinhaltet die eigentlichen Hörsinneszellen, die sog. Haarzellen, die über spezielle Fortsätze (Stereovilli) für die Detektion des Schalls entscheidend sind. Angeordnet sind die Haarsinneszellen in drei äußeren und einer inneren Reihe.

### Funktion des Gehörs

Hören ist uns nur durch eine Transformation der Schallwellen in elektrische Impulse möglich. Die Schallwellen treffen auf das Ohr und werden durch den Gehörgang zum Trommelfell geleitet und versetzen dieses in Schwingung. Die Vibration wird von den drei Gehörknöchelchen auf das ovale Fenster der Cochlea übertragen. Der Trommelfell-Gehörknöchelchen-Apparat passt damit die Impedanz der Luft an die Impedanz der Flüssigkeit im Innenohr an. Das Schallereignis versetzt die Flüssigkeit innerhalb der Cochlea in eine Auf- und Abwärtsbewegung, die sich als sog. Wanderwelle über die gesamte Cochlea fortsetzt. Diese wird am Corti-Organ durch die äußeren Haarzellen verstärkt und führt damit zu einem frequenzabhängigen ortsspezifischen Maximum (Tonotopie). Durch die verstärkte Strömung werden die Stereovilli der inneren Haarzellen erregt, wobei das bisher mechanische Signal in ein elektrisches Signal umgewandelt wird (Transduktion). Über nachgeschaltete Neuronen wird das elektrische Signal letztendlich an den auditiven Cortex weitergeleitet.

### Richtungshören

Mit Hilfe von einfachen Versuchen konnten wir die minimale Zeitdifferenz bestimmen, mit der ein Schallreiz das rechte und linke Ohr erreichen muss, damit eine Richtungsbestimmung gerade noch möglich ist (ca. 30 $\mu$s). Die eigentliche Lokalisation der Schallquelle erfolgt im Hirnstamm durch spezielle Neuronen, die sog. Koinzidenz-Detektoren. Mit Hilfe dieser Detektoren registriert das Gehirn durch versetzte Überlagerung von Aktionspotenzialen den zeitlichen Unterschied der auftreffenden Schallwellen.

### Weber-Rinne-Versuch

Durch die Weber- und Rinneversuche ist es möglich, mit Hilfe von Stimmgabelversuchen die Funktionsfähigkeit der Ohren zu überprüfen und bestimmte Krankheitsbilder zu diagnostizieren. Beim Weber-Versuch haben wir zuerst die Stimmgabel angeschlagen und mittig auf der Stirn am Haaransatz angesetzt. Bei gesunden Ohren wird auf beiden Seiten der Ton gleich laut wahrgenommen.

Beim Rinne-Versuch wird die angeschlagene Stimmgabel zuerst an den Schädelknochen direkt hinter dem Ohr (Mastoid) gehalten. Sobald der Ton nicht mehr wahrgenommen wird, wird die Stimmgabel vor die Ohrmuschel geführt. Ist die Weiterleitung des Schalls nicht geschädigt, ist der Ton nun wieder hörbar, da es bei der Luftleitung zu einer Schallverstärkung im Mittelohr kommt. Die Luftleitung ist daher sensibler als die reine Knochenleitung direkt ins Innenohr.

**Quellen**


- Schmidt, Robert F.; Lang, Florian; Heckmann, Manfred: *Physiologie des Menschen*, 31. Auflage. Springer Verlag, Heidelberg, 2010
- Weber, Ulrich (Hrsg.): *Biologie Oberstufe Qualifikationsphase*, 2. Auflage. Cornelsen: Berlin, 2009
- Zenner, Hans-Peter: *Die Kommunikation des Menschen: Hören und Sprechen*, in: Schmidt, Robert F.; Lang, Florian; Heckmann, Manfred (Hrsg.): *Physiologie des Menschen*, 31. Auflage, Springer-Verlag, 2011
- `http://www.gemeinsam.igaoptic.de/hoerakustik/das-ohr/das-ohr-aufbau.jpg` (07.07.2013)


## 5.5 Ernährungsphysiologie

Marie-Therese Heberer
Betreuerin: Katharina Vogl

Ernährung meint laut Neil A. Campbell et al. die „Aufnahme fester, flüssiger und gasförmiger organischer und anorganischer Substanzen zur Deckung des Energiebedarfs aller Lebensvorgänge“.

Der Mensch zählt aufgrund dieser Art der Nahrungsaufnahme zu den heterotrophen Lebewesen und ist somit auf die Produktion organischer Verbindungen durch autotrophe Organismen angewiesen. Durch die Nahrung müssen daher Proteine, Kohlenhydrate, Lipide sowie essentielle Substanzen wie Mineralien, Vitamine und einzelne Aminosäuren aufgenommen werden. Der humane Stoffwechsel ist optimal auf eine Kombination aus tierischer und pflanzlicher Ernährung ausgerichtet. Einseitige Nahrungsaufnahme kann zu Mangelerscheinungen führen.

Weiterhin werden über die Nahrung auch Schadstoffe aufgenommen, die gesundheitsschädliche Wirkungen haben können. Als Schadstoffe werden Substanzen bezeichnet, die abhängig von ihrer Konzentration und Einwirkungsdauer einen negativen Einfluss auf Menschen, Tiere und Pflanzen haben. Unter anderem durch die Industrialisierung reichern sich immer mehr Schadstoffe in der Umwelt an, die unter natürlichen Umständen überhaupt nicht oder nicht in einer so hohen Konzentration vorkommen.

Außerdem können in der Nahrung Zusatzstoffe vorliegen. Beispielsweise werden vielen Fertigprodukten Zusatzstoffe zugesetzt, um sie haltbarer zu machen, die Farbe zu intensivieren oder den Geschmack zu verstärken. Ein anderes Beispiel ist die Maillard-Reaktion. Diese Reaktion vollzieht sich bei sehr hohen Temperaturen (u.a. beim Braten von Fleisch). Bei den Maillard-Reaktionen reagieren Aminosäuren mit reduzierenden Zuckern unter Abspaltung von $H_2O$ miteinander. Reduzierende Zucker sind Zucker, die Elektronen in einer chemischen Reaktion abgeben können. In mehrstufigen Reaktionen entstehen auf diese Weise die charakteristischen angenehmen Aromen und die typische dunklere Farbe des Fleischs. Diese Reaktionen haben eine sehr hohe Aktivierungsenergie. Jedoch kommt es bei sehr starker weiterer Temperaturerhöhung zu unerwünschten Nebenprodukten, die eine krebserregende Wirkung haben können, wie zum Beispiel das Acrylamid.

Desweiteren können insbesondere in pflanzlichen Produkten Nitrate vorliegen. Die Art der Lagerung ist hierbei ein Faktor für deren unterschiedlichen Gehalt. Mikroorganismen im Produkt wandeln sie in Nitrite um. Einerseits wird die im Mund durch Bakterien entstehende zahnschmelzangreifende Säure durch Nitrite neutralisiert. Nitrite sorgen anderseits in hohen Konzentrationen für Erschlaffung der glatten Muskulatur von Blut- und Lymphgefäßen und für eine Reaktion mit dem Eisen des Hämoglobins. In Kombination mit sekundären oder primären Aminen aus Fleisch, Fisch und Milchprodukten entstehen in saurem Milieu Nitrosamine. Diese können an das Erbgut binden und dieses verändern.

Der gesamte Energieumsatz eines Menschen setzt sich aus Grund- und Leistungsumsatz zusammen. Der tägliche Energiebedarf eines Lebewesens kann über direkte oder indirekte Kalorimetrie ermittelt werden. Bei der direkten Kalorimetrie wird der Energieumsatz im aktiven Zustand über die Wärmeabgabe (Leistungsumsatz) ermittelt, während er bei der indirekten Kalorimetrie im passiven Zustand über die Atemgase festgestellt werden kann (Grundumsatz). Durch Addition von Leistungs- und Grundumsatz erhält man in der Summe den Gesamtumsatz. Die Bereitstellung der benötigten Energie erfolgt hierbei entweder über aerobe Zellatmung oder anaerobe Gärung.

Stimmen Energiebedarf und bereitgestellte Menge an Energie durch die Nahrungsaufnahme nicht überein, kann es zu Über- bzw. Untergewicht kommen. Ob eine derartige Gewichtsstörung vorliegt, kann bei Erwachsenen über die Berechnung des jeweiligen Bodymassindexes (BMI = Körpergewicht in kg / Körpergröße in $m^2$) und anschließende Überprüfung des Wertes in speziellen Tabellen erfolgen.

Zum Thema Analysemethoden wurden Nahrungsmittel mit verschiedenen Nachweis-Methoden auf ihre Bestandteile hin untersucht. Im Vordergrund standen die Bestandteile Zucker, Fette, Proteine, die jeweils über die bekannten Nachweise: Fehling, Sudan-III und Biuret nachgewiesen werden konnten. Nicht nur diese Makronährstoffe waren Teil der praktischen Durchführung, sondern auch die angesprochenen potenziellen Gefahrenstoffe, die in Lebensmitteln enthalten sein können. Der Nitrat- und Nitritgehalt wurde im Spinat und im Speichel überprüft. Das Ergebnis zeigte, dass im Speichel ca. 250 mg/l Nitrate und 20 mg/l Nitrite befinden, was nach den Richtlinien der WHO schon über dem duldsamen Bereich liegt. Ein weiterer untersuchter Gefahrenstoff war das Acrylamid, das wie erwähnt in der Maillard-Reaktion entsteht, die verantwortlich ist für die Röstaromaentfaltung. Viele Röstaromen werden großtechnisch hergestellt und sind auf den Produkten als E-Nummern angegeben. Diese wurden im Rahmen der Hessischen Schülerakademie aus fünf Aminosäuren selbst hergestellt.

**Quellen**


- Brechner, Elke; Dinkelaker, Barbara; Dreesmann, Daniel (Hrsg.): *Kompaktlexikon der Biologie. Bd. 1: A bis Fotom*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2005
- Campbell, Neil A.; Reece, Jane B.: *Biologie*, 6. Auflage, Pearson Studium, München, 2006
- Hillesheim, Margarethe: *Abitur - Clever vorbereitet: Biologie*, Tandem Verlag, Potsdam, 2010
- Kleinert, Reiner: *Biologie Oberstufe: Stoffwechsel*, Mentor Verlag, München, 2006
- Probst, Wilfried (Hrsg.): *Duden Basiswissen Schule - Biologie Abitur*, 3. Auflage, Dudenverlag, Berlin, 2011
- Triebel, Hans-Dieter: *Kompakt-Wissen Biologie: Zellen und Stoffwechsel, Nerven, Sinne und Hormone, Ökologie*, Stark Verlag, Hallbergmoos, 2005


## 5.6 Enzymaktivität in Eukaryonten am Beispiel der Laktase

Ginger Sara Sims
Betreuerin: Katharina Vogl

Enzyme sind Proteine, die noch durch weitere Bestandteile ergänzt sein können. Sie sind als Katalysatoren an biochemischen Stoffwechselreaktionen in unserem Körper beteiligt. Enzyme beschleunigen Stoffwechselvorgänge, indem sie die Aktivierungsenergie herabsetzen, wobei sie während der Reaktion nicht verbraucht werden. Die räumliche Struktur und die Eigenschaften der Aminosäureseitenketten sind entscheidend für die katalytische Wirkung. Enzyme sind substrat- und wirkungsspezifisch. Sie arbeiten vereinfacht gesagt nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip. Die Induced Fit-Theorie erweitert diese modellhafte Vorstellung.

### Struktur

Die Struktur von Proteinen und somit auch von Enzymen wird unterteilt in die Primär-, Sekundär-, Tertiär- und Quartärstruktur.

Zusammengesetzt ist ein Protein aus Aminosäuren. Die Aminosäuren sind über Peptidbindungen miteinander verbunden, die unter Wasserabspaltung bei der Reaktion der Carboxylgruppe der einen Aminosäure mit der Aminogruppe einer zweiten Aminosäure entstehen. Die Reihenfolge oder Sequenz der Aminosäuren in einer langen Kette, einem Polypeptid, nennt man Primärstruktur. Sie ist für jedes Protein typisch. Sie legt bereits die spezifischen Eigenschaften des späteren Proteins fest.

Mit der Sekundärstruktur beschreibt man Windungen ($\alpha$-Helices) und Faltungen ($\beta$-Faltblätter), die durch Wechselwirkung zwischen den Restegruppen (Seitenketten) der Aminosäuren über Wasserstoffbrückenbindungen eine regionale Struktur bilden. Die vollständige dreidimensionale Anordnung im Raum wird als Tertiärstruktur bezeichnet. Neben den vergleichsweise schwachen Wechselwirkungen, wie H-Brücken, Ionenbindungen und hydrophoben Wechselwirkungen, wird die räumliche Struktur noch zusätzlich über kovalente Bindungen durch Disulfid-Brücken stabilisiert. Das Ergebnis ist ein fertiges Protein oder auch Proteinuntereinheit. Lagern sich mehrere Untereinheiten zu einem Proteinkomplex zusammen, spricht man von der Quartärstruktur.

### Hemmung und Regulation

Durch Genregulation könne Gene, die für bestimmte Enzyme codieren, nach Bedarf an- und abgeschaltet werden, sodass die Enzymkonzentration variiert werden kann. Diese Form der Regulation ist jedoch sehr träge.

Bei der kompetitiven Hemmung konkurrieren das Substrat und ein substratähnlicher Hemmstoff (Inhibitor) um die Bindungsstelle am Enzym. Bei geringer Substratkonzentration ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass der vorliegende Inhibitor statt des Substrats an das Enzym bindet. Ohne umgesetzt zu werden blockiert der Inhibitor das aktive Zentrum, und die Umsetzung zum eigentlichen Endprodukt der enzymatischen Reaktion kommt zum Erliegen.

Im Gegensatz zur kompetitiven Hemmung bindet bei der allosterischen Regulation der Inhibitor oder ein Aktivator an einer separaten Bindungsstelle am Enzym, dem regulatorischen Zentrum. Dadurch wird eine Konformationsänderung des Enzyms und des aktiven Zentrums herbeigeführt, die zur Folge hat, dass die Affinität des Substrats gesenkt oder gesteigert wird.

### pH-Wert- und Temperaturabhängigkeit

Temperatur und pH-Wert haben einen großen Einfluss auf die Enzymaktivität. Nimmt die Temperatur zu, steigt auch die Enzymaktivität, da sich die Moleküle schneller bewegen und so die Wahrscheinlichkeit erhöht wird, dass sich Substrat und Enzym begegnen. Jedes Enzym besitzt ein Temperaturoptimum. Wird die Temperatur darüber hinaus erhöht, denaturiert das Enzym und verliert seine Funktionalität. Neben einem Temperaturoptimum haben Enzyme auch ein pH-Wert-Optimum.

### Laktase

Das Enzym Laktase kommt natürlich im Verdauungstrakt von Säugetieren im Säuglingsalter vor. Es spaltet dort das Disaccharid Laktose in die Monosaccharide Glucose und Galactose. Sie können im Gegensatz zur Laktose vom Körper resorbiert werden. Durch einen Gendefekt kann das Enzym auch nach dem Säuglingsalter weiterproduziert werden. Menschen, die diesen Gendefekt nicht besitzen, haben eine Laktoseintoleranz. Dabei wird das Enzym Laktase entweder gar nicht oder nicht in ausreichender Menge produziert. Dadurch gelangt der Milchzucker unverdaut bis in den Dickdarm, wo er von den

dort angesiedelten Bakterien vergoren wird. Durch den Gärungsprozess entstehen vermehrt Gase und anorganische Säuren, welche die Ursache für Blähungen, Durchfall und Darmkrämpfe sind. Ca. 15-20% der mitteleuropäischen Bevölkerung leiden an Laktoseintoleranz.

**Experimente**

Im praktischen Teil wurde das Wirkungsspektrum des Enzyms Laktase unter verschiedenen Bedingungen experimentell untersucht. Dabei wurde in Proben unterschiedlicher Zusammensetzung jeweils über ein Endprodukt der enzymatischen Reaktion die Anwesenheit von Laktase nachgewiesen und der Laktasegehalt bestimmt. Anschließend wurde die Enzymaktivität von Laktase bei verschiedenen Laktosekonzentrationen in Sojamilch, Kondensmilch und Kuhmilch über die Spaltprodukte überprüft.

**Quellen**


- Brechner, Elke; Dinkelaker, Barbara; Dreesmann, Daniel (Hrsg.): *Kompaktlexikon der Biologie. Bd. 1: A bis Fotom*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2005
- Campbell, Neil A.; Reece, Jane B.: *Biologie*, 6. Auflage, Pearson Studium, München, 2006
- Hillesheim, Margarethe: *Abitur - Clever vorbereitet: Biologie*, Tandem Verlag, Potsdam, 2010
- Kleinert, Reiner: *Biologie Oberstufe: Stoffwechsel*, Mentor Verlag, München, 2006
- Probst, Wilfried (Hrsg.): *Duden Basiswissen Schule - Biologie Abitur*, 3. Auflage, Dudenverlag, Berlin, 2011
- Triebel, Hans-Dieter: *Kompakt-Wissen Biologie: Zellen und Stoffwechsel, Nerven, Sinne und Hormone, Ökologie*, Stark Verlag, Hallbergmoos, 2005
- Weber, Ulrich (Hrsg.): *Biologie Oberstufe Gesamtband*, 2. neubearbeitete Auflage, Cornelsen Verlag, Berlin, 2010
- `http://www.uni-duesseldorf.de/MathNat/Biologie/Didaktik/Thomas/seiten/enzyme/frenzy1.html` (13.07.2013)


## 5.7 Physiologische Grundlagen des Herzens

Lena Ferreira Hain
Betreuerin: Marie Schmidt

Es ist nur faustgroß, wiegt etwa 300g und trotzdem ist es eines der wichtigsten Organe unseres Körpers, ohne das wir nicht überleben könnten – unser Herz. Es pumpt pro Minute einmal unser gesamtes Blutvolumen von 4 - 5 Litern durch den Körper. Wie kann so ein kleines Organ eine solche Leistung erbringen?

**Lage und Anatomie des Herzens**

Unser Herzmuskel liegt geschützt vom Perikardbeutel (Herzbeutel) im Mediastinum unseres Brustkorbs. Generell wird das Herz in eine linke und eine rechte Herzhälfte unterteilt. Diese bestehen jeweils aus einem Ventrikel (Herzkammer) und einem Atrium (Vorhof). Getrennt werden rechte und linke Herzhälfte durch das Septum (Herzscheidewand). Die Herzwand besteht aus drei Schichten. Das Epikard, die äußerste Schicht, schützt das Herz nach außen hin. An das Epikard schließt sich das Myokard an, die Herzmuskelschicht, die für die Kontraktion und Pumpleistung des Herzens verantwortlich ist. Das nachfolgende Endokard dient als glatte Übergangsschicht zu den eigentlichen Herzkammern.

**Physiologie des Herzens**

Die beiden Körperhohlvenen, die *vena cava superior* und die *vena cava inferior*, transportieren das venöse Blut aus dem Körperkreislauf in das rechte Atrium. Dort wird zunächst das Blut gesammelt.

Durch die Kontraktion der Atrien wird das Blut dann durch die geöffneten Segelklappen, die Triskuspidalklappen, in den rechten Ventrikel gepumpt. Durch das einströmende Blut steigt der Druck innerhalb des Ventrikels stark an, solange, bis das Ventrikelmyokard während der Ventrikelsystole ebenfalls kontrahiert, sich die Segelklappen schließen und das Blut durch die sich öffnenden Taschenklappen, die Pulmonalklappen, in die abführende Pulmonalarterie gepumpt wird. Die Atrien entspannen während der Ventrikelsystole wieder und füllen sich erneut mit Blut, ein neuer Zyklus beginnt. Über die rechte und linke Pulmonalaterie gelangt das Blut über den Lungenkreislauf in die Lunge, wo es mit Sauerstoff angereichert wird. Über die rechte und linke Lungenvene wird das arterielle Blut dann wieder zum Herzen transportiert, wo es über das linke Atrium, die Mitralklappen, den linken Ventrikel und die Pulmonalklappen wieder in den Körperkreislauf gelangt.

**Blutdruck**

Die Pumptätigkeit des Herzens läuft in Perioden ab, die sich in zwei Phasen unterteilen, die Kontraktion (Systole) und Erschlaffung (Diastole). Während der Systole kontrahiert das Herz und wirft über den linken Ventrikel arterielles Blut in die Aorta und über den rechten Ventrikel venöses Blut in die Pulmonalarterie aus. Während der Diastole erschlafft die Herzmuskulatur und die Herzkammern füllen sich erneut mit Blut.

Mithilfe der Blutdruckmessung nach Riva-Rocci kann der Druck, mit dem das Blut durch den Körperkreislauf gepumpt wird, gemessen werden. Der Blutdruck besteht aus zwei Komponenten, dem systolischen arteriellen Blutdruck und dem diastolischen arteriellen Blutdruck. Der systolische Wert ist Ausdruck der Systole des Herzens und spiegelt somit den maximalen arteriellen Blutdruck wieder. Der diastolische arterielle Druck stellt den minimalen arteriellen Druck dar, also während der Diastole des Herzens. Der systolische Blutdruck liegt zwischen 100 - 140 mmHG, der diastolische Blutdruck zwischen 60-90 mmHG. Ist der Blutdruck chronisch erhöht, spricht man von einer Hypertonie, bei chronisch zu niedrigem Blutdruck von Hypotonie.

**Präparation eines Lammherzens**

In unserem experimentellen Teil präparierten wir zwei Lammherzen. Wir wollten dabei vor allem die Funktionsweise von Segel- und Taschenklappen verstehen und die verschiedenen Merkmale der rechten und linken Herzhälfte herausarbeiten. Während das Myokard, also die Herzmuskelschicht, des rechten Ventrikels eher dünn ist und die rechte Herzkammer dadurch größer, ist das Myokard des linken Ventrikels sehr viel dicker und die Herzkammer sehr viel kleiner. Der Grund dafür ist, dass der rechte Ventrikel, der das Blut in den Körperkreislauf pumpt, eine viel höhere Pumpleistung erbringen muss als der linke Ventrikel, der das Blut nur in den kleineren Lungenkreislauf pumpt. Bei unserer Präparation entdeckten wir außerdem einen seltenen Herztumor, vermutlich ein Myxom, das die Sehnen und Papillarmuskeln der Segelklappen des linken Ventrikels beeinträchtigte und dadurch vermutlich die Pumpleistung des Herzens stark verringerte.

**Quellen**


- Betz, Eberhard: *Biologie des Menschen*, 13. Auflage, Meyer Verlag, Heidelberg, 1991
- Faller, Adolf: *Der Körper des Menschen*, 11. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 1988
- Silbernagel, Stefan: *Taschenatlas Physiologie*, 8. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 2012
- Thews, Mutschler und Vaupel: *Anatomie Physiologie Pathophysiologie des Menschen*, 5. Auflage, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 1997

## 5.8 Erregungsbildung des Herzens und das Elektrokardiogramm

Sophia von Habsburg
Betreuerin: Marie Schmidt

Ich weiß schon viel über das Herz.
Die Anatomie, Physiologie und auch den Schmerz.
Doch ist das Alles etwas schwer,
und ich weiß, es gibt noch vieles mehr.
Aorta, Vene, Arterie,
doch aus was für einer Materie?
AV- und Sinusknoten ist doch gleich,
beide sehr Impulsreich.
Das EKG schreibt alles auf,
in einem kurvigen Schreibverlauf.
PQ, R und S,
Ach was ein Stress!
Doch gibt es überhaupt einen Zusammenhang?
Na klar, deshalb fang ich jetzt von vorne an!
(Sophia von Habsburg, August 2013)

Die Muskulatur des Herzen ist wie die Skelettmuskulatur quergestreift, jedoch stärker verzweigt. Die einzelnen Herzmuskelzellen (Myokardzellen) stehen in engem Kontakt zueinander und sind durch sogenannte Glanzstreifen miteinander verbunden. Die Glanzstreifen werden von Zell-Zellverbindungen gebildet. Die *gap junctions* sind für die elektrische Kopplung und Desmosome für die Stabilität der Verbindung verantwortlich.

Man unterscheidet zwei verschiedene Arten von Herzmuskelzellen: Schrittmacherzellen und Arbeitsmuskelzellen. Schrittmacherzellen besitzen anders als Nervenzellen und Arbeitsmuskelzellen kein stabiles Ruhepotenzial und dadurch die Fähigkeit immer wieder spontan zu depolarisieren. Sie generieren immer wieder autorhythmisch Aktionspotenziale und geben dadurch den Takt der Erregung vor. Die generierten Aktionspotenziale erregen dann die Arbeitsmuskelzellen und lösen die muskuläre Kontraktion aus. Die Aktionspotenziale der Arbeitsmuskelzellen dauern relativ lang an (200-400 ms), wodurch die Muskelzellen genügend Zeit zur Kontraktion bekommen.

Die Herzerregung erfolgt also autonom und ist somit nicht abhängig von Erregungsimpulsen aus dem Nervensystem. Die Stärke und Frequenz der durch die Schrittmacherzellen generierten Aktionspotenziale wird jedoch durch das autonome Nervensystem über Sympathikus und Parasympathikus modifiziert.

