

Hessische Schülerakademie 2015

OBERSTUFE

Dokumentation

23.8. - 4.9.2015

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

Schirmherr: Herr Kultusminister Prof. Dr. Alexander Lorz

11. Hessische Schülerakademie
Oberstufe
23. August – 4. September 2015
– 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>



Namensnennung - Nicht kommerziell - Keine Bearbeitungen 4.0 International
(CC BY-NC-ND 4.0)

Sie dürfen:

Teilen — das Material in jedwedem Format oder Medium vervielfältigen und weiterverbreiten

Der Lizenzgeber kann diese Freiheiten nicht widerrufen solange Sie sich an die Lizenzbedingungen halten.

Unter folgenden Bedingungen:



Namensnennung — Sie müssen angemessene Urheber- und Rechteangaben machen, einen Link zur Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Diese Angaben dürfen in jeder angemessenen Art und Weise gemacht werden, allerdings nicht so, dass der Eindruck entsteht, der Lizenzgeber unterstütze gerade Sie oder Ihre Nutzung besonders.



Nicht kommerziell — Sie dürfen das Material nicht für kommerzielle Zwecke nutzen.



Keine Bearbeitungen — Wenn Sie das Material remixen, verändern oder darauf anderweitig direkt aufbauen dürfen Sie die bearbeitete Fassung der Materials nicht verbreiten.

Keine weiteren Einschränkungen — Sie dürfen keine zusätzlichen Klauseln oder technische Verfahren einsetzen, die anderen rechtlich irgendetwas untersagen, was die Lizenz erlaubt.

Hinweis:

Die ISBN-Nummer dieses Werks ist 978-3-910097-26-1. Sie ist bei einer Verwendung anzugeben.

Der Abdruck einiger Grafiken erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Springer-Verlags. Die Rechte an diesen Grafiken werden durch diese Lizenz nicht berührt.

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	5
2	Grußwort	6
3	Mathematikkurs	7
3.1	Kombinatorische Grundlagen	7
3.2	Der Zentrale Grenzwertsatz	9
3.3	Spieltheorie als Mathematik der Zwischenmenschlichkeit	10
3.4	Spieltheorie und iterierte Spiele: Wie uns Kooperation, Vertrauen und Verrat überleben lassen	12
3.5	Randomized Response Technique	13
3.6	Bedingte Wahrscheinlichkeiten und das Pólya-Urnen-Modell	15
3.7	Wartezeitberechnung am Beispiel des Sammlerproblems	18
3.8	Run(d) um die Münze	20
3.9	Schätzer schätzen Schätze – Mathematische Analyse von Schätzungen	22
3.10	Hypothesentests	24
3.11	Modell vs. Intuition	26
3.12	Mathematik trifft Physik: Der Quaderwürfel	28
4	Physikkurs	29
4.1	Struktur von Kristallen	29
4.2	Freies Elektronengas im Magnetfeld	30
4.3	Freies Elektronengas	32
4.4	Energiebänder	34
4.5	Metalle	37
4.6	Halbleiter	39
4.7	Supraleiter	41
4.8	Supraleiter im Magnetfeld	43
4.9	Glas und metallische Gläser	45
4.10	Piezoelektrischer Effekt	47
5	Biologiekurs	49
5.1	Die auditive Wahrnehmung beim Menschen	49
5.2	Echoortung im Tierreich	51
5.3	Der Geschmackssinn	52
5.4	Leistungsvermögen der olfaktorischen Wahrnehmung	54
5.5	Physiologische Grundlagen der visuellen Wahrnehmung	55
5.6	Optische Täuschungen und Gestaltpsychologie	57
5.7	Leistungsvermögen haptischer und thermosensorischer Wahrnehmung	58
5.8	Sinnesleistungen im Tierreich	59
5.9	Dopaminerges System	61
5.10	Lernen auf neuronaler Ebene	62