Grundsätzlich beginnt die Erregungsleitung des Herzens beim primären Schrittmacher, dem Sinusknoten, der eine Eigenfrequenz von 60-80/min hat. Er ist der bestimmende Taktgeber des Herzens. Von dort wird die Erregung auf die Herzvorhöfe (Atrien) übertragen, die daraufhin kontrahieren. Die Erregung wird dann über den AV-Knoten verzögert und über die His-Bündel und Purkinje-Fasern an die Herzspitze geleitet. Von dort aus erfolgt die Kontraktion der Herzhauptkammern (Ventrikel).

Die Vorgänge während der Erregungsausbreitung und -rückbildung konnten wir durch experimentelles Forschen selbst rekonstruieren. Wir zeichneten dazu zunächst unsere eigenen Elektrokardiogramme auf und werteten diese mit Hilfe von EKG-Linealen aus. Wir kamen dabei zu folgenden Erkenntnissen: Bei jeder Erregung der Herzmuskulatur entstehen elektrische Spannungen, die mit Hilfe von Elektroden auf der Körperoberfläche erfasst werden können. Änderungen dieser Spannung, sogenannte Potentialänderungen, die bei jeder Erregung des Herzens wiederkehren, werden dann in Form einer EKG-Kurve

sichtbar. Wellen und zackenförmige Veränderungen der EKG-Kurve geben uns Rückschlüsse auf verschiedene Vorgänge der Erregungsleitung am Herzen.

Mit Hilfe dieses Wissens konnten wir nun das Erregungsleitungssystem des Herzens nachvollziehen. Die Schrittmacherzellen des Sinusknoten sind der bestimmende Taktgeber des Herzens. Sie generieren eigenständig immer wieder neue Aktionspotenziale, die über die Erregungsleitungssysteme des Herzens weitergeleitet werden und zu den kontrollierten Kontraktionen des Herzmuskels führen. Im Anschluss führten wir dann mit pathologischen EKG-Befunden klinische Diagnosen durch und konnten so einen AV-Block und einen Ausfall des Sinusknoten diagnostizieren.

**Quellen**


- Cambpell, Neil A.: *Biologie*, Pearson Studium, München, 2009
- Clauss, Wolfgang: *Humanbiologie kompakt*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2009
- Faller, Adolf; Schünke, Michael: *Der Körper des Menschen*, Thieme, Stuttgart, 2008
- Silbernagel, Stefan: *Taschenatlas Physiologie*, Thieme, Stuttgart, 2007


## 5.9 Passiver Bewegungsapparat des Menschen

Valentin Krüger
Betreuerin: Franziska Korner

**Theoretische Grundlagen**

Als Passiven Bewegungsapparat bezeichnet man Knochen, Knorpel, Bänder und Gelenke. Insgesamt besteht das menschliche Skelett aus ca. 206-212 Knochen. Knochen besitzen im menschlichen Körper unterschiedliche Funktionen. Sie dienen als Stütze und schützen die inneren Organe vor Verletzungen. In der Markhöhle der Knochen ist rotes Knochenmark vorhanden, welches sämtliche Blutzellen produziert. Im gelben Knochenmark werden Fette gespeichert. Eine weitere wichtige Funktion ist der Mineralienhaushalt. Knochen können bei Bedarf Mineralien in den Blutkreislauf ausschütten.

Die Morphologie der Knochen ist sehr unterschiedlich. Man klassifiziert Langknochen, Kurzknochen, Flachknochen und irreguläre Knochen. Die verschiedenen Knochentypen sind an ihre Funktion und Lokalisation angepasst. Trotz ihrer großen Festigkeit und Stabilität sind Knochen elastisch und biegsam. Diese besonderen Eigenschaften werden durch ihren Aufbau begründet. Neben einem Wasseranteil von 20% bis 25% enthalten Knochen etwa 50% anorganische und 25% bis 30% organische Substanzen. Die anorganischen Substanzen bestehen zu 86% aus Calciumphosphat und 10% Calciumcarbonat (Kalk), die dem Knochen Festigkeit verleihen. Die organischen Substanzen bestehen zum größten Teil aus kollagenen Fasern, die dem Knochen Biegsamkeit verleihen. Kollagen besteht aus drei Polypeptidketten und ist das am häufigsten vorkommende Protein bei Säugetieren. Grundsätzlich werden zwei Verknöcherungstypen unterschieden. Bei der desmalen (direkten) Ossifikation entwickeln sich Knochen aus Bindegewebe, wie zum Beispiel beim Schädeldach. Bei der chondralen (indirekten) Ossifikation handelt es sich um die Umwandlung von Knorpelgewebe. Zunächst wird der Knorpel durch Chondroklasten abgebaut. Osteoblasten bilden Matrixmaterial auf der Knochenoberfläche. Die chondrale Verknöcherung ist für das Längenwachstum des Knochens verantwortlich. Die Verknöcherung beginnt im Schaft der Knochen mit der Bildung eines primären Ossifikationszentrums. Im Anschluss bildet sich ein sekundäres Ossifikationszentrum an den Enden des Knochens. Durch den Knorpel zwischen primärem und sekundärem Ossifikationszentrum bildet sich die Epiphysenfuge (Wachstumsfuge), die sich am Ende des Knochenwachstums schließt. Die Epiphysenfuge ist während des Wachstums zwischen Epiphyse (Knochenende) und Diaphyse (Knochenschaft) in der Metaphyse zu finden. Dort sind verschiedene

Knorpelschichten vorhanden. Direkt an der Epiphyse liegt der ruhende Knorpel, er bleibt unbeteiligt. Daneben befinden sich die Körperzellsäulen, die sich teilen und daher die Wachstumszone darstellen. Im darauffolgenden Knorpel beginnt die Verfestigung und in der letzten Zone, der Knorpelabbauzone, bauen die Chondroklasten Knorpel ab und die Osteoblasten bilden die Knochenzellen. Das Wachstum unterliegt hormoneller Kontrolle.

Ein weiterer Bestandteil des passiven Bewegungsapparats sind Knorpel. Es werden drei verschiedene Typen unterschieden, der hyaline, elastische und Faserknorpel. Der milchig bläuliche hyaline Knorpel ist an Belastungszonen vorhanden, beispielsweise an Gelenken. In ihm sind die Chondrozyten (Knorpelzellen) als Territorien organisiert und zur Abschirmung von Zellhöfen umgeben. In der Ohrmuschel befindet sich elastischer Knorpel, welcher kaum Kollagen, dafür aber viel Elastin enthält und gelblicher erscheint. Der in den Zwischenwirbelscheiben enthaltene Faserknorpel hingegen ist kollagenreich und chondrozytenarm.

Für die Beweglichkeit müssen die Knochen miteinander verbunden werden. Dieser Verbindungen werden Gelenke genannt. Sie bestehen aus den Gelenkkörpern (mind. zwei Knochen), knorpeligen Gelenkflächen, einer Gelenkkapsel und einem Gelenkspalt. Man unterscheidet zwischen mehreren Gelenktypen, welche unterschiedliche Bewegungen der aneinander liegen Knochen ermöglichen.

**Versuchsdurchführung**

Durch das Einlegen von Hühnerknochen in Salzsäure und Natronlauge können die Eigenschaften der Knochenbestandteile nachgewiesen werden. Durch die Salzsäure wurden dem Knochen die anorganischen Bestandteile (Calciumcarbonat und Calciumphosphate) entzogen, die für die Festigkeit des Knochens verantwortlich sind. Der behandelte Knochen wurde biegsam und elastisch. Der Knochen aus der Natronlauge blieb fest, die Knochenstruktur wurde jedoch poröser. Dadurch wird deutlich, dass im Knochen die kollagenen Fasern abgebaut wurden, die für die Biegsamkeit des Knochens verantwortlich waren.

Im Kurs wurden Untersuchungen an echten althistorischen Skeletten aus dem 17. Jahrhundert durchgeführt. Durch die Untersuchung der Knochen war es möglich Geschlecht und Alter zu bestimmen. Der Schädel und der Beckenknochen besitzen geschlechtsspezifische Merkmale. Die Beckenschaufel einer Frau ist flach, während sie bei einem Mann gewölbt ist. Darüber hinaus unterscheiden sich die Winkel des Schambeinbogens (*Arcus pubis* bzw. *Arcus subpubicus*). Bei einem weiblichen Becken ist der Winkel stumpf, während er bei einem männlichen Becken spitz zuläuft. Das *Foramen obturatum* ist bei einem männlichen Becken rund und bei einem weiblichen Becken oval.

Bei einem männlichen Schädel sind die Augenhöhlen eckiger als bei einem weiblichen Schädel.

Häufig lassen sich die Skelette nicht eindeutig bestimmen. Bei einigen Skeletten hat das Becken weibliche sowie männliche Ausprägungen. Durch den Vergleich vieler Merkmal konnte jedoch das Geschlecht der Skelette bestimmt werden. Die Altersbestimmung eines Skeletts kann mit Hilfe der Epiphysenfugen (Wachstumsfugen der Knochen) oder anhand der Zähne abgeschätzt werden. Unterschiedliche Epiphysenfugen schließen sich zu unterschiedlichen Zeiten. Ist bei einem Skelett keine Epiphysenfuge mehr vorhanden, weist dies darauf hin, dass es älter als 25 Jahre wurde. Zähne geben anhand des Abnutzungsgrades sowie des Durchbruchs der Backenzähne Aufschluss.

**Quellen**


- Derrickson, Bryan H.; Tortora, Gerard J.: *Anatomie und Physiologie*, Wiley VCH-Verlag, 2006
- Platzer, Werner: *Taschenatlas Anatomie*, 11. Aufl, Thieme-Verlag, Stuttgart, 2013

- `www.flexikon/doccheck.com` (13.07.2013)
- `www.gelenke.de` (13.07.2013)
- `www.dr-gabriele-lampert.de` (13.07.2013)


## 5.10 Evolution des Menschen - Moderne Forschungsmethoden in der Paläoanthropologie

Hannah Prawitz
Betreuerin: Alena Greßler

Ausgehend von der Erenntnis, *Homo sapiens* habe sich biologisch und kulturell entwickelt, wurden verschiedene Theorien zu dessen Entwicklungsgeschichte angestellt. Die Wissenschaft, die sich mit der Entstehungsgeschichte der Menschheit und der Hominisation (Menschwerdung) befasst, wird als Paläoanthropologie bezeichnet (*paläo* = alt; *anthropos* = Mensch). Das Forschungsgebiet der Paläoanthropologie ist ein multidisziplinäres Arbeitsfeld und die Erkenntnisse der Paläoanthropologie werden interdisziplinär aus den Fossilfunden geschöpft, um eine weitgehend exakte Rekonstruktion der Abstammung des Menschen und Menschenartigen sowie deren Lebensweise zu ermöglichen. Trotz der sehr geringen Anzahl an fossilen Funden, die nach Angaben von Thorolf Hardt „gerade einmal einen Landrover“ füllen (*Begleitbuch „Safari zum Urmensch“*), ist es heutzutage möglich, die Evolution des Menschen immer detailreicher zu rekonstruieren. Basierend auf diesem Zitat wird deutlich, wie wichtig der verantwortungsvolle Umgang mit diesem Material ist. Unsere Vorstellung von der Evolution des Menschen ist also nur ein konstruiertes Bild, das mit neueren Erkenntnissen immer wieder korrigiert werden kann und muss.

Als Arbeitsgrundlage wurden Stammbaumtheorien verwendet, nach diesen die Australopithecinen („südlicher Affe“) und Paranthropinen („Nebenmensch“) zu den so genannten „Vormenschen“ zusammengefasst werden, die zwar schon aufrecht gingen, aber noch wenig gemeinsame Merkmale mit dem modernen Menschen hatten. Mit dem ersten Auftreten der verschiedenen *Homo*-Gattungen spricht man von „Früh- und Urmenschen“. Der Zeitpunkt der Abspaltung von den Vormenschen erfolgte vermutlich vor ca. 7 bis 5 Millionen Jahren. Darauf hinzuweisen ist, dass die Entwicklung zum *Homo sapiens* kein gerichteter eingleisiger Prozess war, da mehrfache Artbildungen und Verzweigungen im Stammbaum erkennbar sind. Um die Entstehung von *Homo sapiens* besser nachvollziehen zu können, ist es notwendig Vergleiche zu anderen Primatenarten anzustellen. Anhand vieler Ähnlichkeiten und Gemeinsamkeiten lässt sich der lange gemeinsame Weg durch die Stammesgeschichte begründen.

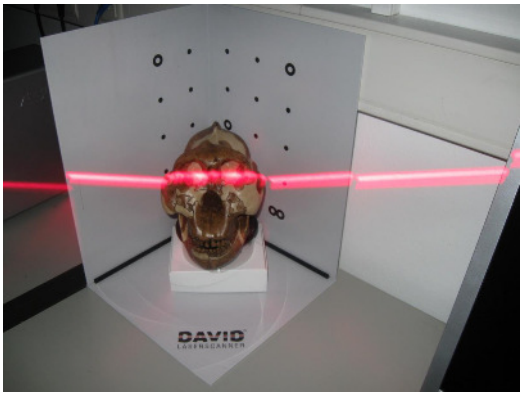
Die Erbinformation von Schimpanse und Mensch sind zu 98% identisch. Die am deutlichsten wahrnehmbaren Unterschiede zwischen Menschenaffen und Menschen sind der permanente aufrechte Gang und die Größe des Gehirns sowie die sich daraus ergebenden Entwicklungsmöglichkeiten. Als Initialzündung für die Hominisation gilt der permanente aufrechte Gang, hierbei kam es zu entscheidenden Veränderungen in der Anatomie des Skeletts, u.a. der Entwicklung eines Standfußes, der Ausrichtung des Beckens, der Wirbelsäule und des Schädels entlang der Körpermittelachse sowie zur Verlängerung der Beine und Verkürzung der Arme. Vermutet wird, dass durch den aufrechten Gang auch das Größenwachstum des Gehirns gefördert wurde. Dabei ist folgender Kreislauf von Bedeutung: eiweißreiche Nahrung sorgte für eine bessere Energieversorgung des Gehirns, dadurch wurden Innovationen bei der Herstellung und Nutzung von Werkzeugen ermöglicht. Diese verhalfen ihrerseits zur verbesserten Versorgung mit eiweißreicher Nahrung. Zusätzlich verkleinerte sich der Kauapparat, da die Nahrung durch die Werkzeuge bereits von vorneherein zerkleinert werden konnte. Allerdings bleibt zu bedenken, dass es keine Korrelation zwischen Gehirnvolumen und Intelligenz gibt.

Die verschiedenen Arten der Gattung *Homo* unterscheiden sich hinsichtlich des Alters ihrer Fossilien, ihrer Größe, ihres Gewichts, ihres Hirnvolumens und insbesondere durch ihre unterschiedlichen Fundorte. Die wissenschaftlichen Bezeichnungen der Hominiden-Gattungen folgen zum Teil den Fundorten (z.B. *rudolfensis*, *heidelbergensis* und *neanderthalensis*) und zum Teil besonderen Merkmalen (z.B. *habilis* = fähig, geistig, geschickt; *ergaster* = Arbeiter; *erectus* = aufrecht und *sapiens* = weise). Die Unterscheidungsmerkmale zwischen den Hominiden, die von den Wissenschaftlern herangezogen werden, ergeben sich aus genauen Vermessungen ihrer Knochen, insbesondere ihrer Schädel und deren Aufbau. Wichtige Aspekte sind dabei die Konturen des Gesichts, die Höhe der Stirn, die Größe des Kauapparates im Verhältnis zur Größe des Schädels, die Stärke der Augenbrauenwülste usw.

Im Hinblick auf die Wanderbewegungen der Hominiden existieren verschiedene Theorien, die in der Wissenschaft diskutiert werden. Unstrittig ist jedoch, dass die Wiege des Menschen in Ostafrika liegt.

Eine sehr populäre Theorie ist die „Out of Africa“-Theorie. Demnach lassen sich die Wanderbewegungen in zwei Perioden gliedern: In der ersten Wanderbewegung (Out of Africa I) gelangte vor ca. 1,9 Mio. Jahren vermutlich eine relativ kleine Gruppe der Art *Homo ergaster* bzw. *Homo erectus* über die palästinische Landbrücke nach Europa und über die südliche arabische Halbinsel nach Asien.

Vor ca. 60.000 Jahren verließen dann erneut Hominiden Afrika, dieses Mal Mitglieder der Art *Homo sapiens* (Out of Africa II), und verbreitete sich über mehrere Generationen zunächst entlang der Küsten Südasiens. Sie gelangten vor ca. 40.000 Jahren bis nach Australien. Außerdem verbreiteten sie sich über ganz Asien und Europa. Erst vor weniger als 20.000 Jahren gelangte der *Homo sapiens* auch auf den amerikanischen Doppelkontinent.




Im Rahmen der Kurseinheiten wurde eine moderne Forschungsmethode der Paläoanthropologie vorgestellt und durchgeführt. Mithilfe des 3D-Laserscannings wurden im ersten Schritt Schädel verschiedener Hominiden digital erfasst und virtuell zu einem dreidimensionalen Modell zusammengesetzt. Diese Methode hat den entscheidenden Vorteil, berührungsfrei durchgeführt werden zu können und die wertvollen, raren Fossilien nicht zu beschädigen. Die 3D-Modelle stehen dann auch weltweit zur Verfügung und können von unterschiedlichen Arbeitsgruppen untersucht werden. Im Kurs erfolgte im zweiten Schritt, durch den Einsatz einer Analysesoftware, die digitale Schädelvermessung. Die Ergebnisse wurden mit Daten aus Literaturwerten abgeglichen und eine genaue Bestimmung und systematische Einordnung der vorliegenden Schädel durchgeführt.

**Quellen**


- Henke, Winfried; Rothe, Hartmut: *Stammesgeschichte des Menschen*, 1. Auflage, Springer Verlag, Göttingen, 1998
- Hardt, Thorolf; Herkner, Bernd; Menz, Ulrike: *Safari zum Urmenschen – Begleitbuch zur Sonderausstellung*, Senckenberg-Gesellschaft für Naturforschung, E. Schweizerbart'scher Verlag, Stuttgart, 2009
- Schaper, Michael [u.a]: *GEO kompakt - Wie der Mensch die Erde eroberte*, GEO-Verlag, Hamburg, 2010

## 5.11 Der Genetische Fingerabdruck, Teil I: Molekulare Grundlagen und Methoden des Genetischen Fingerabdrucks

Matthias Schwalm
Betreuerin: Andrea Fiedler

### Struktur der DNA

Die Desoxyribonukleinsäure (DNS, engl. DNA) ist ein Polymer aus Nucleotiden. Dieses setzt sich zusammen aus je einer Desoxyribose, einer Base und einer Phosphatgruppe. Die räumliche Struktur der DNA wurde 1954 von Watson und Crick aufgeklärt. Die DNA ist eine rechtsgängige Doppelhelix. Sie ist leiterähnlich aufgebaut. Die sogenannten „Latten“ werden abwechselnd gebildet von den Desoxyribosen, dem typischen Zucker der DNA, und den Phosphatgruppen. Die „Speichen“ bestehen aus jeweils gegenüberliegenden Basenpaaren.

Es gibt zwei Basentypen mit je zwei zugeordneten Basen: Die Purine (Adenin und Guanin) und die Pyrimidine (Thymin und Cytosin). Pyrimidinbasen haben als Grundstruktur einen Hexolring mit zwei Stickstoffatomen. Purine sind zwei heterozyklische Ringe. Gemäß der komplementären Basenpaarung verbinden sich jeweils Adenin mit Thymin und Guanin mit Cytosin, also jeweils eine Purinbase mit einer Pyrimidinbase. Erstere werden von zwei Wasserstoffbrücken zusammengehalten, letztere von drei.

Wenn man die beiden DNA-Stränge näher betrachtet, so wird man feststellen, dass sie antiparallel verlaufen. Ein Desoxyribose-Molekül enthält fünf C-Atome, wobei am $C_1$'-Atom die Base bindet und am $C_3$'- und $C_5$'-Atom je eine Phosphatgruppe. Aus dieser Anordnung und dem Betrachten der Enden der Einzelstränge ergibt sich auch die gegenläufige Ausrichtung. Am sogenannten 5'-Ende befindet sich eine freie Phosphatgruppe (-$OPO_3$-) am $C_5$'-Atom. Am 3'-Ende befindet sich eine freie Hydroxylgruppe (-OH) am $C_3$'-Atom. Dies hat zur Folge, dass der eine Strang vom 3'- zum 5'-Ende führt, während der andere vom 5'- zum 3'-Ende führt.

### Was ist ein genetischer Fingerabdruck?

Das Wort „Fingerabdruck“ im engeren Sinne steht für einen Abdruck der Rillen auf unseren Fingern. Sieht man es im erweiterten Sinn, so ist es ein Identifizierungsmerkmal. Jeder Mensch verfügt über ein individuelles Genom. Er lässt sich mit Hilfe seiner DNA identifizieren. Sie kann also im übertragenen Sinn den Zweck eines Fingerabdrucks erfüllen.

Jede menschliche Zelle mit vollständigem Chromosomensatz ist zur Isolation von DNA und somit für eine konkrete Zuordnung zu einer Person geeignet.

### DNA-Isolation

Wenn eine Probe menschlichen Zellmaterials entnommen wird, so liegt die DNA niemals in Reinform vor. Zunächst müssen die Zellen lysiert werden. Die DNA ist hiernach u.a. mit Zellfragmenten, Proteinen und RNA verunreinigt. Um die DNA weiter zu analysieren, muss sie zuerst aufgereinigt werden. Dafür gibt es verschiedene Methoden: die Reinigung durch organische Extraktion und enzymatischen Abbau sowie die Ionenaustauscherchromatographie.

Grundgedanke der ersten Methode ist der Abbau der Verunreinigungen. Zuerst gibt man zu der verunreinigten DNA eine Protease. Diese zerlegt die langen Polypeptide (also die Proteine) in kleinere Teile. Danach gibt man Phenol hinzu, welches die zerkleinerten Proteine ausfällt. Nach der Zentrifugation setzen sich diese zwischen den zwei Phasen des Phenols und der wässrigen DNA-Lösung ab. Man entnimmt nun mit einer Pipette die wässrige DNA-Lösung, welche noch die DNA und die RNA

enthält. Als letzten Schritt gibt man Ribonuklease hinzu, um die RNA in die verschiedenen Nukleotide abzubauen. Die Ausfällung der DNA erfolgt dann durch die Zugabe von Ethanol.

Die zweite Methode, die Ionenaustauscherchromatographie, basiert darauf, dass die DNA stärker negativ geladen ist als RNA und Proteine. Der Zellextrakt wird auf ein positiv geladenes Harz gegeben. Da DNA, RNA und einige Proteine negativ geladen sind, bleiben sie am positiv geladenen Harz hängen. Gibt man Salzlösung hinzu und steigert deren Konzentration in mehreren Schritten, lösen sich nach und nach die Proteine und die RNA und können anschließend der Lösung entnommen werden, bis nur noch die DNA übrig bleibt. Man erhöht die Salzkonzentration erneut, bis sich auch die DNA löst, und fängt diese auf. Die DNA ist gereinigt.

### PCR - die Polymerasekettenreaktion

Oft können mit der geringen Menge an DNA, die man aus dem Ausgangsmaterial erhält, nicht alle Tests durchgeführt werden. Eine Vervielfältigung (Amplifikation) der DNA ist notwendig. Hierfür wurde die PCR entwickelt.

Zunächst stellt man eine Lösung aus den vier notwendigen Nukleotidarten, der Taq-Ploymerase, synthetisierten Primern und der Probe her. Diese erhitzt man auf ca. 94-96°C, damit sich die Wasserstoffbrücken zwischen den Basenpaaren der DNA-Stränge öffnen. Man nennt dies auch Denaturierung. Als nächstes kühlt man die Lösung auf ca. 60°C ab, wodurch sich die Primer an die DNA binden (*annealing*). Im letzten Schritt passt man die Temperatur dem Optimum der Taq-Polymerase (ca. 70°C) an und wartet, bis sie die DNA repliziert hat. Der Prozess lässt sich beliebig oft wiederholen und verdoppelt bei jedem Durchgang die Menge der vorhandenen DNA.

Bei der ursprünglichen PCR musste DNA-Polymerase vor jeder Denaturierung der DNA erneut hinzugefügt werden. Das Problem wurde gelöst, als in den heißen Quellen ein Bakterium entdeckt wurde, *Thermophilus aquarius*, welches über hitzeresistente DNA-Polymerasen verfügte. Der Biologe Kary Mullis kam auf die Idee, diese Enzyme für die PCR zu verwenden, und vereinfachte somit den Prozess entscheidend. Er erhielt 1993 den Nobelpreis für seine Verdienste um die PCR.

Heutzutage erfüllt die PCR eine weitere wichtige Funktion im Verfahren des genetischen Fingerabdrucks, nämlich die Selektion der für die Analyse wichtigen DNA-Abschnitte. Da die Primer heutzutage so spezifisch sind, können sie gezielt an entsprechend geeignete DNA-Abschnitte binden. Dadurch können sie nach der Amplifikation in weiteren Verfahren analysiert werden.

### Quellen


- Alberts, Bruce et al.: *Lehrbuch der molekularen Zellbiologie*, 4. Auflage, Wiley-VHC Verlag, Weinheim, 2012
- Brown, Terry A.: *Gentechnologie für Einsteiger*, Spektrum Verlag, Heidelberg, 2011
- Clark, David; Pazdernik, Nanette: *Molekulare Biotechnologie: Grundlagen und Anwendungen*, Spektrum Verlag, Heidelberg, 2009
- Markl, Jürgen (Hrsg.): *Purves Biologie*, 9. Auflage, Spektrum Verlag, Heidelberg, 2011
- Strachan, Tom; Read, Andrew P.: *Molekulare Humangenetik*, 3. Auflage, Spektrum Verlag, München, 2005
- Watson, James D. et al.: *Molekularbiologie*, 6. Auflage, Pearson Studium, München, 2011

## 5.12 Der Genetische Fingerabdruck, Teil II: Grundlagen der Vererbung und Methoden des Genetischen Fingerabdrucks

Patricia Weisweiler
Betreuerin: Andrea Fiedler

Blut, Zähne, Speichel, Knochen, Haare, Sperma und Hautschuppen sind geeignetes Material für das DNA-Fingerprinting in der Kriminalistik, in der Ahnen- und Verhaltensforschung sowie im Arten- und Naturschutz. In diesen Teilgebieten werden DNA-Proben analysiert und miteinander verglichen. Hierbei lassen sich Menschen und Tiere eindeutig identifizieren.

### Vererbung und DNA-Abschnitte

Die Chromosomen sind die Träger der DNA, auf welcher es codierende und nichtcodierende Bereiche gibt. Nach heutigen Erkenntnissen bilden nur 3% dieser Bereiche Gene mit einer relevanten Funktion hinsichtlich des Aufbaus des menschlichen Körpers und biochemischer Prozesse. Die anderen 97% haben keine bisher nachgewiesene Funktion. Für den genetischen Fingerabdruck werden nur nichtcodierende Bereiche betrachtet. Insgesamt gibt es 22 homologe Chromosomenpaare und die Geschlechtschromosomen. Jeder Mensch hat in bestimmten repetitiven Bereichen auf den homologen Chromosomen eine unterschiedliche Anzahl von Basensequenzwiederholungen. Betrachtet man verschiedene Loci auf den Chromosomen und untersucht die Anzahl der Wiederholungen, kann eine Person eindeutig identifiziert werden, da es unwahrscheinlich ist, dass zwei Personen auf dem gleichen Locus die gleiche Anzahl an Sequenzwiederholungen haben. Man unterscheidet STRs (*short tandem repeats* mit ca.10-20 Allelvariationen) und VNTRs (*variable number tandem repeats* mit 100-200 Allelvariationen). Als Allele bezeichnet man dabei die verschiedenen Variationen in der Anzahl der Sequenzwiederholungen eines bestimmten STR-Abschnitts beziehungsweise eines VNTR-Abschnitts. Gegenwärtig werden zur Analyse des Genetischen Fingerabdrucks die STR-Bereiche der DNA herangezogen. So müssen in der Kriminalistik zur eindeutigen Identifizierung einer Person mindestens 15 STR-Loci untersucht werden. Diese werden mittels spezifischer Primer, die sich in der PCR (Polymerasekettenreaktion) an die gesuchten Stellen anlagern, ermittelt. Dadurch kann eine spezielle Taq-Polymerase an den DNA-Strang binden und den benötigten STR-Locus amplifizieren.

### Gelelektrophorese

Durch die Gelelektrophorese können die vervielfältigten DNA-Fragmente ihrer Länge nach aufgetrennt und sichtbar gemacht werden. Das Trägermaterial ist ein Agarosegel. Dieses Gel wird an ein elektrisches Feld angeschlossen. Die Fragmente werden in ins Gel eingelassene Taschen gegeben. Da die Phosphatgruppen der DNA negativ geladen sind, wandern die DNA-Fragmente zur Anode. Die kürzeren Fragmente gelangen schneller durch Poren des Gels. Dadurch ergibt sich im Gel ein individuelles Bandenmuster. Nach der Gelelektrophorese wird das Gel mit einem Farbstoff gefärbt, um diese Bandenmuster sichtbar zu machen. Das Bandenmuster ist bei jeder Person unterschiedlich, wodurch in der Forensik ein Vergleich verschiedener DNA-Proben und somit eine Täteridentifizierung möglich wird.

### Rechtslage

In der Zivilrechtspflege ist die DNA-Entnahme unter den Voraussetzungen des §372a der Zivilprozessordnung (ZPO) zulässig, während sie bei Ordnungswidrigkeiten nicht zulässig ist (§46 Absatz 4 OWiG). Bei kriminaltechnischen Untersuchungen ist die DNA-Analyse grundsätzlich erlaubt. Der Schutz der Grundrechte des Individuums (Selbstbestimmungsrecht) muss jedoch gewahrt werden. Das Gericht

muss alle Beweisumstände (Zeugenaussagen) berücksichtigen. Der DNA-Test ist somit als Indiz zu betrachten. Für die Probenentnahme für mögliche künftige Strafverfahren gilt: Die Daten werden in der DNA-Analysedatei im Bundeskriminalamt gespeichert. Nach fünf Jahren bei Jugendlichen und nach zehn Jahren bei Erwachsenen muss die Notwendigkeit einer weiteren Speicherung überprüft werden, ansonsten sind die Daten zu löschen.

**Praktischer Teil**

Um die Abfolge der einzelnen Schritte des Verfahrens zum Genetischen Fingerabdruck nachzuvollziehen, wurde zuerst eine DNA-Isolation aus den eigenen Mundschleimhautzellen durchgeführt und die DNA-Probe mit haushaltsüblichen Mitteln aufgereinigt. Der zweite Teil erhielt seinen Rahmen durch ein fiktives Tatszenario, in welchem eine reiche Frau tot aufgefunden wird. Die gesicherten Spuren am Tatort sollten den Täter durch seinen Genetischen Fingerabdruck überführen. Die bereits amplifizierten Proben verschiedener Verdächtiger (eingesetzt wurde unbedenkliche bakterielle DNA) mussten dazu mit Hilfe einer vereinfachten Gelelektrophorese analysiert werden. Das Ergebnis ließ keine Zweifel...

**Quellen**


- Alberts, Bruce et al.: *Lehrbuch der molekularen Zellbiologie*, 4. Auflage, Wiley-VHC Verlag, Weinheim, 2012
- Brown, Terry A.: *Gentechnologie für Einsteiger*, Spektrum Verlag, Heidelberg, 2011
- Clark, David; Pazdernik, Nanette: *Molekulare Biotechnologie: Grundlagen und Anwendungen*, Spektrum Verlag, Heidelberg, 2009
- Markl, Jürgen (Hrsg.): *Purves Biologie*, 9. Auflage, Spektrum Verlag, Heidelberg, 2011
- Strachan, Tom; Read, Andrew P.: *Molekulare Humangenetik*, 3. Auflage, Spektrum Verlag, München, 2005
- Watson, James D. et al.: *Molekularbiologie*, 6. Auflage, Pearson Studium, München, 2011

# 6 Geschichtskurs

**Erzählte Geschichte(n) und gedachte Sprache**

Die Geschichtswissenschaft hat in den letzten Jahrzehnten durch harte Auseinandersetzungen ihre Methoden geschärft und ihre erkenntnistheoretischen Beschränkungen reflektiert. Am Ende aber müssen alle mühsam erarbeiteten Ergebnisse durch ein selten bedachtes Nadelöhr: Geschichte muss erzählt werden.

Das Erzählen aber unterliegt eigenen Regeln, unabhängig davon, in welcher Form der erzählte „Text“ vorliegt – schriftlich, mündlich, als Inszenierung, in bewegten oder unbewegten Bildern. Und damit ist noch nicht einmal das zentrale Problem angesprochen: dass nämlich bereits unsere Sprache das Erzählbare, Sagbare, Denkbare entscheidend präfiguriert. Doch wäre unser Denken ohne Sprache überhaupt denkbar?

Dem Thema der narrativen und sprachlichen Bedingtheit der Geschichtswissenschaft näherten wir uns im Kurs u.a. aus narratologischer, literatur- und medienwissenschaftlicher sowie sprachphilosophischer Perspektive. Wir untersuchten dabei das historische Erzählen in verschiedenen Ausdrucksformen, neben Quellen und fachwissenschaftlichen Texten z.B. in Romanen, Kinofilmen, Theaterstücken – und natürlich in unseren eigenen Geschichtsbildern.

**Kursleitung**

*Dr. Peter Gorzolla*, Historisches Seminar der Goethe-Universität Frankfurt am Main

*Saskia C. Quené*, Philosophie und Kunstgeschichte an der Humboldt-Universität zu Berlin

## 6.1 Grundlagen der Narratologie I: Erzählung und Erzählen

Peter Gorzolla

Die Einstiegssitzung in die Kursarbeit gestaltete sich für viele unerwartet: Ein scheinbar glatter und einfacher Handbuchtext, der in der Vorbereitung niemandem Schwierigkeiten bereitet und wenig neue Erkenntnisse verschafft hatte, entpuppte sich in seiner Oberflächlichkeit als abgründig. Nach einer kurzen Schule des kritischen Lesens, um „Reibung“ mit solch scheinbar glatten Texten zu erzeugen, sprudelten dann auch die aufgefallenen Widersprüche, empfundenen Irritationen und resultierenden Fragen:

Welche Beziehung besteht genau zwischen Handlung und Plot? Gibt es Texte ohne Plot? Wo ist die Postdramatik einzuordnen? Wie erklärt sich das literaturwissenschaftliche Konstrukt der *fabula* (die Idee eines „Urtyps“ von Erzählungen) und welche Konsequenzen hat es? Warum verwendet die Literaturtheorie das *fabula*-Konstrukt in Analogie zur „historischen Realität“? Warum (ge)braucht die Narratologie auch darüber hinaus das historische Erzählen zur Erklärung ihrer grundlegenden Konzepte? Warum wird dabei auf veraltete Konstrukte der Geschichtswissenschaft (reale Welt, Rekonstruktion) zurückgegriffen – und würden sich die narratologischen Grundlagen verändern (können), wenn man sie neueren historischen Erkenntnissen anpasste?

Auf diese Weise angeregt, sollte die *fabula* nicht nur am Abend das Faustball-Team der Historiker als Schlachtruf begleiten („Einfach unerreichbar!“), noch in der Sitzung machten wir uns auf die Suche nach weiteren wissenschaftlichen Phantomen (wie z.B. der „finno-ugrischen Sprachfamilie“). Von hier aus war es nur noch ein kleiner Schritt bis zum Gedankenexperiment eines Besuchs per Zeitmaschine beim Karlsbiographen Einhard – und der Erkenntnis, dass das der Geschichtswissenschaft

nicht mehr Gewissheit über die „historische Realität“ verschaffen würde als jeder noch so tendenziöse Quellenbericht. Was also sind dann die Erkenntnismöglichkeiten des Historikers? Und was seine Handlungsmöglichkeiten und Aufgaben? Mit dem Versprechen, der Frage nach der Wahrheit in diesem Kurs nicht auszuweichen, wurden die Teilnehmer entlassen. Und machten sich prompt an eine neuerliche Lektüre ihrer Texte – um mehr Reibung zu erzeugen...

Literatur


- Monika Fludernik: *Erzähltheorie. Eine Einführung*, 3. Aufl., Darmstadt 2010; Kap. I: Erzählung und Erzählen (S. 9-16)


## 6.2 Grundlagen der Narratologie II: Modelle und Grundbegriffe

Saskia Löschner
Betreuerin: Katja Alt

Narrative Texte müssen erzählt werden, diese Funktion übernimmt der Erzähler. Er ist damit die Verbindung zwischen der externen und der internen Welt, also der Welt des Autors und des Lesers einerseits und der erzählten Welt und dem Erzähler andererseits. Zwischen beiden Welten gibt es außerdem den impliziten Autor und den impliziten Leser: Sie treten in Kontakt, wenn es scheint, als redete der eigentliche Autor mit dem Leser selbst.

In der Sitzung haben wir uns näher mit den verschiedenen Typen des Erzählers – genauer gesagt mit den Erzähltypologien von Franz Karl Stanzel und Gérard Genette – beschäftigt. Beide versuchten, universelle Erzählaspekte und grundsätzliche Elemente des Erzählens zu finden und in ein einziges, zusammenhängendes System zusammen zu führen.

Stanzel definiert drei klare Erzähltypen: *Ich-Erzähler*, *auktorialer Erzähler*, *personaler Erzähler*. Der *Ich-Erzähler* berichtet alles in der ersten Person Singular und aus der Sicht einer einzigen Figur: ihre Gedanken, ihre Meinung, ihre Träume und ihre Ängste. Auch nimmt er nur die Dinge wahr, die die Figur wahrnimmt, er ist mitten im Geschehen; durch Verwendung der ersten Person Singular scheint die Figur mit dem Erzähler zu verschmelzen.

Der *auktoriale Erzähler* wird auch allwissender oder gottähnlicher Erzähler genannt. Er steht über der eigentlichen Handlung. Ihm ist es möglich, in die Köpfe aller Figuren zu schauen, er kann an allen Orten gleichzeitig sein und sogar „Zeitreisen“ vornehmen. Beim Lesen epischer Texte mit auktorialem Erzähler scheint es allerdings immer, als wäre der Erzähler der Autor, da der Erzähler so überblickend erzählt. Allerdings gilt hier ebenfalls: Der Erzähler ist nicht der Autor, sondern eine reine Fiktion (genauer: eine Funktion) von ihm.

Der *personale Erzähler* ist wahrscheinlich der schwierigste aller Erzähltypen. Seine Perspektive entspricht hier lediglich der Wahrnehmung einer Figur. Für den Leser wird also nichts geordnet oder logisch erklärt, sondern die Handlung beginnt medias in res. Auch kann der Erzähler nicht alles berichten, was geschieht (wie der auktoriale Erzähler), sondern ist durch die selektive Wahrnehmung und den Aufenthalt der Figur eingeschränkt. Der Leser hat durch all diese Faktoren das Gefühl, er wäre als Figur am Geschehen beteiligt.

Genette hingegen baut seine Erzähltheorie mehr noch als Stanzel auf strukturalistischen Merkmalen auf und definiert daher keine festen Erzählertypen, sondern lediglich analytische Kriterien. Ein narrativer Text besteht für ihn erstmal aus drei Ebenen: *narration* (Akt des Erzählens), *discours* (Abfolge von Zeichen) und *histoire* (Abfolge von Ereignissen). Die Beziehungen zwischen den drei Ebenen

werden durch drei Kategorien charakterisiert: *Genus/Stimme* („Wer spricht?“), *Tempus* („Wann wird gesprochen?“) und *Modus* („Wer sieht?“).

In der Kategorie *Stimme* unterscheidet Genette zwischen Homodiegese und Heterodiegese: Ist der Erzähler innerhalb des Geschehens oder betrachtet er es von außerhalb? Des Weiteren zählt Genette zu dieser Kategorie den Zeitpunkt des Erzählens (z.B. retrospektiv, gleichzeitig, vorangehend etc.). Er macht außerdem deutlich, dass es immer eine diegetische Ebene, also die der Handlung und der Figuren, und eine extradiegetische Ebene, also die des Erzählaktes, gibt. Beide sind normalerweise deutlich voneinander getrennt; allerdings gibt es auch als Metalepsen bezeichnete Ausnahmen, in denen die Erzählebenen überschritten werden.

Die Kategorie *Tempus* beschreibt die chronologische Umgestaltung auf der Diskursebene, die der Erzähler vornimmt. Das heißt der Erzähler ordnet die Geschehnisse, er kürzt oder dehnt einzelne Bestandteile oder verändert die Frequenz als narratives Mittel.

Die Kategorie *Modus* beschäftigt sich mit der *Fokalisierung*. Diese beschreibt die „Sichtweise“ des Erzählers auf die Handlung. Zum einen gibt es die *Nullfokalisierung*, d. h. der Erzähler steht über den Figuren und hat eine „Übersicht“ über alles und alle. Bei der *internen Fokalisierung* hat der Erzähler eine „Mitsicht“ und bekommt das gleiche wie die Figuren mit. Bei der *externen Fokalisierung* hat er weder eine „Mitsicht“ noch eine „Übersicht“, sondern weiß sogar weniger als die Figuren, da er nur eine „Außensicht“ auf alles hat. Durch die Fokalisierung beschreibt Genette also die Perspektive des Erzählers.

Dem Historiker wird beim Blick auf die Erzähltheorie schnell einfallen, dass auch Quellentexte narrativen Strukturen unterliegen und ihm in diesen ein Erzähler in einer erzählten Welt begegnet. Der Erzähler einer historischen Quelle benutzt (wie auch ein literarischer Erzähler) z.B. Zeitraffungen und Ellipsen, er nimmt eine bestimmte Erzählposition ein und muss, um den Bericht „lesbar“ zu halten, Informationen selektieren. Der Historiker ist also an den Erzähler und seine selektive und restrukturierende Informationsweitergabe gebunden.

Wir stellten uns während der Diskussion die Frage, ob wir eigentlich von narrativen Texten auf den Autor schließen können (wie es Historiker ja gewohnheitsmäßig tun), da strukturalistische Erzähltheorien den „realen“ Autor nicht in ihre Analyse einbringen (oder gar gleich für tot erklären!) und nur auf der Ebene des impliziten Autors oder des Erzählers argumentieren. Analog ist also zu fragen, ob und wie Quellen nutzbar sein können, um auf eine „reale“ Geschichte zu schlussfolgern. Da durch die angesprochene Selektion und die Raffung in Romanen wie in historischen Quellen nie alles beschrieben werden kann und das Wenige dann auch noch reichlich subjektiv ist, sind keine zuverlässigen Aussagen möglich. Der Historiker kann seine Aussagen also, ebenso wie ein Narratologe, eigentlich nur auf den Text gründen und keine klaren Aussagen über die externe Welt daraus schlussfolgern. Diese Begrenzung auf die Quelle selbst hat große Auswirkungen auf das wissenschaftliche Arbeiten. Ein Historiker muss zunächst ausschließlich im Text selbst arbeiten, bevor er dann mögliche Schlüsse ziehen kann – die aber auf Grundlage des Textes weder falsifizierbar noch verifizierbar sind. Mehrere Ergebnisse aus verschiedenen Quellen erhöhen lediglich die Wahrscheinlichkeit, dass die Thesen des Wissenschaftlers näher an den historischen Ereignissen sind. Im Gegensatz zur verbreiteten Vorstellung einer wissenschaftlichen Suche nach eindeutiger Wahrheit muss bei der Arbeit des Historikers also eine stärkere Gewichtung auf Probabilität und Plausibilität liegen.

Literatur


- Monika Fludernik: *Erzähltheorie. Eine Einführung*, 3. Aufl., Darmstadt 2010, v.a. Kap. IX: Erzähltypologien (S. 103-123)
- Jochen Vogt: Aspekte erzählender Prosa (Grundstudium Literaturwissenschaft 8), 6. Aufl., Opladen 1986 (S. 37-42)

## 6.3 Historische Authentizität

Peter Gorzolla

Wann stellt ein Historienfilm das vergangene Geschehen „korrekt“ dar?

Wenn er das vom Historiker rekonstruierte Bild der Vergangenheit so akkurat wie möglich wiederzugeben versucht, würden die meisten wohl antworten. Gut, wie weit soll die Akkuratesse dann gehen? Nun, keine Anachronismen und keine ahistorischen Handlungsmotive natürlich. Und die richtigen Rüstungen und Kostüme, selbstverständlich. Ob die exakte Wiedergabe der jeweiligen Wetterlage jedoch so wichtig ist... Aber schauen Sie sich Ihre Filme eigentlich in einer lateinischen oder mittelhochdeutschen Originalfassung an? Und warum werden nicht all die Stellen im Film weiß gelassen, über die wir keine Gewissheit haben? – Das ist eigentlich ganz schön inakkurat, finden Sie nicht?

Am Beispiel von Ridley Scotts *Königreich der Himmel* (2005) ließ sich im Kurs sehr schön die Nutzlosigkeit des Versuchs nachweisen, einem Spielfilm mit dem Maß der „Akkuratesse“ beizukommen. Das von manchem Kritiker als „historisch unkorrekt“ abgeurteilte Werk bietet nämlich das ganze Spektrum von Übersetzungsprozessen historischen Ausgangsmaterials in eine moderne filmische Erzählung: Von gnadenlos ahistorischen, auf den Irakkrieg unserer Tage bezogenen politischen *messages* über gelungene Reduktionen komplexer historischer Zusammenhänge bis zu scheinbaren Unkorrektheiten, die tatsächlich das historisch Auffällige oder Beachtenswerte der Quellenaussagen auf authentische Weise für den Zuschauer verständlich machen.

Für ein Urteil bräuchte es also zumindest deutlich mehr Differenzierung. Für uns im Kurs stand jedoch etwas anderes im Vordergrund: Selbst wenn man die Ebene des Medienwechsels ignoriert (wie wir das leider tun mussten), lassen sich an unserem Beispiel die vielfältigen Probleme deutlich machen, die sich beim Versuch stellen, eine historische Erzählung in die Gegenwart zu übersetzen. Von grundsätzlicher Bedeutung war für uns die Erkenntnis des auffälligen Gegensatzes zwischen zwei konkurrierenden Ansprüchen, der um mimetische Objektivität bemühten „Akkuratesse“ und der auf Verständlichkeit abzielenden „Authentizität“.

## 6.4 Die Macht der Narrative: Campbells Heldenreise

Laura Wolber
Betreuerin: Kathrin Timmer

Die Sitzung hatte die *Heldenreise* zum Thema, ein Strukturmodell, mit dessen Hilfe angeblich Aufbau und Struktur sämtlicher Erzählungen erklärt und nachvollzogen werden können. Die Heldenreise geht auf den amerikanischen Literaturwissenschaftler und Mythenforscher Joseph Campbell zurück, der das Modell gegen Ende der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts mittels Analysen von Heldenmythen entwickelte. In seinem Buch „Der Heros in tausend Gestalten“ erklärt er, wie alle Geschichten und Erzählungen im Wesentlichen der gleichen Struktur folgen: dem Monomythos. Campbell beschreibt mit diesem (von James Joyce übernommenen) Begriff ein Strukturmodell, das er, von den untersuchten Mythen ausgehend, auf alle Geschichten der Menschen erweitert, die als Manifestationen des Monomythos betrachtet werden können. Im Kurs drängte sich gleich die Analogie zur *fabula* der Literaturwissenschaftler auf (vgl. Grundlagen der Narratologie I), wir konnten jedoch schnell einen entscheidenden Unterschied ausmachen: Der Monomythos soll *ursprüngliche Struktur* menschlicher Erzählungen sein, kein *Urtyp* wie das Konzept der fabula.

Um sein Konzept verständlich zu machen, bedient sich Campbell der Form der Heldenreise, mit deren Hilfe die typischen Strukturelemente des Monomythos Gestalt bekommen. Im Kurs arbeiteten wir jedoch nicht mit Campbells Modell, sondern mit einem Text des amerikanischen Drehbuchautors Christopher Vogler, „Die Odyssee des Drehbuchschreibers“. Dieser greift Campbell auf gibt ihn in allgemein verständlicher Sprache als Anleitung zum Schreiben von Drehbüchern wieder. Dieser Text wird inzwischen weltweit als Pflichtlektüre für Drehbuchautoren betrachtet!

Die Heldenreise umfasst etwa ein Dutzend standardisierte Handlungsphasen sowie etwa genauso viele Bauelemente. Ein bekanntes dieser Elemente ist beispielsweise die Mentorengestalt in Form einer alten Frau oder eines alten Mannes. Elemente und Phasen sind frei (re)konfigurierbar, sie können sich also beliebig oft wiederholen, kombiniert oder sogar weggelassen werden. Dadurch kommt es häufig vor, dass die Geschichten völlig unterschiedlich anmuten, obwohl sie bei näherer Betrachtung auf der gleichen Grundstruktur basieren.

Ein idealtypisches Beispiel für die Heldenreise, das wir im Kurs behandelt haben, stellt der Film *Der 13. Krieger* (1999, Regie: John McTiernan) dar. Er wurde auf Grundlage des Romans *Eaters of the Dead* von Michael Crichton filmisch umgesetzt. Die Geschichte verbindet die historische Episode des arabischen Gesandten Ibn Fadlan, der 921/22 im Auftrag des Kalifen bis an die Wolga reiste, mit der Beowulf-Saga, einem bedeutenden altenglischen Heldengedicht in angelsächsischen Stabreimen (um 700 entstanden). Crichton und McTiernan verlegen die Saga ins 10. Jahrhundert, lassen sie im Land der Bulgaren und Waräger beginnen und fügen ihr dort einen neuen Protagonisten hinzu: Der junge Araber Ibn, als Botschafter aus Bagdad vom Kalifen in den rauen Norden geschickt, wird als 13. Krieger Teil einer Gruppe von Nordmännern, die unter ihrem Anführer Buliwyf einem dänischen König zu Hilfe eilen, dessen Dorf Schutz vor menschenfressenden Ungeheuern benötigt. Das Besondere an der Struktur des „13. Kriegers“ ist, dass es teilweise verschiedene parallel verlaufende Handlungsstränge der Heldenreise gibt. Viele Bauelemente werden wiederholt und einige auch zusammengefasst. Zudem ist zeitweise unklar, wer eigentlich der Held ist, der die verschiedenen Stationen durchlebt: Ibn oder Buliwyf?

In der Sitzung identifizierten wir nicht nur die zuvor theoretisch erörterten Bauelemente der Heldenreise und diskutierten über ihre Verknüpfungen; wir thematisierten auch zentrale Bestandteile des Films (wie die äußere und innere Entwicklung des Helden und ihre filmische Umsetzung) in Bezug auf Anlage und Validität des gesamten Konzepts. Dabei bekamen einzelne Szenen plötzlich einen gänzlich neuen Sinn – und auch unsere eigenen (emotionalen) Erfahrungen beim Sehen des Films wurden verständlicher.

Als mögliche Erklärung für die Wirkmächtigkeit, die Heldenreise-Erzählungen innewohnt und sie für jeden Menschen verständlich macht, bietet Vogler das *kollektive Unbewusste* der Menschheit an. Es vereint die Wahrnehmungen, Erfahrungen und Eindrücke aller Menschen und ist universell (also für alle Kulturen und Zeiten) gültig, weshalb jeder Mensch die Manifestationen des Monomythos verstehen – oder nach Belieben eigene, „moderne“ Geschichten nach dessen Struktur entwickeln – kann.

Vogler spricht in diesem Zusammenhang von den „getreuen Plänen der Seele“, die die Funktionsweise des menschlichen Geistes widerspiegeln und somit einen direkten Bezug zur Lebenswelt bilden. Sie sind auch dann noch gültig, wenn es sich um übernatürliche oder fantastische Motive handelt. Durch sie können wir gegenseitiges Verständnis empfinden und ähnliche Gefühle wie das Gegenüber hegen. Außerdem kann mit ihnen elementaren Fragen wie „Wer bin ich?“ oder „Woher komme ich?“ nachgegangen werden, da sie unser Innerstes ansprechen. Vogler macht hier auf die Parallelen zwischen Campbells Konzept und dem *Archetypen*-Modell des Psychologen Carl Gustav Jung aufmerksam. Die Archetypen spiegeln ebenfalls verschiedene Aspekte der menschlichen Persönlichkeit wider, die als beständig wiederkehrende Charaktere oder Kräfte in den Träumen aller Menschen und den Mythen sämtlicher Kulturen erscheinen. Auch die Jung'schen Archetypen speisen sich aus dem kollektiven Unbewussten der Menschheit – und können damit als Erklärungsmodell für die Theorie des Monomythos

herangezogen werden.

In Bezug auf die Arbeit des Historikers bietet das Konzept der Heldenreise die Möglichkeit, bei der Erschließung von Quellen das Fremdartige derselben wieder vertraut zu machen und somit einen Zugang zur Geschichte zu eröffnen. Das Wissen um die Strukturelemente der Heldenreise wird Historiker bei ihrer Arbeit außerdem sensibler für das Erkennen von (vorgefertigten!) Strukturen in historischen Erzählungen machen und ihnen damit einen kritischeren Umgang mit den Quellen ermöglichen. Es kann aber zugleich auch die Chance bieten, die selbst erarbeitete „Geschichte“ beim eigenen Erzählen einem breiteren Publikum zu erschließen.

Literatur


- Christopher Vogler: *Die Odyssee des Drehbuchschreibers. Über die mythologischen Grundmuster des amerikanischen Erfolgskinos*, 6. Aufl., Frankfurt 2010 [engl. orig. 1992]
- Joseph Campbell: *Der Heros in tausend Gestalten*, 1949 u.ö. [engl. orig. 1949]


## 6.5 Eine neue Sprache eine neue Welt

Saskia C. Quené

Natürliche Sprachen dienen nicht sich selbst, sondern der interpersonalen Erschließung der Welt, so argumentieren Wilhelm Kamlah und Paul Lorenzen im ersten sprachphilosophischen Text unseres Kurses, den es in der ersten unserer fünf Sitzungen mit diesem Schwerpunkt zu knacken galt. In dieser Sitzung bauten wir unser sprachphilosophisches Vokabular auf, um dann in Sprache und Rede (wo ist der Unterschied?) über die Sprache sprechen zu können. Mit *Prädikatoren* und *Eigennamen*, *Marken* und *Morphemen* erschlossen wir uns eine neue Sprache und auch eine neue Welt des philosophischen Diskurses.

Zu Beginn der Sitzung galt es jedoch, die gesprochene Sprache vorerst gänzlich auszuschließen, um pantomimisch Sprichwörter und Redewendungen darzustellen: „Reden ist Silber, Schweigen ist Gold“, „Die Gedanken sind frei“, „Lange Rede, kurzer Sinn“ und „Leichter gesagt als getan“ konnten innerhalb weniger Minuten erkannt werden. Warum? Welche unterschiedlichen Strategien wurden angewendet, um auch ohne die gesprochene Sprache abstrakte Begriffe und Informationen zu transportieren?

Es folgte eine erste Diskussion, in der die zentralen Fragen unseres Themas aufgeworfen wurden: Wie lässt sich „Sprache“ definieren? Was genau heißt es anzunehmen, dass die Sprache der interpersonalen Erschließung der Welt dient? Von den weiteren Texten im Reader beeinflusst spitzte sich die Diskussion bald zu auf die Frage, ob die Sprache – wenn sie nicht einzig und allein der Kommunikation im zwischenmenschlichen Bereich dient – nicht von einem viel weiterreichenden Einfluss auf uns und unser Denken sei. Dass die Sprache sich der Welt und ihrer sich aufdrängenden Gliederung anzupassen sucht, indem sie andererseits der Welt eine Gliederung erst gibt, davon sind Kamlah und Lorenzen überzeugt. Untersucht wurde daraufhin, ob sich logisch daraus ableiten lässt, dass es ohne Sprache keine Welt und ohne Welt auch keine Sprache geben kann.

Literatur


- Wilhelm Kamlah und Paul Lorenzen: *Logische Propädeutik. Vorschule des vernünftigen Redens*, Mannheim 1973; Kap. 2: Welt, Sprache, Rede (S. 45-69)

## 6.6 Denken und Sprache

Felicitas Makait
Betreuerin: Dalila Truchan

Benjamin Lee Whorf, der 1956 unter dem Titel „Language, Thought and Reality“ seine Untersuchungen und Thesen zum Zusammenhang zwischen Sprache und Denken publizierte, beginnt in seinem Text damit, der von ihm selbst beobachteten „Irrmeinung von der Beziehungslosigkeit zwischen Sprache und Denken“ entgegenzuwirken. Nach Whorf wird das Sprechen zu unrecht als ein beiläufiger Akt verstanden, in dem Sprechgewohnheiten unbewusst und automatisch ablaufen. Das Denken ist nicht bloß abhängig von den Gesetzen der Logik oder der Vernunft, die für alle Menschen gleichermaßen gelten und gleichermaßen beobachtet und wahrgenommen werden können, sondern zu einem wichtigen Anteil auch von der Sprache und den grammatikalischen Strukturen dieser. Dass sich Gedanken im Geiste unabhängig von der Sprache formen und nur die Sprache benötigen, um kommuniziert zu werden, ist laut Whorf eine fehlerhafte Annahme:

1. Für den Sprecher sind die Sprache und die Grammatik eine immer vorhandene Gegebenheit. Sie befinden sich außerhalb des kritischen, vernünftigen Bewusstseins des Sprechers. Weiterhin entstammen Grammatikregeln nicht unmittelbar der Vernunft des Denkenden, da in jeder Sprache andere Regeln gelten.

2. Die Übereinstimmung über einen Gegenstand zweier Sprecher ist nicht identisch mit dem linguistischen Prozess, durch den diese Übereinstimmung zustande kommt.

Das l*inguistische Relativitätsprinzip* nach Whorf besagt folgendes: Die Sprache dient nicht nur der zwischenmenschlichen Kommunikation, d.h. sie ist nicht rein reproduktiv, sondern formt die Gedanken selbst und bestimmt unsere Vorstellungsmöglichkeiten. Sie liefert das Schema und die Anleitung für die geistige Aktivität jedes Menschen. Daher kommen nicht alle Beobachter ein und desselben Sachverhalts zum selben Ergebnis.

Die Verschiedenheit der Sprachen macht also die Verschiedenheit des Denkens aus. Nach Whorf sind sogar die Unterschiede der Sprachen und ihrer Grammatiken dafür verantwortlich, dass sich in unterschiedlichen Sprachgemeinschaften unterschiedliche Weltbilder manifestieren. Welche Argumente können nun angebracht werden, die diese These bekräftigen? Whorf selbst argumentiert mit vagen Forschungsergebnissen zu den Hopi und einer prozessualen Zeitvorstellung, die von Whorf beschriebenen Befunde konnten jedoch klar widerlegt werden.

Das erste Experiment, welches wir im Kurs in kleineren Gruppen nachstellten, untersucht den Einfluss unterschiedlicher sprachlicher Ausdrucksformen auf die Weise, wie wir uns im Raum orientieren. Ursprünglich wurde das Experiment mit Menschen aus zwei verschiedenen Sprachkreisen durchgeführt, mit Europäern und mit Angehörigen des australischen Stammes der Guugu Yimithirr. Dabei wurden verschiedene Objekte zur Beobachtung im Raum auf einem Tisch positioniert, die anschließend in einem anderen Kontext an gleicher Position neu aufgestellt werden sollten. Die Versuchspersonen der einzelnen Gruppen bestimmten die Positionen der Gegenstände überraschenderweise genau entgegengesetzt: Wo die Europäer den Baum rechts vom Haus positionierten, weil sie den Baum rechts vom Haus wahrgenommen hatten, entschieden sich die Guugu Yimithirr für eine Platzierung des Baumes zur linken Seite des Hauses. Dies ergab sich aus der Tatsache, dass die Aborigines nach einem kartographischen und die Europäer nach einem egozentrischen Koordinatensystem die Gegenstände wahrgenommen hatten und auch neu positionierten. Für die Europäer spielte des Verhältnis der Gegenstände zum Betrachter die ausschlaggebende Rolle, während die Aborigines vor allem merkten, dass der Tisch, auf dem sie die Gegenstände neu anordnen sollten, nun nicht mehr nach Süden, sondern nach Norden ausgerichtet war. Weil wir als Europäer uns auch sprachlich im Raum nach links und

rechts orientieren und die Aborigines nach Norden und Süden, schlussfolgert Whorf aus diesem Experiment, dass sprachliche Strukturen die räumliche Wahrnehmung bestimmen. Auch ob umgebungseigene Faktoren wie eine bestimmte Struktur der Landschaft und des Lebensumfeldes nicht viel eindeutiger für die Wahrnehmung mit unterschiedlichen Koordinatensysteme verantwortlich sind als die Struktur einer bestimmten Sprache, wurde im Kurs diskutiert.

Im zweiten Experiment sollten verschiedene Sätze oder Redewendungen, in denen das Wort *mind* vorkam, vom Englischen ins Deutsche übersetzt werden. Da in jedem der zehn Sätze das Wort *mind* mit einem anderen deutschen Wort übersetzt werden musste, um dem Inhalt des Satzes gerecht zu werden, fragten wir uns, ob es überhaupt möglich sei, sich frei von inhaltlichen Verlusten über die Grenzen der Sprachen hinweg zu verständigen. Wer diese Frage verneinend beantwortet, so stellten wir fest, stimmt nicht nur Whorfs zentraler These zu, sondern geht noch über sie hinaus und behauptet, dass ein Denken, das nicht unmittelbar in Sprache gefasst werden kann, nicht möglich ist.

Kann man nun annehmen, dass die Beherrschung einer Vielfalt von Sprachen aus verschiedenen Sprachfamilien es dem Menschen ermöglicht, die Welt differenzierter, objektiver und freier, d. h. unabhängiger von der Sprache wahrzunehmen – nämlich so, wie sie eigentlich ist? Whorf würde diese Frage vermutlich zustimmend beantworten, und es lassen sich gute Argumente dafür finden. Doch kann die Sprache, wie aus dem ersten Experiment zur räumlichen Wahrnehmung hervorging, nicht der einzige Faktor sein, der den Menschen in seiner Wahrnehmung der Welt beeinflusst oder sogar bestimmt. Denn die Sprache ist auch – und nicht zuletzt – ein Teil der Kultur, in der ein Mensch aufwächst und von der er oder sie geprägt wird.

Literatur


- Benjamin Lee Whorf: *Sprache, Denken, Wirklichkeit*, Hamburg 1963; Kap. 1: Naturwissenschaft und Linguistik; Kap. 2: Die Linguistik als exakte Wissenschaft (S. 7-30)
- Stefanie Schramm und Claudia Wüstenhagen: Die Macht der Worte, in: *Zeit Wissen* Nr. 6, Oktober/November 2012
- Guy Deutscher: *Im Spiegel der Sprache. Warum die Welt in anderen Sprachen anders aussieht*, München 2010


## 6.7 Das Sprache-Denken-Problem

Anastasia Reiß
Betreuerin: Julia Wirth

Inwieweit sich Sprache und Denken gegenseitig beeinflussen, ist eine alltäglich eher selten gestellte Frage, deren Beantwortung sich jedoch Whorf widmete (vgl. Denken und Sprache). Um dessen zuvor behandelte Sprachabhängigkeitsthese zu testen, begann unsere Sitzung mit zwei Farbexperimenten: Das erste Farbexperiment bestand darin, anhand von drei verschiedenen Farbspektren das persönliche prototypische Beispiel für die Farben Blau, Rot und Grün, also die sogenannte Fokalfarbe, herauszusuchen. In einem zweiten Farbexperiment sollte eine Grenze im Grün-Blau- und Gelb-Grün-Übergangsbereich gezogen werden. Das individuelle und spontane Empfinden der Farbtöne war dabei sehr wichtig.

Unter dem Titel „Die Sprache und das Denken. Zum Stand der Diskussion über den ‚linguistischen Relativismus'“ stellt Winfried Franzen Whorfs Thesen in Frage und versucht selbst eine Lösung für das Sprache-Denken-Problem zu finden. Er fasst Whorfs Annahmen wie folgt zusammen: Dieser spreche einerseits von Denk- und Sprachstrukturen, die sich gleichen, andererseits auch von grundlegenden

Unterschieden zwischen den verschieden Sprachen. Daraus sei nach Whorf abzuleiten, dass die Sprache das Denken und somit auch die Wahrnehmung der Welt eines Menschen bestimme. Franzen stellt in seinem Text daraufhin die Frage, ob das Denken von der Sprache nur beeinflusst oder vollständig determiniert ist und wie es sich mit der umgekehrten Relation verhält. Franzen bezieht sich auf den Gegenpol zu Whorf und dem von ihm vertretenen *linguistischen Relativismus*, und zwar auf den *Universalismus* und dessen Hauptvertreter Noam Chomsky. Dieser meint, dass alle Sprachen auf denselben grammatischen Prinzipien einer Universalgrammatik basieren. Grund dafür seien kognitive Strukturen, die vererbt werden. Somit sind beide Pole, zwischen denen sich Franzens Untersuchungen verorten, klar benannt.

Franzens erste Untersuchungen zur Prüfung von Whorfs Hypothese beziehen sich auf die *Farbbezeichnungen*. Whorf selbst nimmt an, dass ein chaotischer Strom von Sinneseindrücken erst durch die Sprache organisiert wird. Deswegen existieren unterschiedliche Systeme der Farbwörter von Sprache zu Sprache, die sich auch auf die Wahrnehmung der Farben auswirken. Gegen diese These zieht Franzen die *Basic Color Terms (BCT)*-Untersuchungen von Brent Berlin und Paul Kay heran, die verschiedene Sprachen auf ihre Grundfarbwörter untersuchten. Hier zeigt sich, dass alle untersuchten Sprachen zwischen zwei und elf solcher BCTs enthalten, die bestimmten Regeln folgen. Dies wiederspricht Whorfs Aussagen und deutet in eine universalistische Richtung, denn hier ist von Entsprechungen in der Wahrnehmung der Farben die Rede. Das beschriebene Experiment bezüglich der Fokalfarben führten Berlin und Kay mit Probanden aus unterschiedlichen Ländern durch, und diese bestimmten die prototypischen Beispiele unterschiedlicher Farbschattierungen sehr eindeutig. Grund dafür sei der menschliche Wahrnehmungsapparat, der bei allen Menschen biologisch gleich strukturiert sei. Auch das spricht nicht für Whorfs These, denn diesem Ergebnis zufolge beeinflusst Kognitives hier eher die Sprache und nicht die Sprache das Kognitive. Berlin und Kay führten auch ein Farbexperiment zu den Farbübergängen durch, die selbst von Menschen desselben Landes unterschiedlich bestimmt wurden. (Für beide Experimente kamen auch wir bei unseren Versuchen zu denselben Ergebnissen.) Ein weiteres Experiment betraf die nordamerikanischen Tarahumaras-Indianer, die für Blau und Grün nur eine Bezeichnung haben, und in dem es darum ging, aus drei Farbtönen des Blau-Grün-Bereichs denjenigen zu bestimmen, der sich von den anderen am meisten unterscheidet. Probanden der Tarahumaras waren in der Lage, diesen Farbton genau zu bestimmen, während amerikanische Tester von ihrer sprachlichen Farbgrenze beeinflusst wurden. Sprachliche Begriffe beeinflussen und verstärken also die Wahrnehmung bestimmter Farben. Das bedeutet allerdings, dass Kulturelles Neurobiologisches überlagern kann, wofür schon Whorf argumentiert hatte. So kommt Franzen zu dem Schluss, dass sich im Bezug auf die Farbbenennung sowohl relativistische als auch universalistische Thesen beweisen lassen.

Franzens zweites Beispiel zur Überprüfung von Whorfs Thesen betrifft die Fähigkeit der Chinesen zur *Kontrafaktizität*, zur Bildung von Konditionalsätzen. Franzen bezieht sich hier auf Alfred Bloom, der behauptet hatte, Chinesen könnten diese Fähigkeit auch im Denken nur begrenzt nutzen. Er führte Versuche durch, bei denen er seinen Probanden kontrafaktisch zu deutende Geschichten vorlegte und später durch Kontrollfragen deren Verständnis testete. Hierzu waren amerikanische Probanden tatsächlich besser in der Lage als chinesische. Somit bestätigt sich hier Whorfs Annahme, dass es Entsprechungen zwischen Denk- und Sprachstrukturen gibt.

Bezüglich des Sprache-Denken-Problems kommt Franzen letztlich zu folgender Schlussfolgerung: Es muss zwischen der *ontogenetischen* (individuellen) Ebene und der *phylogenetischen* (überindividuellen) Ebene des Spracherwerbs unterschieden werden. Während unsere Vorfahren unsere Sprache über einen langen Zeitraum entwickelt haben, erlernen wir bereits das fertige Produkt. Daraus folgert er, dass sich die Sprache auf überindividueller Ebene über eine vorherige Konzeptualisierung, also über vorheriges Denken und Verstehen entwickelt haben muss. Hier greifen die universalistischen Argumente. Mit dem ersten bisschen Denken der Menschheit folgte ein bisschen Sprache. So war es möglich,

das Gedachte weiterzuvermitteln und zu vertiefen. Die daraus resultierende Weiterentwicklung nach demselben Schema ermöglichte präzisere Formulierungen für bereits bekannte und konzeptualisierte Dinge in der Welt. Auch auf individueller Ebene, also die Entwicklung des Kindes betreffend, steht das Denken an erster Stelle. Diese Entwicklung setzt jedoch voraus, dass es bereits eine zu lernende Sprache gibt. Durch die angewandte Sprache in der Umgebung wird das Kind dazu angeregt, sich diese höheren kognitiven Strukturen selbst zu konstruieren. Die Unterschiede in den Sprachen wirken sich also bei einem Kind auch auf das Denken aus und bewirken so Unterschiede in dessen Prägung. Hier finden sich Whorfs Thesen bestätigt. Franzen positioniert sich zwischen dem Universalismus und dem Relativismus und kombiniert sie beide: Während er den Relativismus für die individuelle Entwicklung geltend macht, wendet er den Universalismus auf die Sprachentwicklung der gesamten Menschheit an.

Literatur


- Winfried Franzen: Die Sprache und das Denken. Zum Stand der Diskussion um den „linguistischen Relativismus“, in: Jürgen Trabant (Hrsg.): *Sprache Denken. Positionen aktueller Sprachphilosophie*, Frankfurt 1990, S. 249-268


## 6.8 Die sprachliche Struktur(ierung) der Welt

Doi Park
Betreuerin: Katja Alt

Nach Whorf gliedert die Sprache das Denken und damit die Wahrnehmung der Welt (vgl. Denken und Sprache). Steven Pinker schließt in seinen Thesen diese Annahme mit ein, führt den Gedanken weiter und kommt zu dem Ergebnis, dass der Mensch einen digitalen Geist in einer analogen Welt besitzt.

In unserem Text aus seinem Buch „Wörter und Regeln. Die Natur der Sprache“ geht Pinker davon aus, dass die Menschen die Dinge in der Welt kategorisieren und strukturieren. Diese Tatsache spiegelt sich vor allem in der Sprache wider, und präziser in der Unterscheidung zwischen regelmäßigen und unregelmäßigen Verben. Dass es neben den unregelmäßigen Verben eine Verbklasse der regelmäßigen Verben gibt, verweist nach Pinker auf geistige Prozesse, die automatisch ablaufen, wenn wir neue Dinge oder Phänomene kennenlernen. Wir können neue Verbformen konstruieren, und zwar ohne dafür den Zugriff auf unseren Gedächtnisspeicher zu benötigen. Den regelmäßigen Verben liegen Regeln zugrunde, die als *Default* einspringen, wenn uns die Konstruktion einer bestimmten, vielleicht unregelmäßigen Verbform nicht präsent ist.

Nach Pinker besteht jede Sprache aus zwei Komponenten, aus *Wörtern* (Verben, Nomen, Adjektiven, etc.) und aus *Regeln*. Wörter sind eingeprägte Verknüpfungen zu Dingen in der Welt, Regeln sind Operationen, die die Wörter miteinander in Verbindung setzten. Das *Prinzip des unendlichen Gebrauchs endlicher Mittel* (Wilhelm von Humboldt) erklärt dabei die unermessliche Ausdrucksfähigkeit der Sprache.

So, wie sich die Sprache in Wörter und Regeln aufteilen lässt und unter den Verben eine Kategorie der regelmäßigen Verben zu erkennen ist, gibt es nach Pinker zwei unterschiedliche Möglichkeiten, nach der wir die Dinge in der Welt sprachlich strukturieren und ordnen. Die eine Möglichkeit besteht darin, die Phänomene *klassischen Kategorien* zuzuordnen, die andere Möglichkeit besteht darin, sie mit *Kategorien der Familienähnlichkeiten* zu strukturieren. Die klassischen Kategorien sind Kategorien, für die klare Definitionen für ihre Mitglieder bestimmt werden: So erkennen wir z. B. Schildkröten als eine Ordnung im Reich der Tiere, obwohl jede Schildkröte andere Charakteristika und ein anderes Aussehen

besitzt. Menschen haben die Fähigkeit, die Gemeinsamkeiten aller Schildkröten zu abstrahieren und daraus eine (klassische) Kategorie zu bestimmen. Mit Hilfe dieser Kategorie kann man eine „neue“ Schildkröte ohne Probleme erkennen und zuordnen. Ist die klassische Kategorie nun eine geistige Konstruktion oder existiert sie in-der-Welt? Pinker argumentiert für eine klassische Kategorie, die scharfe Ränder besitzt und unabhängig von der Sprache und vom Denken existiert – als Beispiel nennt er die geraden Zahlen. Er weist jedoch daraufhin, dass es geeignetere und ungeeignetere „Mitglieder“ klassischer Kategorien gibt. So sei „7“ ein ausgezeichnetes Beispiel einer ungeraden Zahl, „447“ ein weniger gutes Beispiel.

Abgesehen von diesen Unterschieden bestimmter Entitäten innerhalb einer klassischen Kategorie ist es bei einigen Dingen ausgesprochen schwierig, klare Grenzen zu ziehen, und so kommt hier die Kategorie der Familienähnlichkeiten zum Tragen. Anhand des Begriffs „Spiel“ verdeutlicht Pinker nach Wittgenstein, dass viele Alltagsgegenstände und Phänomene sich nicht eindeutig definieren lassen. So ist es unmöglich, alle Merkmale zu bestimmen, die für die Definition des Begriffs „Spiel“ notwendig wären. Die Mitglieder einer Kategorie der Familienähnlichkeiten werden sowohl über ihre Ähnlichkeiten als auch über ihre Unterschiede bestimmt. Dies lässt sich klar vor Augen führen, wenn man bedenkt, dass man bei einem Satz wie „Ein Vogel sitzt auf einem Ast“ eher an ein Rotkehlchen denkt als an einen Pinguin.

Die beiden Arten der Kategorien sind nach Pinker in den Verbklassen wiedererkennbar. Die unregelmäßigen Verben verhalten sich genauso wie die Kategorien der Familienähnlichkeiten, die regelmäßigen Verben wie die klassischen Kategorien. Die regelmäßigen und unregelmäßigen Formen bedürfen unterschiedlicher „Berechnungsmechanismen“. Der menschliche Geist setzt sich in seinem Denken einerseits aus unscharfen Assoziationen, andererseits aus scharf umrissenen Regeln zusammen. Während der menschliche Geist für einige Kategorien schnell eine Regel findet, verhält er sich ganz anders, wenn keine eindeutigen Regelsysteme gefunden werden können. In diesen Fällen setzt nach Pinker das Gedächtnis ein; es wird nach Ähnlichkeiten gesucht, um das Neue kategorisieren zu können. Sieht man z. B. ein Tier mit spitzen Ohren, einem langen Schwanz und vier Beinen, kann vermutet werden, dass das Tier zur Überfamilie der Katzenartigen gehört.

Pinker stellt die These auf, dass dieses „Mischsystem“ des Geistes der Welt selbst entspricht: Es sei ein Abbild der unterschiedlichen Arten von Dingen in der Welt oder zumindest ein Abbild der beiden Möglichkeiten, die Dinge und Phänomene in der Welt zu analysieren. Er geht davon aus, dass der Mensch die äußeren Erscheinungsmerkmale der Dinge um ihn herum beobachtet und versucht, aus den Beobachtungen Regeln zu erstellen. Diese Regeln werden kreativ angewendet: Wer eine frische Spur findet, wird anhand derer nach dem Aufenthaltsort eines Tieres Ausschau halten. Nicht nur für den Umgang mit den Gegenständen um uns herum hilft einem das Regelsystem, sondern auch im Umgang mit zwischenmenschlichen oder gesellschaftlichen Problematiken – es gibt eine Menge Begrifflichkeiten, die von unterschiedlichen Individuen unterschiedlich interpretiert und definiert werden.

Für Pinker besitzt der Mensch daher einen digitalen Geist in einer analogen Welt. Präziser formuliert ist nach Pinker ein Teil des menschlichen Geistes digital. Dieser Bestandteil des Geistes produziert in seinem Denken aus den vielen Einzelheiten, aus der sich die Welt zusammensetzt, neuartige geistige Strukturen im Sinne von Kategorien. Gleichzeitig prägen wir uns die Ähnlichkeiten und Unterschiede der Phänomene ein, die uns in der Welt begegnen.

Wie Pinker die Begriffe „digital“ und „analog“ den regelmäßigen und unregelmäßigen Verben, den klassischen Kategorien oder der Kategorie der Familienähnlichkeiten zuordnet, bleibt unklar. Im Kurs stellten wir fest, dass viele mit dem Begriff des Digitalen vor allem das assoziative Vorgehen im Internet durch Hyperlinks verbinden und nicht unmittelbar das dem Computer zugrunde liegende binäre System aus Einsen und Nullen. Möchte man Pinker folgen und seinen Vergleich nachvollziehen, so kann für den digitalen Geist argumentiert werden, indem man betont, dass der Geist selbst die Gegenstände

und Phänomene in-der-Welt in klare Kategorien unterteilt, wohingegen in der analogen Welt um uns herum selbst vor allem Kategorien mit unscharfen Rändern zu erkennen sind.

Literatur


- Steven Pinker: *Wörter und Regeln. Die Natur der Sprache*, Heidelberg/Berlin 2000; Kap. 10: Ein digitaler Geist in einer analogen Welt (S. 363-389, 406-407)


## 6.9 Ein neues Schreiben ein neues Denken

Ruth Heil
Betreuerin: Anne Bihan

In seinem 1987 [orig. 1982] erschienenen Werk „Oralität und Literalität“ stellt der Literaturwissenschaftler, Philosoph und Historiker Walter J. Ong die These auf, dass das Schreiben das Denken neu konstruiere. Davon ausgehend, dass das menschliche Denken verschiedene Entwicklungsstufen durchlaufen habe, stellt er fest, dass die Denkweisen der oralen Gesellschaft andere waren als unsere heutigen, die der literalen Gesellschaft – und führt damit die Annahmen Eric A. Havelocks weiter aus: Während Denken vor der Entwicklung der Schrift „chaotisch“ gewesen sei, tauge es heute zu analytischer Präzision.

Laut Ong kann der schreibende Mensch deshalb ein größeres Bewusstsein für (erlebte) Situationen entwickeln, weil er durch den Akt des Schreibens Distanz zum beschriebenen Gedanken gewinnt. Diese Distanz gelingt dadurch, dass Gedanken – anders als beim Sprechen und Denken – beim Schreiben auf eine visuelle Ebene transportiert und sie so aus einer anderen Perspektive, „von außen“ wahrgenommen werden können.

Folgt man Ong, so kann der Akt des Aufschreibens als der Moment der Trennung zwischen dem Wissendem und dem Wissen verstanden werden. Das Geschriebene wird zu einem autonomen Diskurs, der sich unabhängig vom Autor verbreiten kann und über ihn hinaus zugänglich ist. Das Wissen wird somit vom Autor und äußeren Einflüssen abgetrennt. Nur so ist es nach Ong möglich, Objektivität zu erreichen. Ob jedoch irgendeine Form von Objektivität bei einer Ideenäußerung möglich ist, galt im Kurs als eine sehr umstrittene Frage.

Da nach Ong das Schreiben ein solipsistischer Vorgang ist, muss der Autor sich von seiner Umwelt abtrennen, um einen Text verfassen zu können. Obwohl die Schrift das Bindeglied zwischen dem Schreibenden und dem Leser ist, kann der Autor nicht mit dem Leser interagieren. Der Schreiber konzentriert sich nun verstärkt auf die Verschriftlichung seiner Gedanken, und eine reflektierte Auswahl der Wörter kann stattfinden. Die daraus resultierende präzisere Wortwahl ist notwendig, da die kontextfreie Sprache nur so verständlich gemacht werden kann.

Ein weiterer interessanter Aspekt in Ongs Argumentation ist die Beziehung zwischen Sendern und Empfängern: Im Gegensatz zur oralen Gesellschaft, in welcher Redner und Zuhörer immer in direktem Kontakt zueinander stehen, treffen Schreiber und Leser der literalen Gesellschaft selten unmittelbar aufeinander und müssen sich deshalb jeweils die Gedankenstruktur des Anderen vorstellen. Ohne diese Vorstellung des Anderen kann auch das Schreiben nicht funktionieren; selbst beim Tagebucheintrag stellt sich der Schreiber einen Adressaten (womöglich sich selbst zu einem späteren Zeitpunkt) vor. Dies führt dazu, dass das Schreiben und das Lesen viel erschöpfender sind als das Reden und das Zuhören, da die Vorstellung des Anderen den Geist stärker anstrengt. Der Schreiber versucht, den phonetischen

Klang der Wörter abzubilden, wobei der semantische Gehalt der Wörter zwar übermittelt wird, die intendierte Intonation durch Interpunktion allein jedoch nicht abgebildet werden kann.

Ong betrachtet das Schreiben und die Schrift als Technologie. Er bezieht sich damit auf diejenigen künstlichen Prozesse, die von Menschen bewusst erlernt werden müssen. Ong definiert daher nicht nur die Schrift, sondern auch den Druck und den Computer als Technologien, die das Bewusstsein des Menschen verändert haben und immer noch verändern. Auch das Erlernen bestimmter Instrumente schließt Ong hier mit ein.

Im Plenum stellte sich nach dieser Einführung und einigen Überlegungen die Frage, inwiefern sich auch das Sprechen mit Ongs Definition doch als Technologie bestimmen ließe. Ong äußert sich nicht darüber, ob mit einem „bewussten“ Lernprozess auch ein intentionaler Lernprozess gemeint ist, oder ob er darunter lediglich einen Lernprozess versteht, der im bewussten Zustand des Menschen stattfindet. Wir fanden dies insofern als problematisch, als dass das Sprechen zwar in bewusstem Zustand erlernt wird, jedoch nicht zwangsweise intentional. Das Sprechen kann dann als Technologie betrachtet werden, wenn berücksichtigt wird, dass Mittel und Techniken benötigt werden, um Sprache erlernen und einsetzen zu können: Wir brauchen zum Sprechen die Stimme und müssen sie schulen, und wir müssen die Wörter und die Regeln (vgl. Die sprachliche Struktur[ierung] der Welt) erwerben, uns ein Vokabular aneignen und ständig erweitern.

„Ein neues Schreiben ein neues Denken“ – in dieser Sitzung setzten wir uns mit der These auseinander, dass das Schreiben das Denken neu konstruiere. Auch haben wir uns an dem Schreiben, dem Verfassen philosophischer Essays, versucht. Inwiefern dieser Schreibakt nun tatsächlich unser Denken neu konstruiert hat, muss jedoch weitestgehend unklar bleiben. Eine Erkenntnis, die die Abschlussdiskussion aber in jedem Fall mit sich brachte, ist, dass die Auseinandersetzung mit den Texten und unsere vielfältigen sprachphilosophischen Diskussionen während der gesamten Akademie unsere eigenen Gedanken beeinflusst und so unser Verständnis von Sprache und Denken, Sprechen und Schreiben verändert haben.

Literatur


- Walter J. Ong: *Oralität und Literalität. Die Technologisierung des Wortes*, Opladen 1987; Kap. 4: Das Schreiben konstruiert das Denken neu (S. 81-117)


## 6.10 Philosophische Schreibwerkstatt

Saskia C. Quené

In der philosophischen Schreibwerkstatt wurde es unseren Teilnehmerinnen und Teilnehmern ermöglicht, in einem knappen Zeitraum (ca. 100 Minuten über mehrere Tage verteilt) und mit klaren Zielsetzungen einen Kurzessay zu einer selbstformulierten These zu verfassen. In den Kursdiskussionen hatten sich zu den unterschiedlichen sprachphilosophischen Texten klare Positionen herauskristallisiert, die die Grundlage für die zehn einzelnen Thesen und Essays liefern sollten.

Die erste Aufgabe bestand darin, die Frage zu beantworten, was eine gute These ausmacht und wie sie formuliert wird. Im Kurs stellten sich alle Teilnehmer ihre Thesen gegenseitig vor und ernteten konstruktive Verbesserungsvorschläge und Hinweise für eine mögliche Ausarbeitung der notwendigen Argumente. Nachdem jeder eine Liste seiner Argumente aufgestellt hatte, galt es die passenden Formulierungen zu finden und erste Erfahrungen mit unterschiedlichen wissenschaftlichen Zitierweisen zu machen. Gar nicht so einfach!

Das Ergebnis wurde am letzten Tag der Akademie in einem kleinen Essayheft präsentiert, dem *Journal of Philosophical Thinking* der HSAKA Geschichte 2013:

- Sprache ist das Bewusstmachen des unbewussten Denkprozesses (von Henrike Pfeiffer)
- Denken wird durch Erziehung und nicht oder wenig durch Sprache beeinflusst (von Laura Wolber)
- Das geographische Gebiet determiniert die Sprache (von Christoph Kreiß)
- Der Prototyp einer Kategorie wird von dem kulturellen Hintergrund geprägt (von Doi Park)
- Menschen besitzen auch innerhalb einer Sprachgemeinschaft nur ähnliche Weltbilder (von Felicitas Makait)
- Zeitgleiches Denken in mehreren sprachlichen Strukturen ist unmöglich (von Ruth Heil)
- Das Vorstellungsvermögen ist von der Sprache unabhängig (von Saskia Löschner)
- Die Sprache ist eine Kreation des Über-Ichs (von Tibor Teske)
- Sprache, Rede und Denken müssen differenziert definiert werden (von Sidonie Stumpf)
- Die Wahrnehmung ist nicht abhängig von der Sprache, sondern individuell (von Anastasia Reiß)

## 6.11 Ambivalente Worte: Kosellecks Begriffsgeschichte

Sidonie Stumpf
Betreuerin: Kathrin Timmer

Ein Zitat von Hardenberg (von 1807) diente als Einstieg in die Sitzung und dafür, die Bedeutung der Begriffsgeschichte für die Erschließung von Quellen zu verdeutlichen. Es zeichnet sich durch eine besondere Fülle an Begriffen („Stand“, „Staatsbürger“, „Klasse“, „Staat“) aus, die im Laufe ihrer Existenz zahlreiche Bedeutungen angesammelt haben. Um mit dieser Quelle sinnvoll arbeiten zu können, muss daher erst die Geschichte dieser Begriffe untersucht werden.

Hier wird die Hilfe der Begriffsgeschichte benötigt. Reinhart Koselleck erläutert, dass seit etwa 1770 immer mehr „alte“ Begriffe neue Bedeutungen ansammelten. Während die Französische Revolution und die Industrielle Revolution einen immensen sozialen Wandel vorantrieben, wurde ein „semantischer Kampf“ geführt, wie anhand des Hardenberg-Zitates deutlich werden kann. Beispielsweise benutzte Hardenberg den Begriff „Staatsbürger“, obwohl es noch kein Staatsbürgerrecht gab, womit er also auf eine Zukunft zielte, die es noch zu verwirklichen galt. Heute findet sich der Begriff im normalen Sprachgebrauch wieder. Etwa seit der Französischen Revolution wurden immer mehr Begriffe geprägt, die auf Veränderungen gesellschaftlicher Systeme reagierten oder sie begrifflich vorwegnahmen. Im Zuge dieses Wandels erfuhren viele Begriffe einen Bedeutungszuwachs oder wurden neu geprägt, andere konnten sich dafür nicht durchsetzen.

In meinem Referat wurde deutlich, dass die Begriffsgeschichte ein Teil der Methode der Quellenkritik ist. Sie spezialisiert sich auf soziale und politische Inhalte. Der Zugang zum historischen Kontext der (schriftlichen) Quelle wird erst durch Erschließung der Geschichte der in den Quellen enthaltenen Begriffe ermöglicht. Die Aufgabe des Historikers besteht darin, die Quellensprache in eine allgemein verständliche Sprache zu „übersetzen“, um sie dem Leser näher zu bringen. Da Geschichte immer für die Gegenwart da ist, muss sie auch in der heutigen Sprache (v)erfasst werden. Begriffe haben formale Gemeinsamkeiten, denn sie thematisieren Zustände und Veränderungen entlang der Diachronie. Indem sie also die Differenz zwischen vergangener und heutiger Begrifflichkeit untersucht, reflektiert die Begriffsgeschichte auch den Zusammenhang zwischen Begriff und Wirklichkeit.

In der Sitzung war daher auch notwendigerweise der Unterschied zwischen *Wort* und *Begriff* zu klären. Kosellecks Feststellung, dass ein Wort nicht immer ein Begriff, jedoch ein Begriff immer ein Wort

sei, führte im Kurs zu einigen Verständnisschwierigkeiten. In der nachfolgenden Diskussion konnten wir herausarbeiten, dass ein Wort Bedeutungs*möglichkeiten* besitzt, wohingegen ein Begriff sich durch Bedeutungs*fülle* auszeichnet. Das bedeutet, dass ein Wort im Kontext eine eindeutige Bedeutung annimmt, während ein Begriff auch im Kontext seine Bedeutungen beibehält. Die Vieldeutigkeit des Begriffs ist notwendig, damit er im Sprachgebrauch Verwendung finden und damit auf Dauer „überleben“ kann.

Durch die vielen Bedeutungsebenen eines Begriffs kann laut Koselleck ein Spannungsverhältnis zwischen Begriff und Sachverhalt entstehen. Sowohl Begriff als auch Sachverhalt sind keine Konstanten und können sich im Laufe der Zeit verändern. Dies ist beispielsweise beim Begriff „Bürger“ der Fall, da hier der Wortkörper gleich geblieben ist, sich jedoch die Bedeutung im Laufe der Zeit verändert hat. So bezeichnete der Begriff „Bürger“ im Mittelalter eine Gruppe männlicher Stadtbewohner, die sich durch besondere Privilegien und Besitz von den anderen Stadtbewohnern abhoben. Ausgelöst durch die Französische Revolution, im Zuge derer die Rechte der Bürger auf alle männlichen Mitglieder eines Staates ausgeweitet wurden, erfuhr dann auch der Begriff eine Erweiterung seiner Bedeutung. Ein Blick in unser heutiges Grundgesetz genügt, um zu erkennen, dass der Begriff einen langen Weg bis hin zu seiner heutigen Bedeutung zurückgelegt hat.

In der Diskussion stellten wir eine Querverbindung zu Fried her (vgl. Historiographie und Fiktion I). Dieser thematisiert, wie für die „Vergegenwärtigung der Vergangenheit“ die Quellensprache (auch unter Zuhilfenahme der Methode der Begriffsgeschichte) in eine allgemein verständliche Sprache zu übersetzen ist. Mit „Übersetzen“ ist in diesem Zusammenhang jedoch nicht das Übertragen von einer (Fremd-)Sprache in eine andere gemeint, sondern ein Konzept, das die sinngemäße Übertragung aus einem Sprachsystem (einer vergangenen Zeit) in eine heute verständliche Sprache beinhaltet. Die Methode der Begriffsgeschichte kann im Falle bestimmter Varianten dieses Übersetzungsproblems eine zentrale Rolle einnehmen. Ihre Aufgabe ist es dabei, die Spannung zwischen Wortbedeutungswandel, Sachwandel, Situationswechsel und Neubenennungen aufzuzeigen und zu untersuchen. Ein Begriff weist also mehrere Bedeutungsschichten auf und kann sich dementsprechend an mehrere Situationen anpassen. Koselleck erklärt: „Die begriffsgeschichtliche Methode durchbricht [...] den naiven Zirkelschluss vom Wort auf die Sache und zurück.“ (S. 30)

Zum Abschluss der Sitzung wurde den Teilnehmern die Aufgabe gestellt, Beispiele zu drei von acht begriffsgeschichtlichen Veränderungsprozessen (Überlagerung, Schichtung, Überlappung, Überhang, Verschleiß, Aufladung, Dehnung, Prägung) zu finden. So führten Schichtung, Verschleiß und Aufladung zu intensiven Diskussionen, als Ergebnisse wurden der Begriff „Sklave“ als Beispiel für *Schichtung*, „Führer“ und „Rasse“ für *Verschleiß* und „Volk“ als Beispiel für *Aufladung* präsentiert.

Als Fazit konnten wir feststellen, dass das wissenschaftliche Idealbild vom eindeutigen Zusammenhang zwischen Begriff und Bedeutung nach Koselleck und der Begriffsgeschichte nicht existieren kann. Begriffe haben eine eigene Geschichte, in der sie mehrere semantische Bedeutungen annehmen können, wobei Bedeutungen nie verloren gehen, sondern ältere nur von neueren überlagert werden.

Mittels der Begriffsgeschichte wird die Differenz zwischen heutiger und vergangener Begrifflichkeit untersucht. Sie bezieht sich auf das Thema unseres Kurses insofern, als dass durch sie die Quellensprache erschlossen und „übersetzt“ werden kann und dadurch der (auch allgemein verständliche) sprachliche Zugang zur Geschichte ermöglicht wird. Im weiteren Verlauf unseres Kurses wurde darum noch häufig Rückbezug auf die Begriffsgeschichte genommen und die Problematik, die die semantische Vielschichtigkeit von Begriffen mit sich bringt, thematisiert.

Literatur

- Reinhart Koselleck: Begriffsgeschichte und Sozialgeschichte, in: ders. (Hrsg.), *Historische Semantik und Begriffsgeschichte*, Stuttgart, 1979, S. 19-36.

## 6.12 Historiographie und Fiktion I: Frieds Lob der Phantasie

Tibor Teske
Betreuerin: Julia Wirth

In seinem Aufsatz „Wissenschaft und Phantasie“ zeigt Johannes Fried, wie Geschichtsschreibung durch die Instanzen *Phantasie* und *Sprache* verfremdet werden. Er stellt fest, dass der Historiker keine historische „Wahrheit“, sondern maximal Plausibilität erzeugen kann. Dies geschieht, indem er Korrespondenz mit der Vergangenheit herstellt, um dem heutigen Leser eben diese Vergangenheit zu vergegenwärtigen. Dabei muss sich der Historiker der Mittel der Sprache bedienen – und hier lauern einige Probleme.

Zu Beginn unserer Sitzung stand eine Auffälligkeit: Fried wendet sich gegen den Begriff der „Quelle“ und die mit dieser Metapher verbundenen Assoziationen von „Unmittelbarkeit“ und „lauterer Wahrheit“ (S. 293). Ausgerechnet in einer Rede vor Kollegen (denn eine solche stellt der Aufsatz ursprünglich dar) erinnert er an einen absoluten Grundsatz der Geschichtswissenschaft: „Artefakte“ (mit diesem Begriff bezeichnet Fried alle Zeugnisse der Vergangenheit in einem weiteren Sinne) tragen kein Wissen in sich, sondern bedürfen erst der Fragen des Historikers, um zu Quellen zu werden. Der argumentative Sinn dieser Erinnerung wird schnell klar: Man erlangt kein neues Wissen, so Fried, wenn man an bereits bekannte Quellen dieselben Fragen stellt. Eine Formulierung zeigt dies ziemlich eindeutig: „Nur wer nichts zu sagen hat, kaut Quellen wieder“ (303). Darum sind also neue Fragen nötig, um einer Quelle neue Antworten abzugewinnen. Das ist kein originelles Argument, die weitreichende Bedeutung seiner Betonung wird aber im Laufe der Textlektüre immer deutlicher.

Als erste Verfremdungsinstanz der Geschichtsschreibung – und damit sind wir im Zentrum der Argumentation – sieht Fried die Sprache. Die Geschichte als historische Erzählung ist ein *linguistisches* Phänomen. Sprache aber gliedert, organisiert und strukturiert diese Geschichte: Sie tut das durch die Regeln, die mit dem System Sprache verbunden sind und die wir (unbewusst) anwenden, und stellt automatisch Kausalzusammenhänge zwischen den einzelnen Ereignissen her, um Verständnis zu gewährleisten. Diese sprachlich vermittelte Erzählung von Geschichte kann außerdem nicht jedes Detail überliefern und wiedergeben. Wenn ich beispielsweise über die Französische Revolution schreibe, werde ich nicht aufzeichnen können, was gleichzeitig in Südamerika passiert. Darum müssen Historiker laut Fried sortieren und priorisieren.

Außerdem ist die Quellensprache nicht automatisch für unseren heutigen Sprachgebrauch verständlich, das macht eine Übersetzung nötig. (Wir erinnerten uns gleich an die begriffsgeschichtliche Reflexion über sprachliche Übersetzungsprozesse von der Quellensprache in die Sprache des Historikers.) Für den Historiker erzeugt das ein Dilemma: Soll er sich näher an der Quellensprache halten und damit für den heutigen Leser schwer oder gar völlig unverständlich bleiben? Oder soll er stärker in heute verständliche Worte „übersetzen“ und damit das Risiko eingehen, die Quellenaussagen zu stark zu verändern? Um diesem Dilemma zu entkommen, so Fried, muss sich der Historiker seine eigene Sprache schaffen, also etwa mehr Fachtermini definieren. In der Sitzung argumentierten wir dagegen, denn wir sahen zum einen das Definieren mit Blick auf die Erkenntnisse der Begriffsgeschichte nicht als Lösung an, schätzten zum anderen (im Vorgriff auf White) gerade die Nähe der historischen Fachsprache zur Umgangssprache als eine ihrer Stärken ein.

Wohin führt diese Argumentation? Historiker sind auf die Sprache angewiesen. Sie ist das Mittel, um mit „vergangener Realität zu korrespondieren“ (297), nur mit ihrer Hilfe können wir uns Vergangenes vergegenwärtigen. Aber diese „vergegenwärtigte Vergangenheit“ (295f.) unterliegt dadurch auch den Regeln der Sprache und wird von ihr gegliedert.

Die zweite Instanz der Verfremdung einer historischen Erzählung besteht für Fried in der Phantasie. Damit wendet er sich gegen die mindestens seit dem 19. Jahrhundert dominierende Vorstellung (vgl. Historiographie und Fiktion II), ein Historiker müsse die Dinge so sehen, „wie sie sind“. „Machen wir uns nichts vor!“ fordert Fried (303), die Historiker verwenden immer schon Phantasie, und ohne sie ist eine Geschichtsschreibung auch gar nicht möglich, die nicht bloß oberflächlich und ein Wiederkauen von Quellen ist.

Zunächst sind die fiktionalen Elemente zu nennen, die man einem Text hinzufügen muss, um Leerstellen in der Erzählung zu füllen und um ihn verständlicher zu machen. Der Faktor *Fiktion* wiegt natürlich umso schwerer, je lückenhafter die Überlieferung ist. Ein weiterer Aspekt ist die *Imagination*, also die Fähigkeit, sich aus „Fakten“ und Fiktionen ein Gesamtbild zu erschaffen. Jede „Vergegenwärtigung“ braucht diese Form vorheriger „Vorstellung“, der einen tatsächlich kreativen Akt darstellt. Und damit sind wir auch schon beim dritten Faktor: der *konstruktiven Einbildungskraft*. Diese nutzt der Historiker beim Zusammenfügen seiner Puzzleteile aus Quellenaussaugen und ergänzten fiktionalen Elementen. Und seine Rolle dabei ist nicht zu unterschätzen: „Geschichte ist Wachs in den Händen des Historikers. Er formt sie, wie er sie will“ (305). Kein Wunder, dass Fried explizit vor den Gefahren einer zu weit gehenden, unwissenschaftlichen und letztlich destruktiven *Illusion* warnt, die sich als negative Ausprägung der Phantasie ergeben kann.

Was also sind die Konsequenzen von Frieds Lob der Phantasie für die Arbeit des Historikers? Die Phantasie erschien uns im Kurs wie die Sprache als Hintergrundphänomen (vgl. Denken und Sprache) des historischen Arbeitens. Es ist darum notwendig, ihre Wirksamkeit und ihre Wirkungsmechanismen offenzulegen und zu reflektieren. Für den Historiker heißt das aber auch, die Verwendung der Phantasie in den eigenen Arbeitsschritten zu belegen, um die Wissenschaftlichkeit seiner Arbeit zu gewährleisten. Weiterhin muss das Ergebnis der Fiktionen, Imaginationen und Konstruktionen des Historikers natürlich stimmig sein, seine Erzählung letztlich Plausibilität (vgl. „Kohärenz“ bei White) und Korrespondenz verbinden – nur dann ist sie zur Vergegenwärtigung von Vergangenheit geeignet.

Auch wenn Fried offenlässt, wie genau diese Plausibilität zu erreichen ist, stimmten wir zu, dass eine phantasiegeleitete Konstruktion authentischer sein kann „als das authentischste Protokoll“ (309). (Wir hätten gesagt: das „akkurateste“, vgl. Historische Authentizität.) Denn letztlich schreibt der Historiker nicht für die Vergangenheit, sondern immer für die Gegenwart. „Damit erst erfüllt Geschichte ihren Sinn“, schreibt Fried (ebd.) – wir kommen darauf in der letzten Sitzung zurück.

Literatur


- Johannes Fried: Wissenschaft und Phantasie. Das Beispiel der Geschichte, in: *Historische Zeitschrift* 263 (1996) S. 291-316.


## 6.13 Historiographie und Fiktion II: Whites Metahistory

Christoph Kreiß
Betreuerin: Dalila Truchan

Mit seiner 1973 erschienen „Metahistory“ löste der Historiker Hayden White in der Geschichtswissenschaft heftige Kontroversen aus. Nach seinen Analysen schreiben nämlich die meisten Historiker für ihn „uninteressant“. Das wiederum machte ihn für uns interessant und wir nahmen uns einen Text von ihm vor, der unter dem Titel „Die Fiktionen der Darstellung des Faktischen“ besonders auf folgende metageschichtliche Fragen eingeht: Inwieweit überschneiden und entsprechen sich der Diskurs des Historikers und der des Autors fiktionaler Literatur? Was macht ein geschichtliches Werk „uninteressant“

oder zu einem „Klassiker“ der Geschichtsschreibung? Welche Ursachen kann man historisch für die „uninteressante“ Geschichtsschreibung finden?

Ein Historiker arbeitet mit Ereignissen, die einem bestimmten raum-zeitlichen Ort zugewiesen werden können und prinzipiell beobachtbar oder wahrnehmbar sind. Autoren fiktionaler Literatur arbeiten mit bestimmten raum-zeitlich zugewiesenen Ereignissen und zusätzlich mit vorgestellten, hypothetischen oder erfundenen Ereignissen. Nach White ist dies der *einzige* Unterschied zwischen dem historischen und dem literarischen Diskurs. Alle Ereignisse werden dabei durch figurative Verfahren miteinander verbunden, wie sie schon die Rhetoriker und Poeten der Antike und der Renaissance beschrieben haben. Beide geben ein sprachliches Abbild von der „Wirklichkeit“ wieder, die in ihren allgemeinen Zügen einem bestimmten Bereich menschlicher Erfahrung entspricht. Ziel des Historikers wie des Autors fiktionaler Literatur ist „die Einsicht in und Erhellung der menschlichen Erfahrung der Welt“ (S. 146).

Der „uninteressante“ Historiker ist methodisch eingeschränkt durch das fehlende Bewusstsein für diese Zusammenhänge. Seine Erzählung will durch das Auflisten faktengetreuer Aussagen in der Anordnung ihres ursprünglichen Geschehens ein historisches Ereignis realistisch beschreiben – die Fakten sprechen schließlich für sich! Ziel dieser Geschichtsschreibung ist es, Ordnung in die Geschichte zu bringen. Die Korrespondenz zwischen vergangenem Geschehen, Werk und unserem heutigen Leben vernachlässigt dieser Historiker. Er unternimmt den Versuch, die Geschichtsschreibung zu entmythologisieren, weil dies für ihn gleichbedeutend mit Entfiktionalisierung ist. Er distanziert sich von jeglichem Anschein fiktionaler Darstellung, indem er für sein Werk das höchste Maß an „Objektivität“ beansprucht. Ein Mittel dazu ist die Suche nach einer fachspezifischen Sprache, um begriffliche Überdetermination und das Wirken von Phantasie zu vermeiden und Ereignisse wertneutral zu beschreiben. Die Sprache kann dabei objektiv und neutral eingesetzt werden als transparentes Vehikel der Fakten ohne kognitiven Ballast. (Diese Argumente erinnerten uns im Kurs an verschiedene zuvor behandelte Aspekte: von Frieds Lob der Phantasie über die begriffsgeschichtlichen Erkenntnisse zur „Überdetermination“ bis hin zu unseren philosophischen Betrachtungen über die Unmöglichkeit eines Sprachsystems ohne eben diesen kognitiven Ballast...)

Der Autor eines „Klassikers“ der Geschichtsschreibung hingegen entsagt nach White dem Glauben an die „Objektivität“, erreichbar ist nur ein möglichst hohes Maß an Plausibilität. Notwendig für diese sind nicht nur die Korrespondenz der Darstellung mit dem extratextuellen Bezug (im Fall des Historikers: mit der Vergangenheit), sondern selbstverständlich auch die Kohärenz der Darstellung (wie sie auch für fiktionale Literatur gilt). Des Weiteren können nur spezifisch rhetorische, literarische Stilmittel und fiktionale Darstellungsverfahren (wie sie Romanautoren verwenden) die Fakten zu einer verständlichen Totalität verbinden. Der Autor fertigt eine „Übersetzung“ an, indem er ein Abbild einer historischen Darstellung aus der Sprache der Quelle in unser heutiges taxonomisches System transferiert. Somit beinhaltet jedes Werk der Geschichtsschreibung seinen eigenen Mythos.

White bezeichnet seinen Standpunkt als reaktionär. Seiner Meinung nach war das Verständnis von Geschichtsschreibung vor der Französischen Revolution ein besseres als danach, denn im 19. Jahrhundert beginnt eine Veränderung des Selbstverständnisses der Historiker, die durch tiefgreifende Veränderungen auf allen Ebenen der Gesellschaft erklärt werden können: Die Industrielle Revolution brach die Ständegesellschaft auf und ermöglichte unter anderem durch Urbanisierung und Proletarisierung die Klassengesellschaft. Die politische Landschaft war äußerst zersplittert; ideologische Exzesse und ständige Konflikte um politische Systeme prägten diese Zeit. Die Historiker wollten sich nun klar distanzieren von falschen Auslegungen der Geschichte und unrealistischen Erwartungen hinsichtlich der Veränderungsmöglichkeiten historisch gewachsener Gesellschaften. Für sie schien ein „objektiver und realistischer“ Standpunkt gesellschaftlicher Wahrnehmung nötig, um „Überlieferungen nicht mehr im Lichte parteilicher Vorurteile, utopischer Erwartungen oder sentimentaler Anhänglichkeiten an traditionelle Institutionen zu interpretieren“ (148). Die Historiker wollten sich von der Gesellschaft lieber

als eine realistische Wissenschaft, ähnlich den Naturwissenschaften, verstanden sehen.

In der Sitzung wurde uns klar, dass wir damit nicht nur die ideologischen Konzepte der Historiker des 19. Jahrhunderts, sondern im Grunde die gesamte, bis heute im allgemeinen Bewusstsein wirksame Ideologie der Objektivität historisieren können: und zwar als Produkt historischer Entwicklungen und Erfahrungen, nicht als Prämisse wissenschaftlichen Handelns und Denkens.

White hilft uns, die Unhaltbarkeit dieser Ideologie aufzudecken. Es gibt keine ursprüngliche und richtige Beschreibung eines Ereignisses, die „gefunden“ werden kann, denn jede Beschreibung ist Interpretation und Wertung einer Ereignisfolge. Stattdessen sind die Verfahren oder Strategien, wie sie Autoren fiktionaler Erzählliteratur verwenden, notwendig, um Fakten zu einer verständlichen Totalität zusammensetzen zu können. Entgegengesetzte Erklärungen derselben Fakten sind möglich – und womöglich nötig. White geht sogar noch einen Schritt weiter, den im Kurs aber nur wenige mitgehen wollten: Gründe, ein Werk der Geschichtsschreibung einem anderem vorzuziehen, sind für ihn allein ästhetischer, moralischer oder erkenntnistheoretischer Natur. Die Geschichtsschreibung ist damit ein dichterischer Prozess. Dem letzten Satz konnten dann wieder alle zustimmen.

Literatur


- Hayden White: *Auch Klio dichtet oder Die Fiktion des Faktischen*, 2. Aufl., Stuttgart 1991, Kap. 5: Die Fiktionen der Darstellung des Faktischen (S. 145-160) [engl. orig. 1978]
- Hayden White: *Metahistory. Die historische Einbildungskraft im 19. Jahrhundert in Europa*, Frankfurt 1991 [engl. orig. 1973]


## 6.14 Geschichte erzählen zwischen Mythos und Kunst

Henrike Pfeiffer
Betreuerin: Anne Bihan

...oder in Hayden Whites Worten formuliert: „Der historische Text als literarisches Kunstwerk“.

In dieser Sitzung beschäftigten wir uns mit den Einflussfaktoren, denen ein Historiker nach White während seines Arbeitsprozesses unterliegt. In diesem Prozess finden sich viele Elemente der literarischen Verfahren wieder, wie sie ein Romanautor benutzt. Die einzelnen Arbeitsschritte und deren jeweilige Einflussfaktoren waren leichter zu identifizieren, nachdem ich die von der Textstruktur vorgegebene Lesart verlassen und Whites Text von hinten nach vorne durchgearbeitet habe. Der Übersichtlichkeit halber stelle ich die einzelnen Schritte klar getrennt vor, obwohl sie eigentlich fließend ineinander übergehen. Weiter ist vorauszuschicken, dass White sich in seiner Analyse ausschließlich auf die Geschichtsschreibung über Ereignisse beschränkt.

Der Arbeitsprozess beginnt mit dem Lesen von Quellen und ihrer Erschließung. Dabei muss der Historiker die Ereignisse, die in den Quellen in einer bestimmten Weise kodiert sind, dekodieren und sie in seiner eigenen Sprache wieder rekodieren, um sie zu verstehen. Bei diesem Schritt wird er sich z. B. begriffsgeschichtlicher Methoden bedienen.

Im nächsten (eng mit dem vorherigen verbundenen) Schritt identifiziert der Historiker die einzelnen Ereignisse in den Quellen und beschreibt sie in seiner eigenen Sprache als Vorbereitung auf das Schreiben der historischen Erzählung. Durch die Benutzung des Systems der Sprache findet eine Präfiguration der gesamten späteren Struktur statt, und auch die Richtung der späteren Interpretation wird bereits vorgezeichnet: Je nachdem, wie er die Ereignisse und ihre Beziehungen zueinander beschreibt, strukturiert der Historiker seine spätere Strategie der Interpretation vor, d. h. auch die Herangehensweise des

Historikers bekommt meist unbewusst eine bestimmte Struktur, mit der er dann die Argumentation entwickelt.

Als nächstes muss der Historiker die beschriebenen Ereignisse zu einer chronologischen Abfolge („Chronik“ bei White) sortieren, da die Ereignisse in den Quellen meist in anderer Weise gruppiert sind. Sie können z. B. in bestimmten Kategorien oder nach Aspekten sortiert vorliegen – oder, was bei erzählenden Quellen am wahrscheinlichsten ist, bereits in eine narrative Struktur gefasst sein.

Für seine eigene Erzählung muss der Historiker sich außerdem auf einen Aspekt (meist seine Fragestellung) beschränken und demzufolge die Ereignisse aus der angefertigten Chronik auswählen. Das impliziert auch das Weglassen von Informationen, um den Text verständlich zu machen. Würde er alle identifizierten Ereignisse benutzen, käme es zu einem endlosen Regress. Der Historiker muss abstrahieren, um Kausalzusammenhänge verständlich zu machen. Deshalb wird er nicht nur unbedeutende Details, sondern auch Ereignisse, die vielleicht bedeutend, aber für seine spezifische Argumentation nicht unbedingt nötig sind, weglassen. In einer Erzählung voller Details und Abschweifungen wären die besten Argumente nur schwer nachvollziehbar, da der Text einfach nicht lesbar wäre.

Jetzt kann der Historiker die ausgewählten Ereignisse in eine neue Abfolge bringen und sie strukturieren. Dabei wird er einzelne Ereignisse hervorheben und andere unterordnen – und dadurch die Aussage verändern. Wenn z. B. in der Eröffnung ein in der Chronik frühes Ereignis hervorgehoben wird, werden alle nachstehenden Ereignisse als Folge oder sogar Wirkung dieses ersten Ereignisses, dieser „Ursache“ gedeutet werden können. Für diesen Arbeitsschritt ist die Kohärenz der Ereignisabfolge sehr wichtig: Die Erzählung muss in sich schlüssig und widerspruchsfrei sein. Unstimmigkeiten würde der Leser, genau wie bei einem literarischen Roman, bemerken, was im schlimmsten Fall sein Verständnis behindern würde.

Diese Verfahren sind Anpassungen an eine übergreifende Struktur, White spricht von *prägenerischen Plotstrukturen*. Deshalb müssen diese in einen Kontext gestellt werden, um eine Bedeutung zu erhalten. Ereignisfolgen werden also nicht wertneutral beschrieben – die historischen Erzählungen laufen auf ein Ergebnis zu. Kennt man die Plotstruktur, kann man dieses Ergebnis schon zu Beginn erkennen. Plotstrukturen sind wichtig und unvermeidbar, denn die in den Quellen identifizierten Ereignisse sprechen nicht für sich. Wichtig zu wissen ist, dass der Historiker die Plotstrukturen für den Komplex von Ereignissen, mit denen er sich beschäftigt, schon im Kopf hat, während er die Quellen liest. Deshalb beeinflussen sie bereits von Beginn an den Arbeitsprozess.

Nach White prägen sich diese Plotstrukturen narrativ als Romanze, Tragödie, Komödie und Satire aus. Sie gründen sich auf die rhetorischen Figuren (Tropen) der Metapher, Metonymie, Synekdoche und Ironie. Die Anwendung der Plotstrukturen nennt White *emplotment*, sie ist bestimmend für die Interpretation, denn die historische Erzählung erhält durch das *emplotment* ihre Erklärungswirkung, die zur Sinnstiftung des gesamten Geschichtswerkes beiträgt.

Sinnstiftung ist eine der Hauptaufgaben des Historikers. Geschichtsschreibung wird für die Gegenwart betrieben, für die Menschen, die heute leben. Wir sind historische Wesen, d. h. wie unsere Gesellschaft sind wir Produkte historischer Entwicklungen. Historiker erklären diese Entwicklungen; auf dem Hintergrund von Geschichtsschreibung können wir daher das eigene Werden und Sein reflektieren. Indem wir erfahren, dass es Gründe für unsere Existenz gibt, so wie sie ist, erfahren wir auch Selbstvergewisserung. Diese ist von zentraler Bedeutung für die Menschen, da sie Sicherheit gibt. Damit erfüllt die Geschichtsschreibung auch eine stabilisierende Funktion, sowohl für jeden einzelnen von uns wie für die Gesellschaft.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Historiker in jeder Phase seines Arbeitsprozesses Beeinflussungen durch narrative Strukturen unterliegt, die er aber in Kauf nehmen muss, um Verständnis beim Leser zu erreichen. Natürlich muss sich der Historiker dieser Beeinflussungen bewusst werden und sie reflektieren; gute Historiker wissen dies sogar gezielt für ihre Zwecke einzusetzen.

Denn das „Verständnis“ ist mehr als die Erklärung historischer Ereignisse. Indem der Text – wie in der (fiktionalen) Literatur – eine Relevanz für die Lebenswelt des Lesers erzeugt, lässt sich Sinnstiftung erreichen. Erst dann kann er aktiv an der Erfüllung der gesellschaftlichen Bedürfnisse durch Sinnstiftung mitarbeiten. Medium dieses Verständnisses sind die Plotstrukturen – denn die hat der Leser ja auch schon im Kopf.

Literatur


- Hayden White: *Auch Klio dichtet oder Die Fiktion des Faktischen*, 2. Aufl., Stuttgart 1991, Kap. 3: Der historische Text als literarisches Kunstwerk (S. 101-122) [engl. orig. 1978]
- Hayden White: *Metahistory. Die historische Einbildungskraft im 19. Jahrhundert in Europa*, Frankfurt 1991 [engl. orig. 1973]


## 6.15 Abschlusssitzung

Peter Gorzolla, Saskia C. Quené

„Was haben wir eigentlich gelernt?“ wurden die Kursteilnehmerinnen und -teilnehmer am Ende gefragt – und sollten sich auf ihre Antworten einigen.

Das erste Ergebnis erschien allen beinahe schon zu simpel: dass „Wahrheit“ nicht absolut gesetzt werden kann, sondern „subjektiv“ in dem Sinne ist, dass sie sich nur subjektgebunden fassen lässt. Weiterhin wurden *Verstehen* und *Erklären*, diese zentralen Kategorien historischer Methodik, als Prozesse des „Übersetzens“ identifiziert. Dieses Übersetzen beginnt bereits auf der Ebene von Wahrnehmung und Erschließung und wird deutlich beim Versuch der Herstellung von Korrespondenz – sei es mit der Vergangenheit als augenscheinlichem Untersuchungsobjekt oder mit der Gegenwart, für die alle Geschichte geschrieben (besser: erzählt) wird.

Dass literarische und fiktionale Strukturen die *Geschichtsschreibung beeinflussen*, war für den Kurs ja eigentlich schon vorgegeben. Zwei Punkte haben jedoch besonderen Eindruck gemacht: in welchem Umfang diese Strukturen *bestimmenden* Charakter haben und dass diese Einflüsse bereits bei der Erschließung des Materials, also noch deutlich *vor dem Schreiben* wirksam werden.

Bei all diesen Punkten, hier war schnell Einigkeit erzielt, spielt die Sprache eine überwältigende, wenn nicht gar entscheidende Rolle – und zwar nicht nur das Sprechen als physische Handlung und kommunikativer Akt oder das jeweilige Sprachsystem (wie z.B. „Deutsch“), sondern vor allem die Sprache als Hintergrundphänomen und das Denken (mit)bestimmende Struktur. Mit den Worten der Teilnehmerinnen und Teilnehmer: „Sprache schränkt ein, verzerrt, determiniert – aber sie eröffnet auch neue Möglichkeiten und Erkenntniswege.“

Das blieb zum Glück nicht der einzige Lichtblick: Unabhängig von allen festgestellten Einschränkungen, Verzerrungen und Absagen an die Objektivität ist klar geworden, dass Geschichtsschreibung vor allem eine sinnstiftende Funktion für die Gegenwart besitzt. Sie soll *Vergangenheit* gar nicht mimetisch nachbilden, sondern *vergegenwärtigen*; und das heißt immer zuerst einmal: verständlich machen. Hierin liegt denn auch ein Verständnis von Validität oder „Wahrheit“ begründet, das der Historiker mit dem Literaten teilt – und eine Aufgabe, die er bei aller „Subjektivität“ durchaus gut zu bewältigen imstande ist.

# 7 Kursübergreifende Angebote

Das kursübergreifende Angebot enthielt bei der Schülerakademie 2013 Chor, Kontratanz, Kammermusik, Englisches Theater, Bühnenbild, Theaterimprovisation, Rhetorik, Italienisch, musikalische Improvisation, Naturkunde und Journalismus. Einige dieser Aktivitäten waren schon in der Ausschreibung enthalten, die übrigen ergaben sich durch Angebote während des Vorbereitungsseminars.

## 7.1 Chor

Leitung: Willy Petermann
Bericht: Christoph Kreiß, Alena Greßler

Mit einem kräftigen „Shosholoza!“ lud Chorleiter Willy uns alle auf eine Reise in das Herz Afrikas ein. Einige Auserwählte wurden von den Rhythmen sogar bis in den Neun-Säulen-Raum, den höchsten Teil der Burg, mitgerissen. Da keiner nach dem mühsamen Aufstieg den gesamten Weg aus dem dritten Stock wieder hinunter laufen wollte, sangen wir munter weiter. Mit uns wurde Willy vor wirklich heroische Aufgaben gestellt. Ihm stand eine buntgemischte Gruppe von blutigen Anfängern bis hin zu professionell ausgebildeten ChorsängerInnen gegenüber – verbunden in der Motivation, gemeinsam zu musizieren.

Trotzdem schaffte er es in kürzester Zeit, Harmonie und Rhythmus (in dieser Reihenfolge) in der Gruppe zu etablieren. Diejenigen, die vorher noch nicht in einem Chor oder vielleicht noch nie gesungen hatten, fanden hier einen geschützten Raum, in dem sie sich ausprobieren konnten und viel Unterstützung fanden.

Die Atmosphäre war zwar entspannt, aber dennoch motivierend und produktiv. Fehler waren nicht nur erlaubt, sondern ausdrücklich erwünscht. Dass man aus Fehlern lernt, sollte allen bewusst sein. Mut, Kraft und Tapferkeit gelten nicht nur als die Tugenden eines echten afrikanischen Kriegers, sondern auch als die eines Burgsängers. Außerdem boten die Lieder genügend Interpretationsspielraum, in dem Anfänger sich frei entfalten, aber auch Profis ihr Können unter Beweis stellen konnten.

Aus dieser gemeinsamen Zeit nehmen wir nicht nur das Erleben der afrikanischen Gesangskultur mit, sondern vielmehr die Erfahrung, Fehler zulassen zu können.

## 7.2 Kontratanz

Leitung: Saskia C. Quené
Bericht: Doi Park, Felicitas Makait

Die kursübergreifende Aktivität „Kontratanz“ eröffnete den Beteiligten die Gelegenheit, einander kennenzulernen und ohne Sprache miteinander zu kommunizieren. Durch das Fehlen von festen Tanzpaaren ergab sich die Möglichkeit, mit jedem der anderen Teilnehmer zu tanzen.

Die Tänzer und Tänzerinnen bilden eine Gasse oder ein Carré. In der *Gasse* stehen sich Mann und Frau gegenüber und jeweils zwei nebeneinander stehende Paare bilden ein Quadrat, das zusammen tanzt. Im *Carré* stehen Mann und Frau nebeneinander, und jeweils zwei Paare bilden eine Achse; diese Aufstellung sieht aus wie ein Quadrat (frz. carré). Es herrscht eine gewisse angenehme Spannung und alle Beteiligten schauen sich in die Augen. Schließlich fängt die Musik an und die Kursleiterin Saskia

führt die ganze Gruppe mit ihrer Cellomusik. Sanfte Bewegungen bilden lineare und kurvige Formen, die das Tanzen und Zuschauen interessant machen.

Die Namen der Tänze sind häufig sehr bildlich und stellen die Kernfigur des Tanzes dar. So hießen die Tänze, die wir lernten, beispielsweise „Newcastle“, „Edelsteine“, „General Busque“, „Lily Burlero“, „Gerstensaft“ bzw. „Schleendorn“, „Jamaica“ und „Orangen und Zitronen“.

## 7.3 Kammermusik

Leitung: Larissa Stelzer
Bericht: Michelle Möll

In der KüA Kammermusik haben wir – das heißt 2 ViolinistInnen, 3 PianistInnen, 2 Flötistinnen und ein Posaunist (bzw. ein Sänger) – zusammen mit unserer Kursleiterin musiziert. Wir begannen in kleinen Gruppen zu üben, sodass zum Beispiel der Kanon von Pachelbel mit Violine und Klavier oder eine Aria von Händel für zwei Flöten eingeübt wurden. Jeder konnte seine eigenen Musikwünsche und Ideen einbringen, sodass auch vom Klavierkabarettisten Bodo Wartke Stücke einstudiert wurden. Gleichzeitig wurden nach den ersten „Erfolgen“ die Besetzungen gewechselt. Nun spielten die Pianisten vierhändig und Violinen und Querflöten erarbeiteten sich einen Tanz (Chaconne) von Purcell. Da der vierstimmige Satz eigentlich für eine andere Besetzung komponiert wurde, transponierte unsere Kursleiterin kurzfristig die Tenorstimme und spielte selbst auf der Bratsche die Bassstimme mit, damit das Stück vollständig besetzt gespielt werden konnte. Insgesamt konnten alle Teilnehmer neue Erfahrungen beim gemeinsamen Musizieren sammeln und besaßen so viel Motivation, dass auch außerhalb der eigentlichen KüA-Zeit fleißig geübt wurde.

## 7.4 English Theatre

Leitung: Ingrid Baumann-Metzler
Bericht: Laura Wolber, Paula Kilp

„Hello Sir Paul Hunter! Hello Paul! I have brought some friends!“ ... and we made a play with this infamous nobleman, who wants to secure his precious diamond necklace in giving it into the hands of the local bank manager William Baker. William decides to deposit it at home, so he can keep an eye on it. But Surprise! The same night it is stolen and William Baker’s son Brian is accused! But also his niece Rose seems to be involved in it...

It was fun to adapt the roles, fill them with a character and literally fit into them in putting on their costumes. After the first few tries it got easier to perform our roles naturally and gradually we improved our words, gestures and expressions and got better every time. Come and watch our play! If you want to see how everything started and how this affair will end...

We would like to thank our writer/director Ingrid for her guidance and instructions and furthermore the creative-team under Birthe, who made us some awesome scene backgrounds and properties, which were the keys to blend into the roles.

*Participants*: Sophia von Habsburg, Veronika Wissa, Johanna Hering, Jan Fotakis, Mariam Rizk, Laura Wolber, Paula Kilp, Ulrike Hadlock (Team) und Kathrin Timmer (Team).

## 7.5 Bühnenbild

Leitung: Birthe Anne Wiegand
Bericht: Hannes Güdelhöfer, Nadin Sarajlic

Im kursübergreifenden Angebot „Bühnenbild“ erstellten wir Kulisse und Requisiten für das englische Theaterstück. Wie jedes Jahr begann unsere Arbeit mit der gründlichen Analyse des Stückes selbst, wobei wir zum Beisiel herausfanden, wie viele Diamanten die Juwelenkette haben sollte, oder dass zum „blauen Haus“ leider kontextbedingt keine Mosaikverzierungen passten. Danach ging kreatives Ideensuchen nahtlos in handwerkliche Arbeit über. Wir malten und zeichneten nicht nur, sondern konnten uns auch beim Basteln austoben: Es entstanden unter anderem ein Monokel samt Schnurrbart, ein sehr episches Fenster (das so ohne den Hausmeister der Burg niemals innerhalb von zwei Wochen fertig geworden wäre – ja, man kann es sogar richtig öffnen!), jede Menge große Geldscheine, Münzen, ein FBI-Ausweis und vieles mehr.

Die Erstellung hat uns allen viel Spaß gemacht, auch wenn es viel Arbeit war. Am Ende der Akademie konnten wir dann unser Werk in Aktion betrachten und waren sehr zufrieden damit.

## 7.6 Theaterimprovisation

Leitung: Volker Kehl
Bericht: Marie-Therese Heberer

„*Damals gilt, was heute gilt: Bin ich inspiriert, geht alles gut, doch versuche ich es richtig zu machen, gibt es ein Desaster.*“ (Keith Johnstone, 1993)

Inspiriert waren wir, die Schüler aus dem Improvisationskurs, tatsächlich die meiste Zeit. Und wenn es mal nicht rund lief? Dann merkten wir, dass Fehler einfach dazugehören und nicht schlimm sind. Im Gegenteil! Sie können sogar Spaß machen und gehören zum Lernen dazu. Folglich hatten wir bei unseren Übungen in Gestik, Auftreten und Stimmbildung viel Freude.
Neben diesen Übungen spielten wir in den historischen Hallen des 9-Säulen-Raums Liebesgeschichten, probten Beerdigungen und duellierten uns in opernhaften Theater-Wettkämpfen.

Neben der individuellen Gestaltung von Körper und Geist wurde auch die kooperative Fähigkeit gestärkt. Bei gemeinsamen Improvisations-Spielen kam die Schauspielkunst und Kreativität nicht zu kurz. Denn wie der Name des Kurses bereits verrät, mussten wir uns mit viel Eigeninitiative und Spontanität auf Situationen einstellen können, die wie aus dem Nichts entstanden. Daher war es nicht verwunderlich, dass Romeo auf einmal Julia für Katja verließ oder Adam und Eva Gott die Meinung geigten. Doch neben diesen komödiantischen Elementen wurden auch Tragödien aufgeführt, bei denen sich beispielsweise Henker in ihre Opfer verliebten.

## 7.7 Rhetorik

Leitung: Florian Dinges, Stephan Pohl
Bericht: Florian Dinges

In der Schule stehen wir oft vor der Herausforderung, Inhalte zu präsentieren, unsere Meinung vor einer Gruppe zu vertreten und Gespräche mit Lehrkräften zu führen. Ebenso sind sowohl mündliche Prüfungen als auch Präsentationen fester Bestandteil der Abiturprüfung. Im Rahmen der Rhetorik-KüA entfalteten wir zu diesen Herausforderungen Zielorientierungen zu einem souveräneren Auftritt, Stärkung des Selbstbewusstseins in Gesprächsrunden sowie zur Verbesserung unserer Wahrnehmung.

Hierzu starteten wir mit der Selbstvorstellung an verschiedenen Orten auf Burg Fürsteneck und erhielten dadurch die ersten Rückmeldungen zu unserem Auftreten vor der Gruppe. Auf Basis dessen konnten wir Ideen für eine adäquate Mimik, Gestik und Haltung entwickeln. Diese übten wir in Form von Gruppenpräsentationen, um verschiedene Visualisierungsmedien, wie z.B. Beamer, Flippchart und Tafel, kennenzulernen. Des Weiteren stärkten wir unsere Interaktionskompetenzen durch Rollenspiele von typischen Schulsituationen. Ebenso setzten wir das Gelernte in Stegreifreden effektiv und effizient um und erhielten schließlich die Möglichkeit, den Besuchernachmittag zu moderieren.

## 7.8 Italienisch

Leitung: Fabian Angeloni
Bericht: Ruth Heil

Buongiorno! Dies war eines der ersten Worte, die wir in der Italienisch-KüA lernten. Der Kurs begann mit Begrüßungen und ging über Bestellungen im Restaurant bis hin zu Wegbeschreibungen. Während wir lernten, wie man Pizza, Pasta oder Kaffee bestellt, wurden uns die „Non Fas“ Italiens beigebracht und Klischees von Deutschen und Italienern ausgetauscht. So sind die Deutschen immer pünktlich, distanziert und trinken nach dem Essen einen Cappuccino. Etwas, was für Italiener unvorstellbar scheint, da jegliche Formen von Milchkaffee ausschließlich zum Frühstück zu trinken ist und auf keinen Fall zu einer anderen Tageszeit. Italiener auf der anderen Seite trinken immer Wein, sind laut und temperamentvoll. In den zwei Wochen KüA-Zeit haben wir die wichtigsten Phrasen für einen Urlaub in Italien gelernt, sehr viel gelacht und einfach eine wunderschöne Zeit gehabt!

## 7.9 Musikalische Improvisation

Leitung: Volker Kehl, Wolfgang Metzler
Bericht: Doi Park, Anastasia Reiß

An der musikalischen Improvisation waren dieses Jahr Volker, Wolfgang, Lara, Tobias, Doi und Anastasia beteiligt und haben in den letzten Tagen jedes Mal einmalige, atemberaubende Musik geschaffen:

Stille. Tobias spielt eine kleine Melodie auf dem Klavier. Trommel. Tak. Bum. Bum. Volker freut sich. Tiefe Stimme von Wolfgang. Laras Stimme ergänzt. Doi ruft, aber man weiß nicht was. Ding. Ding. Dong. Dong. Glockenspiel von Anastasia. Es entsteht Musik. Die Stimmung wechselt vom leisen Verspielten in das virtuose Laute. Jemand beginnt mit der Gitarre, neue Impulse zu geben. Die Musik reagiert darauf und es entsteht eine neue gemeinsame Harmonie. Dum. Di. Da. Da. Du hörst zu. Du möchtest ein Teil davon werden, aber du weißt nicht wie. „Was soll ich tun?“ fragst du dich. Du möchtest nichts falsch machen. Du möchtest die Musik nicht zerstören. „Was kann ich tun?“ fragst du dich dann. Nicht fragen. Einfach machen... Das ist Improvisation!

## 7.10 Naturkunde

Leitung: Wolf Aßmus
Bericht: Alexander Dick

Auf der HSAKA sind wir durch Feld, Wald und Wiesen gewandert und haben dabei allerlei Tiere und Pflanzen gefunden und bestimmt.

Mit dabei waren v.l.n.r.Alex, Laura, Ginger, Wolf, Jana, Johannes, Veronika, Kai-Lars, Sidonie, Valentin, Daniel, Jan, Maxim und Tobias.

## 7.11 Journalismus

Leitung: Fabian Angeloni
Bericht: Paula Kilp

In der Journalismus-küA haben wir zunächst einmal die Grundlagen und Arten von journalistischer Berichterstattung erarbeitet und besprochen, nur um diese gleich darauf in die Praxis umzusetzen. Dies fing an mit einem einfachen Bericht über die Schülerakademie und setzte sich fort über eine Reportage bis hin zum Führen eines Interviews. Diese bringen alle ihre Freuden mit sich, aber halten auch Herausforderungen bereit. Selbstständiges Arbeiten ist sowohl beim Schreiben als auch beim Recherchieren gefragt, was aber dafür gesorgt hat, dass wir sowohl unseren Spaß beim Schreiben gefunden haben als auch daran arbeiten mussten, unsere Kräfte und Fähigkeiten einzuteilen. Abschließend betrachtet haben wir eigentlich nicht nur neue Texte geschaffen, sondern vielmehr gelernt, mit einem neuen Werkzeug umzugehen, welches uns ermöglicht, anderen einen neuen Blick auf die Welt zu geben. Dafür danken wir dem Leiter dieser küA, Fabian Angeloni.

# 8 Abendvorträge

## 8.1 Geologie [in] der Antarktis – Forschungsarbeit unter Extrembedingungen

Prof. Dr. Georg Kleinschmidt

Der Vortrag wollte einerseits allgemeines und geologisches Wissen über die Antarktis vermitteln – vor allem auch neues mit eigenen Ergebnissen –, andererseits auch die psychischen und sozialen Extremsituationen darstellen, unter denen neues Wissen in der und über die Antarktis wenigstens gelegentlich gewonnen wird.

Die Antarktis, der Kontinent am Südpol, hat einen Durchmesser von ca. 4000 km und ist größer als Europa. Von den Nachbarkontinenten ist sie weit entfernt: ≈1100 km von Südamerika, ≈3000 km von Australien und Neuseeland und ≈4000 km von Afrika. Das war nicht immer so. Von vor 500 bis vor 180 Millionen Jahren (Ma) war sie Zentralstück des Superkontinents Gondwana und von vor 1100 bis vor 750 Ma wesentlicher Teil des Superkontinents Rodinia. Eines der Hauptziele der geologischen Antarktisforschung ist es daher, diese beiden Superkontinente möglichst genau zu rekonstruieren. Man geht dabei (u.a.) ähnlich vor wie bei der Rekonstruktion antiker Gefäße, deren Scherben man mit Hilfe von Zierstreifenresten wieder zusammenfügt. Die Zierstreifen der Gondwana- bzw. Rodinia-„Scherbe“ Antarktis sind dabei Faltengebirge (= Orogene). Faltengebirge entstehen, da sich die Lithosphärenplatten der Erde gegeneinander verschieben, und zwar dort, wo sie sich aufeinander zu bewegen: im Bereich von Subduktions- und Kollisisonszonen. Heutige Beispiele sind die Anden und der Himalaja. „Zierstreifen“ der „Scherbe“ Antarktis sind ≈1100 Ma alte Orogene gegenüber von Südafrika, von Indien und von Westaustralien, ≈500 Ma alte Orogene ebenfalls gegenüber von Südafrika und von Indien und parallel zum Transantarktischen Gebirge, ein ≈200 Ma altes Orogen südlich des Weddellmeeres und die ≈100 bis weniger als 50 Ma alten Antarktisanden im Bereich der Antarktischen Halbinsel. Beispielhaft demonstriert wurde, wie sich eines der ≈500 Ma alten Orogene vom Transantarktischen Gebirge in Victorialand mit allen Einzelheiten (Falten, Granitintrusionen und symmetrisch angeordneten Überschiebungszonen) nahtlos nach Südaustralien hinein fortsetzt und so eine sehr genaue Rekonstruktion des Zusammenhangs Antarktis-Australien im Verbund Gondwanas ermöglicht.

Der kurz dargestellte geologische Aufbau der Antarktis ist trotz 99%iger, bis fast 5 km dicker Inlandeis-Bedeckung einigermaßen gesichert erfasst, nämlich mit Hilfe genauer geologischer Erforschung der eisfreien Gebiete (nur 1%!) und anschließender Interpolation („Teppich-Prinzip“) und mit Hilfe geophysikalischer Methoden von Hubschraubern oder Flugzeugen aus, z.B. mit Eisradar. Geologische Tiefbohrungen durch das Inlandeis sind vorgesehen – konkret eine in die Gamburtsev Subglacial Mountains –, aber bis jetzt nicht realisiert.

Zu den unterschiedlichsten „normalen“ Problemen bei der geologischen Feldarbeit wie niedrige Temperaturen, besonderer körperlicher Einsatz, aufwendige Logistik oder die starke (magnetische) Deklination wurden Erfahrungen mit besonderen Extrembedingungen angesprochen:

- Das merkwürdige Gefühl, im Ausnahmefall im Umkreis von >100 km einziger Mensch, ja einziges Lebewesen zu sein – und das bei totaler Stille.
- Völlige Frustration bis hin zur Depression und irrationales Sozialverhalten bei einem unvorhergesehenen, frühzeitigen Expeditionsabbruch. (Das Expeditionsschiff wurde nach nur 14 Tagen nach Ankunft in der Antarktis vom Packeis zerdrückt.)

- Die Bewältigung eines viertägigen Superorkans gemeinsam mit einem neuseeländischen Zeltkameraden – ohne Essen, ohne Funkverbindung, ohne ... – anfangs z.B. mit gemeinsamen Wagner-Arien gegen den Sturm, schließlich nur noch mit Fatalismus.

Die anschließende lebhafte Diskussion mit den hoch motivierten Oberstufenschülern hätte vermutlich noch viele weitere Stunden dauern können.

*Dr. Georg Kleinschmidt* wurde 1972 Professor für Geologie an der TH Darmstadt, wechselte 1985 an die Goethe-Universität Frankfurt am Main und wurde dort 2003 emeritiert. Von 1996 bis 2010 war er Vorsitzender der Deutschen Gesellschaft für Polarforschung, in der er schon 1983 den Arbeitskreis „Geologie der Polargebiete“ mitbegründete. Auf der diesjährigen Hessischen Schülerakademie hat er im Rahmen des Abendprogramms von seinen zahlreichen Antarktis-Expeditionen berichtet.

## 8.2 Science-Slam: Humor in der Wissenschaftskommunikation

Dr. Hartwig Bosse

Ein **Science Slam** (deutsch: Wissenschaftswettstreit) ist ein wissenschaftliches Kurzvortragsturnier, bei dem Wissenschaftler ihre Forschungsthemen innerhalb einer vorgegebenen Zeit vor Publikum präsentieren. Im Vordergrund steht die populärwissenschaftliche Vermittlung wissenschaftlicher Inhalte, die Bewertung erfolgt durch das Publikum. [Wikipedia]

Der Vortrag mit dem Titel „Science-Slam: Humor in der Wissenschaftskommunikation“ stellte die humorige Vortragsform des „Science Slams“ vor, und diskutierte, in wie weit wissenschaftlicher Inhalt und die Gestaltung eines Vortrages von einander trennbar sind. Im Anschluss an den 45-minütigen Hauptvortrag präsentierte Dr. Bosse seinen eigenen 15-minütigen Science-Slam-Vortrag. Der Abend endete in einer offenen, abendfüllenden und ergebnisreichen Diskussion.

### Hauptvortrag

Ziel des Vortrages war es, klarzustellen, dass in einem Wissenschaftsvortrag unterhaltsame bzw. humorvolle Darstellung und wissenschaftlicher Inhalt zwei unabhängige Eigenschaften sind: Dass es also möglich ist, einen inhaltlich gelungenen und wissenschaftlich sauberen Vortrag zu halten und dies dennoch humorvoll bzw. nicht trocken wirken zu lassen. Auf dieses Ziel hinarbeitend wurden die folgenden Thesen aufgestellt:

1. Wissenschaftliches Arbeiten benötigt immer auch Wissenschaftskommunikation, d.h. Wissenschaft und Wissenschaftskommunikation sind untrennbar.
2. Humorvolle Kommunikation hilft dem Zuhörer den transportierten Inhalt zu verarbeiten.
3. Wissenschaftliches Arbeiten benötigt Humor, denn eine Form der notwendigen Kreativität ist der ungezwungen spielerische bzw. humorvolle Umgang mit Wissenschaftsequipment.

### Zu den Thesen

- Zu These 1. wurde schematisch ein mathematisches Modell für Kommunikation (die sog. „Memetik“) vorgestellt. Ähnlich zur Genetik wird hier davon ausgegangen, dass Information auf ihrem Weg durch die Kultur einer Evolution unterliegt.
- Zu These 2. wurde eine entsprechende kommunikationswissanschaftliche Studie erwähnt.

- These 3. wurde anhand des Beispiels von Sir Andre Geim erläutert:
  Geim erhielt im Jahr 2000 den Ig-Nobel-Preis für Physik dafür, dass er einen lebenden Frosch in einem Magnetfeld schweben ließ. Im Jahr 2010 erhielt er den Nobel-Preis für Physik für die Entdeckung einer simplen wie kostengünstigen Methode zur Herstellung des Materials Graphen. Der Ig-Nobel-Preis wird für wissenschaftliche Ergebnisse vergeben, die erst zum Lachen und dann aber zum Denken anregen. Im Falle des schwebenden Frosches war es tatsächlich bisher nicht bekannt, dass Wasser als diamagnetisches Material in einem sehr starken Magnetfeld schweben würde.
  Die beiden genannten Entdeckungen Geims entspringen seinen sogenannten „Friday-Sessions“, in denen er am Ende der Woche mit seinen Doktoranden spielerisch durch sein Labor geht und fragt: „Was kann man mit diesem Zeug eigentlich noch alles anstellen?“ [Zitat Geim]

Schlussendlich wurde der Science-Slam als eigene Kommunikationsform vorgestellt und am Beispiel vorgeführt, dass ein Science-Slam wie jeder Wissenschaftsvortrag unterhaltsam sein kann (oder nicht) und unabhängig davon inhaltsreich (oder nicht). Vorgeführt wurden dazu Videoausschnitte aus einem Science-Slam, der zwar sehr unterhaltend ist, aber leider inhaltsfrei bleibt.

Am Ende gab der Vortragende noch einige persönliche Tipps für das Erstellen eines gelungenen, unterhaltsamen wissenschaftlichen Vortrags.

**Diskussion**

Im Anschluss an den Vortrag fand eine überraschend rege Diskussionen über das Thema „Humor in der Wissenschaftsvermittlung“ und das Thema „Vereinfachung von wissenschaftlicher Vermittlung“ statt. Sowohl Schüler als auch die betreuenden Studierenden als auch der Vortragende beteiligten sich intensiv an dieser Diskussion, die sich noch weit in die private Abendzeit der Schüler fortsetzte.
Eine kurze Diskussion drehte sich zunächst darum, inwieweit Humor überhaupt bei einigen wissenschaftlichen Themen (Klimawandel, AIDS-Epidemie) angebracht sei. Hier war man sich schnell einig, dass der Ton die Musik macht, und gute Wissenschaftskommunikation den Humor dort verwendet, wo er angebracht ist.
Die Hauptdiskussion stellte die vereinfachende Form der Darstellung von Wissenschaft im Science Slam in Frage. Es ergaben sich zwei konkurriernde Thesen: Zum einen, dass die humoristische Wissenschaftsvermittlung im Rahmen des Science Slam sicher zum Beschäftigen mit Wissenschaft einlädt. Auf der anderen Seite wurde kritisiert, dass eine vereinfachende Art der Wissenschaftsvermittlung dazu führen kann, dass wissenschaftliches Arbeiten als „trivialer“ bzw. „simpler“ Prozess verkannt wird. Hieraus ergab sich in der Diskussion die Fragestellung, inwieweit wissenschaftliche Spaßveranstaltungen wie der Science Slam dazu (ver)führen, dass das Publikum sich nicht mehr mit den wissenschaftlichen Inhalten selbst beschäftigt und darüber hinaus sogar stets die „mundgerechte“, häppchenartige und unterhaltende Darstellung von Wissenschaft erwartet – es wurde der Begriff „Fast-Food-Wissenschaft“ geprägt.
In einer regen und teilweise vehementen Diskussion wurden diese Punkte diskutiert. Schlussendlich wurde zwischen oberflächlich und tiefer interessierten Zuschauern unterschieden:

Man wurde sich einig, dass ein Science-Slam für ein Publikum ohne Vorbildung ein guter erster Einblick in ein Thema sein kann und für „fortgeschrittene“ Zuschauer ein unterhaltsamer Anlass, einmal genauer nachzuhaken. Einig war man sich, dass eine plakative Wissenschaftsdarstellung stets das Risiko birgt, dass wichtige Details verloren gehen, und dass in einem wissenschaftlichen Vortrag vor lauter Humor die Inhalte nie auf der Strecke bleiben dürfen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Vortrag mit der nachfolgenden anregenden Diskussion sowohl für die Schüler als auch für den Vortragenden neue Einsichten in das Thema Wissenschaftsvermittlung brachte.

# 9 Vorträge zum Vorbereitungsseminar

## 9.1 Fachspezifische Voraussetzungen für Begabtenförderung

*Kurzreferat am 1. Tag des Vorbereitungsseminars* Prof. Dr. Wolfgang Metzler

1) **Fachspezifische Literatur** für differenzierenden Klassenunterricht, Arbeitsgemeinschaften, Schülerakademien, Einzelförderung, für forschenden Unterricht, etc. findet man oft als *-Kapitel in Lehrerhandbüchern, Lehrplänen, manchmal auch in Schulbüchern. Das sind zwar im Zeitalter der elektronischen Medien unmodern gewordene Quellen. Sie bieten aber thematische Auflistungen. Erst wenn man sich für ein Gebiet entschieden hat, kann und sollte man u. a. Wikipedia konsultieren. Fachlexika, Schüler- und Lehrerzeitschriften, wissenschaftliche Fachzeitschriften, oder von SchülerInnen gelesene (populäre) Literatur (z. B. Spektrum der Wissenschaft, Geo, ZEIT-Sonderhefte), Aufgabensammlungen sowie die Dokumentationen von Schülerakademien treten für die Themensuche und ihre Behandlung hinzu.

2) Eine **individuelle Förderung** verlangt spezielle fachliche Kompetenzen, z. B. für das Erlernen verschiedener Musikinstrumente, was nicht immer und überall sogleich aus einer Schule ausgelagert werden muss. In Mathematik ist das Beobachten und Fördern spezieller Begabungen (z. B. geometrische, kombinatorische, rechnerische Fähigkeiten betreffend) hierfür unumgänglich, auch, wenn es um den Ausgleich von Defiziten geht. Allerdings sollten die Grenzen zur Therapie nicht überschritten werden, deren Notwendigkeit sich ja mit (hoher) Begabung verbinden kann. Ferner: Auch Blinde sind manchmal hochbegabt.

3) Schließlich ist eine überdurchschnittliche **Begabung der Unterrichtenden** für das betreffende Fach unerlässlich. Die SchülerInnen unserer Akademien machen ihnen das bei der Kursarbeit nachdrücklich klar.

4) **Rückkoppelungen zur allgemeinen Pädagogik** und Fragen an sie ergeben sich, wenn man bedenkt, dass Gruppenarbeit in Musik (z. B. eine Kammermusikprobe) meist anders funktioniert als die gemeinsame Bemühung um die Lösung einer mathematischen Knobelaufgabe. Selbst ohne eine universelle Methodik ist aber in beiden Fächern die Fähigkeit zu fördern, Ergebnisse durch Kooperation zu erhalten.

5) Ich schließe als Beispiel mit meiner **Handbibliothek für die Durchführung des diesjährigen Mathematikkurses in Fürsteneck**:

*Literatur zum Kursthema Topologie*:
Lehrbücher von Schubert, Boltjanskij-Efremovic, Kapitel 5 aus Courant-Robbins, Aufsätze von Appel & Haken sowie von G. Ringel zu Färbungsproblemen.

*Allgemeinere mathematische Literatur*:
Das Buch der Beweise, Meyers kleine Enzyklopädie Mathematik, das Spektrum-Heft: Die größten Rätsel der Mathematik, Hog-Angeloni/Metzler: Inhalte für Begabtenförderung in Mathematik (Aufsatz aus den DMV-Mitteilungen 2009). Polya: Mathematik und plausibles Schließen.

Ein größerer Teil dieser Literatur ist im Mathematikteil der vorliegenden Dokumentation oder in dem vergangener Jahre genauer zitiert.

## 9.2 Begabungsförderung und Schule

*Vom Anspruch, eine eckige Sau durch ein rundes Loch zu bringen* Prof. Dr. Christina Schenz

In diesem Vortrag ging es um die Frage der schulischen Begabungsförderung im Rahmen von Bildungsgerechtigkeit und individueller Förderung von Menschen.

Im Beitrag wurde eingangs festgestellt, dass schulische Begabungsförderung nicht nur pädagogischer Anspruch, sondern auch gesetzliche Vorgabe ist: „Begabungsförderung ist ein zentrales Anliegen in der gegenwärtigen Schule. Schule muss Maßnahmen stellen, um alle Begabungen anzusprechen“ (Beschluss der KMK vom 7.5.2009). Begabungsförderung geht uns somit alle an.

Demnach bedarf es auch schulischer Angebote, in denen Menschen all ihre Begabungen in ihren höchst individuellen Entwicklungsprozessen entfalten können. Wie dies aber tun in einer Schule, die nach wie vor noch gleiche Lernziele hat, gleichschrittige Lernangebote setzt und das von der Lehrkraft als zu erreichendes Maß vorgesetzes und von den SchülerInnen damit nur reproduziertes „Lernen“ in seiner standardisierten Formel sogar noch als Fortschritt in Kompetenzen und Lernergebnis bejubelt?
Wo bleibt in solch einem Umfeld Platz für besondere Begabungen, kreative Lernwege und individuelle Bildungsprozesse?

Im Vortrag wird die These vertreten: Damit Menschen all ihre Begabungen entfalten können, bedarf es neben einem gewissen kreativen Potentials des Einzelnen und seiner angenommenen (weil natürlichen) Lernbereitschaft in erster Linie ein Umfeld, das diese „individuellen Eigentümlichkeiten des Menschen“ (Friedrich Daniel Ernst Schleiermacher) in seiner jeweiligen Entwicklung unterstützt. Im Vortrag werden aufgrund dieser theoretischen Ausgangslage auch praktische Möglichkeiten einer schulischen und dennoch individuellen Begabungsförderung am Beispiel eines Mathematikunterrichts aufgezeigt und dessen Vorteile anhand empirischer Belege aus der Unterrichtsforschung belegt.

Aufgezeigt wurde damit deutlich, dass zur Entfaltung von Begabungen nicht nur die Familie, sondern auch die Schule eine bedeutende Rolle spielt. Dabei konnte gezeigt werden, dass eine gelingende Begabungsförderung nicht nur das Glück des Individuum bedeutet: Denn je nachdem, wie es dem Einzelnen in diesem Bedingungsgefüge gelingt, seinen individuellen Weg zu finden (und ihn in die Gesellschaft einzubringen), kann aus der Vielfalt menschlicher Begabungen erst Neues entstehen, das wiederum allen zugute kommen könnte.

Dass der Umgang mit dem kreativen Potenzial von SchülerInnen somit für Lehrkräfte eine Herausforderung darstellt, mit der sie im Unterricht ebenfalls kreativ umgehen lernen müssen, das wurde im Vortrag ebenfalls angesprochen. Doch anders als bisher wurde im Vortrag die Vielfalt menschlicher Begabungen nicht als „Problem“, sondern als Chance definiert, von der jeder auch im Unterricht profitieren kann. Wenn im Vortrag für einen solchen Perspektivenwechsel geworben wurde, dann nicht zuletzt aus der Erfahrung heraus, dass in einem Unterricht, in dem es gelingt, die positiv erwachsenden Chancen von Vielfalt besser zu nutzen, die Entfaltung von Begabungen sozusagen als Nebenprodukt eines jeden Bildungsprozesses abfällt.
Vereinfacht gesagt: Wo (kreativer) Raum ist für individuelle Bildungswege, eröffnen sich automatisch viele Türen für besondere Begabungen.

Im Beitrag wurden in einem ersten Schritt die schulischen Bedingungsfaktoren zur Entfaltung von Begabungen systemisch betrachtet und als Wirkungsgefüge begriffen. Dabei steht jedes Kind mit seinem kreativen Potenzial im Mittelpunkt des erzieherischen Bemühens und nicht einzelne „Hochleister“.
In einem zweiten Schritt wurden Beispiele pädagogischer Förderung aufgezeigt, in denen die Entfaltung menschlicher Begabungen als Teil eines ganzheitlichen individuellen Bildungsprozesses erkannt wird, der alle Kinder und Jugendlichen betrifft und in dem Unterricht als Raum für einen individuellen kreativen Prozess der (Mit-)Gestaltung von Begabungen genutzt wird.

# 10 Gästenachmittag

**Programm des Gästenachmittags**

15 Uhr
Gemeinsames Kaffeetrinken

16 Uhr
Begrüßung
Grußworte
Plenumschor

**Präsentationen**
Mathematik: Topologie, die Mathematik stetiger Verwandtschaften
Biologie: Eine Entdeckungsreise durch den menschlichen Körper
Geschichte: Erzählte Geschichte(n) und gedachte Sprache
Physik: Physik der Atmosphäre
***
Kammermusik
Musikalische Improvisation
Theaterimprovisation
Chorwerkstatt
Naturkunde
Kontratanz

18:30 - 20:00 Uhr
Gemeinsames Abendessen

20:00 Uhr
English Theatre „Diamonds“

Im Anschluss fand ein geselliger Ausklang des Tages statt.

Im Raum „Marstall“ gegenüber der Halle war eine Ausstellung zu besichtigen:
Journalistikworkshop
Akademie-Fotoshow
Geschichte

# 11 Pressebericht

**Physik und Mathematik in den Ferien** Christiane Hartung, Hünfelder Zeitung 29.08.2013

**FÜRSTENECK** Auf Burg Fürsteneck trafen sich Oberstufenschüler, Lehramtsstudenten und Uni-Professoren. Zwei Wochen lang vertieften sie ihre naturwissenschaftlichen Kenntnisse und tauschten sich untereinander aus.

„Die Akademie hat Spaß gemacht, obwohl es viel Arbeit war. Aber es hat sich gelohnt“, fasst die 17-jährige Johanna Hering aus Hünfeld ihren zweiwöchigen Aufenthalt auf der mittelalterlichen Burg zusammen. Dort hat die Wigbertschülerin mit 41 anderen Oberstufenschülern an der Hessischen Schülerakademie teilgenommen. Aus allen Teilen Deutschlands und sogar aus Ägypten sind Jugendliche nach Fürsteneck gereist – Johanna jedoch ist die einzige Teilnehmerin aus Hünfeld.

„Obwohl meine Freundinnen nicht verstehen konnten, dass ich einen Teil meiner Ferien freiwillig geopfert habe, um hier zu sein, bewundern sie doch meinen Entschluss“, berichtet die Wigbertschülerin und zieht ihr Fazit: „Es hat mir eine Richtung gegeben.“ Sie habe hier ihre naturwissenschaftliche Seite voll ausleben können und zieht auch ein naturwissenschaftliches Studium nach dem Abitur in Betracht. Wie ihr geht es wohl den meisten Schülern, die an der Schülerakademie teilnehmen.

„Man braucht sich hier für seine Begeisterung für Mathematik oder die anderen naturwissenschaftlichen Disziplinen nicht zu schämen“, erklärt Dr. Cynthia Hog-Angeloni, die Akademische Rätin für Mathematik an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz und nebenberuflich an der Johann Wolfgang von Goethe-Universität in Frankfurt arbeitet. Zusammen mit ihrem Kollegen Dr. Peter Gorzolla vom Historischen Seminar an der Frankfurter Uni hat sie die Akademie geleitet. Insgesamt vier Kurse mit den Schwerpunkten Biologie, Geschichte, Mathematik und Physik boten Uni-Kursleiter und Lehramtsstudenten an.

In kleinen Gruppen konnten die 42 Schüler zwei Bereiche auswählen. Unter anderem unternahmen sie eine Entdeckungsreise durch den menschlichen Körper, analysierten mit Versuchen und Experimenten die Wahrnehmungs- und Leistungsfähigkeit des Menschen und vermaßen ihren Schädel mit einem 3D-Laserscanner. Die Teilnehmer erhielten einen Einblick in das Gebiet der Topologie, setzten sich mit der narrativen und sprachlichen Bedingtheit der Geschichtswissenschaft auseinander oder gingen den Phänomenen vieler meteorologischer Erscheinungen auf den Grund.

Begeistert sind aber nicht nur die Schüler. „Es ist wundervoll, man erhält einen völlig neuen Blick auf Schüler“, erklärt Katja Alt (27), die an der Uni in Frankfurt Geschichte auf Lehramt studiert. Sie nimmt bereits zum dritten Mal als studentische Lehrkraft teil. „Die Schüler sind unglaublich interessiert, sie diskutieren und haben Fragen. Ich bewundere ihre Energie.“

Über die Akademie hinaus bleibt die Studentin mit den Schülern verbunden. „Die Kontakte werden gehalten“, sagt sie. Fast zu allen Schülern, die sie in diesen drei Jahren betreut hat, stehe sie noch immer in Verbindung. Ein paar haben sie sogar an der Uni in Frankfurt besucht. „In diesen zwei Wochen entstehen auch zwischen den Schülern Freundschaften, zum Teil sogar Beziehungen“, weiß die 27-Jährige.

Neben den naturwissenschaftlichen Themen wählte jeder Teilnehmer einen künstlerisch-musischen Kurs. Der 17-jährigen Hünfelderin fiel die Wahl leicht. In ihrer Freizeit spielt Johanna gern Geige. So wählte sie die Kammermusik und konnte ihre Leidenschaft für die Musik ausleben.

Zum Abschluss der gemeinsamen zwei Wochen präsentierten die Jugendlichen ihren Eltern an einem Gästenachmittag ihre Arbeitsergebnisse.

# 12 Auszüge aus Abschlussberichten

**Berichte von SchülerInnen**

**Von Kairo nach Burg Fürsteneck**

4 Uhr morgens... da begann das Abenteuer. Nach einem vierstündigen anstrengenden Flug von Kairo nach Frankfurt und dazu noch 2 Stunden mit dem Zug kamen wir endlich in Hünfeld an, wo wir von unserem Schullehrer abgeholt wurden. Auf dem Weg zur Burg beanspruchte die grüne Landschaft unsere Aufmerksamkeit völlig, da wir in Ägypten kaum Wälder haben. Noch überraschender war die Aussicht von der Burg auf die offene Landschaft. In den ersten Tagen fürchteten wir, nicht von den anderen akzeptiert zu werden, aber das war gar nicht der Fall. Viele Teilnehmer der Schülerakademie waren sehr nett zu uns und wir fühlten uns wie zu Hause. Das gut geplante Programm gab uns die Chance, jede Menge Freundschaften zu schließen. An den kursübergreifenden Aktivitäten wie z.B. Kontratanz hätten wir in Ägypten nicht spontan freiwillig teilgenommen, aber wenn wir jetzt die Gelegenheit hätten, würden wir sie auf jeden Fall fortsetzen.

Uns hat auch begeistert, wie einige sich für die Situation in Ägypten interressiert haben – was uns sogar motiviert hat, eine kurzkursübergreifende Aktivität anzubieten, in der wir viele Fragen über Ägypten klären konnten.

Wir haben uns die ganze Zeit auf Sonntag gefreut, da für diesen Tag ein Ausflug in das Salzbergwerk Merkers auf dem Programm stand, und endlich war der Tag gekommen. Wir sind ausnahmsweise spät aufgestanden, da die Anfahrt erst für 11.30 Uhr angesetzt war. Wir kamen nach ca. 30 Minuten in der Welt des weißen Goldes an. Mit dem Förderkorb fuhren wir auf 500 Meter Tiefe und fanden die funkelnden Salzkristalle, die uns sehr beeindruckten. Es war definitiv nicht übertrieben, als uns gesagt wurde, dass Merkers ein einmaliges Erlebnis sein würde. Am nächsten Tag waren wir dennoch auch froh, wieder das normale Programm zu haben, da jede von uns Spaß an ihrem Kurs hatte. Von den Präsentationen, die wir schon seit Monaten vorbereitet und mit unseren Betreuern bearbeitet haben, haben wir vieles gelernt.

Im Biologiekurs habe ich, Mariam, sehr viel über den menschlichen Körper gelernt, und habe zum ersten Mal in meinem Leben ein „lebendes“ Herz und eine Lunge gesehen. Die vielen Experimente, die wir durchgeführt haben, zum Beispiel, unsere eigenen DNA zu erkennen, haben mir sehr viel Spaß gemacht und waren sehr interessant.

Im Physikkurs habe ich, Veronika, die Experimente sehr genossen. Ich hatte viel Freude dabei, Wasserraketen zu schießen und mit dem Fahrzeug, das durch eine Stickstoffrakete angetrieben wurde, zu fahren und noch viele andere Experimente mitzumachen.
Ich habe richtig erlebt, wie Lernen Spaß machen kann.

Wir beide sind sehr glücklich, dass wir an der Hessischen Schülerakademie teilgenommen haben, und werden dieses Erlebnis niemals vergessen.

Veronika Wissa und Mariam Rizk
von der Deutschen Schule der Borromaerinnen in Kairo, Ägypten

**Berichte von Studierenden**

Den besonderen Zauber der Burg macht für mich die Neugier der Schüler aus, die nicht nach der Uhrzeit fragt. Diese Begeisterung, mit der sie sich neuen Erfahrungen öffnen, und ihre Energie sind so unglaublich ansteckend, dass der eigentlich geplante „Feierabend“ plötzlich uninteressant wird. (Katja)

Besonders begeistert mich auch das Verantwortungsgefühl, das sie [die Schüler] füreinander entwickeln. [...] Da im normalen Schulalltag immer wieder über den Umgang der Schüler untereinander geschimpft wird, finde ich es sehr schön, auf der Burg dieses „sich umeinander kümmern“ und das ehrliche Interesse an dem Wohlergehen anderer zu beobachten. (Katja)

Ich denke, dass viele Schüler auf der Akademie eine persönliche und soziale Weiterentwicklung durchleben, da sie sich in einem offenen und vor allem weitgehend geschützten Raum befinden. So sind wir als Betreuer nicht unbedingt als [...] Autoritätspersonen aufgetreten, sondern eher als Begleiter, Hilfe und Stütze für die Schüler. (Dalila)

Ich habe es selten erlebt, dass in einer Gesamtheit von 42 Schülerinnen und Schülern kein einziger außen vorgelassen wird und man sich gegenseitig aber auch gewisse Freiräume lässt. (Alena)

Es wurde deutlich, dass einige der Teilnehmer eher eine Außenseiterolle innerhalb des alltäglichen Klassenverbandes inne hatten. Und gerade hier zeigte die Schülerakademie ihr Potential: nämlich, dass enorme Entwicklungsprozesse stattfinden und persönliche Entfaltungsmöglichkeiten wahrgenommen werden können, die zu einer Veränderung des Selbstbewusstseins, sogar der Persönlichkeit führen können. [...] Bemerkenswert war zudem, dass alle ein unglaublich ausgeprägtes Sozialbewusstsein hatten und in einem gemeinschaftlichen Sinne handelten. (Ulrike)

Besonders beeindruckend für mich war der soziale Umgang der Schülerinnen und Schüler miteinander, und die Hilfe und Unterstützung untereinander. Mir wurde gezeigt, wie wichtig diese Institution „Schülerakademie“ im Entwicklungsprozess eines Menschen sein kann: eine Chance; vielleicht *die* Chance. Es war spannend zu sehen, was sich entwickeln kann, sobald Raum und Zeit dafür eingeräumt werden. (Ulrike)

Noch nie zuvor habe ich erlebt, dass vor allem Schüler so zwangsfrei sie selbst sind. [...] Niemand auf der Burg musste Angst haben ausgegrenzt zu werden, weil jeder akzeptiert wurde, wie er war. (Andrea)

Ich möchte an dieser Stelle vor allem den Aspekt der Ebenbürtigkeit und Gleichrangigkeit der Jugendlichen betonen. Den Jugendlichen wurde die Chance geboten, mit Gleichgesinnten in Kontakt zu treten, was für einige mit großer Wahrscheinlichkeit eine völlig neue Erfahrung war. Meiner Meinung nach ist die Persönlichkeitsentwicklung, die bei vielen Jugendlichen zu beobachten war, hauptsächlich aus der Wertschätzung und Anerkennung hervorgegangen, die sie von anderen Jugendlichen, aber auch von uns Betreuerinnen und Betreuern sowie den Kursleitern/Kursleiterinnen erfahren haben. Das hatte teilweise zur Folge, dass der eine oder andere „über sich hinauswuchs“. (Marie G.)

Außerdem besitzt die Hessische Schülerakademie ein einzigartiges Förderprogramm im musischen, kulturellen sowie im wissenschaftlichen Bereich und sollte meiner Meinung nach weiter ausgebaut und gefördert werden. Insbesondere Schüler und Schülerinnen, die keine finanziellen Möglichkeiten haben, sollten mehr unterstützt werden. (Katharina)

Die Hessische Schülerakademie bleibt weiterhin *die* Veranstaltung zur Weiterbildung von Lehramtsstudenten im Umgang mit lernbegeisterten und begabten Schülerinnen und Schülern. Sowohl die Vorbereitung als auch der Umgang mit den Schülerinnen und Schülern auf der Burg stellt eine gute Übung dar, sich mit der hohen Motivation und Leistungsbereitschaft der Schülerinnen und Schüler vertraut zu machen. Ein tieferer Einblick in die Themengebiete, Bezüge zu aktuellen Forschungsgebieten und Alltagsbezüge bieten dem Lehrenden die Möglichkeit, die Schülerinnen und Schüler zu fördern und sie an ihre Leistungsgrenze zu führen. (Stephan)

Der Umgang mit motivierten, wissbegierigen und neugierigen Schülern und Schülerinnen zeigte mir, dass eine intensive Lehr- und Lernatmosphäre, die gemeinschaftlich der Wissenserweiterung dient, durchaus möglich ist. Entscheidend hierfür sind vor allem Raum, Zeit und Möglichkeiten, die den Schülerinnen und Schülern zur Entfaltung der eigenen Interessen gegeben werden. Somit war diese Praxiserfahrung auf der Schülerakademie sehr wichtig für mich, sowohl für meine Person selbst als auch für meinen zukünftigen Berufsweg. (Ulrike)

Insgesamt empfand ich die Hessische Schülerakademie als einen Ort der Bildung, Weiterentwicklung und Inspiration. Der intensive Umgang mit den Schülerinnen und Schülern, sowohl im Kurs als auch zu anderen Zeiten, ermöglichten mir auf einer anderen Ebene des pädagogischen Handelns – außerhalb der Schule – zu agieren. Neben der fachlichen Arbeit forderten die Schüler auch persönliches, zwischenmenschliches Verhalten. Dabei begegnete man sich mit der gesamten Persönlichkeit. (Ulrike)

Ich nehme von der Zeit der Akademie vor allem Folgendes mit: 1. Schülerinnen und Schülern auf Augenhöhe zu begegnen erhöht die Lernmotivation und macht das Lehren und Lernen sowohl auf Seiten der Schülerinnen und Schüler als auch auf Betreuerseite möglich. 2. Die Begeisterung für ein Fach ist Grundvoraussetzung für das Gelingen von „Unterricht“. Ein begeisterter Lehrer kann diese Begeisterung auf seine Schülerinnen und Schüler übertragen. 3. Eine Idee verbindet, egal wie unterschiedlich die Charaktere sind, die sie verfolgen. 4. Ich habe mich für das richtige Studium entschieden. (Marie S.)

[...] hat die Mitarbeit an der Hessischen Schülerakademie bei mir einen sehr umfangreichen Denkprozess besonders hinsichtlich einer individuellen Förderung und der Bedeutung eines persönlichen Verhältnisses zu Schülern angestoßen. [...] In dieser Hinsicht hatten die Erfahrungen auf der Schülerakademie für mich vor allem das Ergebnis, auch mein Schülerbild noch einmal grundlegend zu überdenken und mich bewusst von dem Bild zu distanzieren, dass Schüler nur unter Druck tatsächlich arbeiten würden, da sie von sich aus nichts lernen wollten. Im Gegenteil wurde mir bewusst, dass viel mehr – und eben bei weitem nicht nur begabte – Schüler wahrscheinlich viel mehr lernen wollen und lediglich das von Leistungsdruck und unpersönlichem Umgang geprägte Umfeld der Regelschule diesem Willen zum Lernen entgegensteht. (Julia)

Aus meiner Perspektive als zukünftige Lehrerin hat vor Allem die (Lern-)Motivation und die Freude der Schülerinnen und Schüler am Lernen und an der Auseinandersetzung mit sehr anspruchsvollen Inhalten einen tief sitzenden Eindruck hinterlassen. Mein „Schülerbild“ ist durch diese Erfahrung nachhaltig positiv beeinflusst worden. (Kathrin)

Eine grundlegend neu hinzugewonnene Vorstellung ist die der Balance zwischen dem Förderbedarf leistungsschwacher sowie leistungsstarker Schülerinnen und Schüler. Sehr nachdrücklich ist mir klar geworden, wie wichtig es für begabte Schülerinnen und Schüler ist, ihr Potential ausschöpfen zu können und richtig gefordert zu werden. Da das Recht, glücklich sein zu dürfen, einem jeden vorbehalten

ist, und ich für mich den Anspruch habe, jedem meiner Schülerinnen und Schüler individuell entgegenzukommen, wird es von nun an mein Anspruch sein, diese Balance zu beherzigen. Die HSAKA hat in diesem Sinne nicht nur meine Vorstellungen revidiert, sondern zugleich auch dafür gesorgt, dass ich für diese Art von Schülerinnen und Schülern sensibilisiert wurde, und darüber freue ich mich als zukünftige Lehrerin sehr. (Jana)

Eine häufig geäußerte Ansicht besagt, dass die Fachausbildung für Lehramtsstudierende zu weit geht, da die dort vermittelten Inhalte in der Schule keine Rolle spielen. Dem muss ich widersprechen. Aus Sicht der Begabtenförderung ist es ja nicht die Aufgabe eines Lehrers, standardisierten Schulstoff einzutrichtern, sondern Begeisterung zu wecken. Das geht nur, wenn die Lehrkraft über Kenntnisse verfügt, die über den Schulstoff deutlich hinausgehen. (Roman)

# 13 Teilnehmende

### Leitung und kursübergreifendes Angebot

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Fabian | Angeloni | Kursübergreifendes/Leitungsassistenz |
| Prof. Dr. | Wolf | Aßmus | Physik |
| | Ingrid | Baumann-Metzler | Englisches Theater |
| Dr. | Helmar | Becker | Physik |
| | Christian | Dietz | Biologie |
| Dr. | Peter | Gorzolla | Geschichte/Gesamtleitung |
| Dr. | Cynthia | Hog-Angeloni | Mathematik/Gesamtleitung |
| | Volker | Kehl | Kursübergreifendes |
| Dr. | Guido | Klees | Biologie |
| Prof. Dr. | Wolfgang | Metzler | Mathematik |
| | Willy | Petermann | Chor |
| | Saskia C. | Quené | Geschichte |
| | Birthe Anne | Wiegand | Mathematik/Leitungsassistenz |

### Studentisches Team in den Fachkursen

| | | |
|---|---|---|
| Katja | Alt | Geschichte |
| Anne-Maria | Bihan | Geschichte |
| Alexander | Dick | Physik |
| Florian | Dinges | Physik |
| Andrea | Fiedler | Biologie |
| Marie | Gottfried | Biologie |
| Alena | Greßler | Biologie |
| Ulrike | Hadlok | Biologie |
| Franziska | Korner | Biologie |
| Veronika | Kütt | Mathematik |
| Roman | Napierski | Mathematik |
| Stephan | Pohl | Physik |
| Marie | Schmidt | Biologie |
| Jana | Schreiner | Mathematik |
| Larissa | Stelzer | Biologie |
| Kathrin | Timmer | Geschichte |
| Dalila | Truchan | Geschichte |
| Katharina | Vogl | Biologie |
| Julia | Wirth | Geschichte |

### Schülerinnen und Schüler

| | | |
|---|---|---|
| Davut-David | Basköy | Mathematik |
| Tobias | Blum | Mathematik |
| Simon | Bodenschatz | Mathematik |
| Lena | Ferreira Hain | Biologie |
| Jan Alexander | Fotakis | Physik |
| Maxim | Gerspach | Physik |
| Hannes | Güdelhöfer | Mathematik |
| Marie-Therese | Heberer | Biologie |
| Ruth | Heil | Geschichte |
| Johanna | Hering | Physik |
| Paula | Kilp | Mathematik |
| Céline | Klein | Physik |
| Katharina | Kraus | Physik |
| Christoph | Kreiß | Geschichte |
| Valentin | Krüger | Biologie |
| Daniel | Liedtke | Physik |
| Saskia | Löschner | Geschichte |
| Felicitas | Makait | Geschichte |
| Lara | Mayer | Mathematik |
| Johannes | Mohr | Mathematik |
| Michelle | Möll | Biologie |
| Simon | Niemöller | Physik |
| Antonius | Nies | Mathematik |
| Doi | Park | Geschichte |
| Henrike | Pfeiffer | Geschichte |
| Janina | Pietzonka | Biologie |
| Hannah | Prawitz | Biologie |
| Anastasia Zoë | Reiß | Geschichte |
| Katharina | Reiß | Mathematik |
| Kai-Lars | Ritzke | Mathematik |
| Mariam | Rizk | Biologie |
| Nadin | Sarajlic | Physik |
| Matthias | Schwalm | Biologie |
| Ginger Sara | Sims | Biologie |
| Sidonie | Stumpf | Geschichte |
| Tibor | Teske | Geschichte |
| Sophia | von Habsburg | Biologie |
| Viktor | Warkentin | Biologie |
| Patricia | Weisweiler | Biologie |
| Veronika | Wissa | Physik |
| Laura | Wolber | Geschichte |
| Tobias | Zaenker | Physik |

# Wir danken unseren Förderern

HESSEN

Hessisches Kultusministerium

GOETHE UNIVERSITÄT FRANKFURT AM MAIN

BURGFÜRSTENECK

**BURG FÜRSTENECK**
Hessische Heimvolkshochschule
Akademie für berufliche
und musisch-kulturelle Weiterbildung

Landesschulamt und Lehrkräfteakademie

lsa

ISBN 978-3-910097-22-3