6	Geschichtskurs	63
6.1	Original und Kopie	63
6.2	Echt und falsch	65
6.3	Das Übersetzerproblem	67
6.4	Offenbarte Wahrheiten	68
6.5	Faktizität und Fiktionalität	70
6.6	Realismus und Verismus	72
6.7	Wie wahr sind Erinnerungen?	73
6.8	Wahrheit, Wahrnehmung, Wirklichkeit (I)	75
6.9	Wahrheit, Wahrnehmung, Wirklichkeit (II)	76
6.10	Wahrheitsproduktion und Diskurs	78
6.11	Gefälschte Geschichte und die Sicherung der wissenschaftlichen Wahrheit	80
6.12	Die ganze Wahrheit	82
7	Musisch-kulturelle Kurse	84
7.1	Fotografie	84
7.2	Musikalische Improvisation	84
7.3	English Theatre	84
7.4	Italienisch	85
7.5	Kontratanz	85
7.6	Kammermusik	86
7.7	Chor	86
7.8	Naturkunde	87
7.9	Theaterimprovisation	87
7.10	Bühnenbild	88
7.11	Journalismus	88
8	Abendvortrag	89
9	Gästenachmittag	91
10	Pressebericht	92
11	Auszüge aus studentischen Abschlussberichten	93
12	Teilnehmende	95

1 Vorwort

Es ist ein bekannter Umstand, dass Vorworte für gewöhnlich erst am Ende einer Publikation entstehen. Sie bieten damit gleichermaßen Gelegenheit für dankbares Zurückblicken wie auch für Reflexionen über Kontinuität und Wandel oder für Ausblicke auf die Zukunft. Dies gilt auch für die vorliegende Dokumentation der *Hessischen Schülerakademie (Oberstufe)* im ersten Jahre nach ihrem Jubiläum – und zwar so treffend, dass der Raum nur für einige exemplarische Betrachtungen reicht.

Dankbar zurückblicken können wir z.B. auf ungetrübte Wertschätzung und persönliches Engagement, die Lehrende und Verantwortliche der Goethe-Universität unserer Akademie entgegenbringen.

Tanja Brühl, die bereits bei der HSAKA 2014 als Vizepräsidentin ein Grußwort gesprochen hatte, ließ sich in diesem Jahr trotz übervollen Terminkalenders für einen Gastvortrag über Klimapolitik gewinnen. Dieser wurde von den SchülerInnen ebenso angeregt und enthusiastisch aufgenommen wie Anton Wakolbingers Vortrag über Zufall in der Populationsgenetik. Dies bestärkt uns in unserem Vorhaben, das Abendprogramm auch weiterhin gezielt zum Ausdruck einer zugleich der Interdisziplinarität wie der gesellschaftlichen Verantwortung verpflichteten Vorstellung von Wissenschaft zu machen.

Dazu passt sehr gut auch folgende Geschichte gelebter Interdisziplinarität auf der diesjährigen Akademie: Eine Schülerfrage aus dem Mathematikkurs brachte zunächst alle Beteiligten ins Schwitzen, unter erheblichem Engagement der Kursleiter Mathematik und Physik wurde das Problem schließlich gelöst. Wieder zu Hause angekommen, stellte sich heraus, dass schon Newton sich mit ebendiesem Problem rumgeschlagen hatte und es (so weit wie wir auch auf der HSAKA gekommen waren) erst 2011 gelöst wurde. So nah können also die Kursarbeit auf der Akademie und die Forschung beieinander liegen! (Mehr dazu finden Sie in dieser Dokumentation unter 3.12, „Mathematik trifft Physik“)

Besonders gefreut haben wir uns in diesem Jahr auch über die Arbeit des erst 2014 gegründeten *Alumni- und Fördervereins der Hessischen Schülerakademien e.V.*: Vorstand und engagierte Vereinsmitglieder besuchen die Schülerakademien, organisieren Alumni-Treffen und bereiten sich darauf vor, als Schülerbotschafter für die HSAKA an hessische Schulen zu gehen. Dies ist eine Unternehmung, der wir von ganzem Herzen einen kontinuierlichen Erfolg wünschen! (Die neue Website des Vereins können Sie unter <http://alumni-hsaka.de> besuchen.)

Wandel gibt es auch allenthalben zu vermelden, vor allem natürlich immer wieder im Leitungsteam. Zwei Beispiele wollen wir herauspicken: Zum einen ist da Birthe Anne Wiegand, die vor vielen Jahren einmal als jüngste Schülerin überhaupt auf der Oberstufenakademie begonnen hat, nach mehreren Teilnahmen studentische Betreuerin in Mathematik- und Informatikkursen wurde sowie schließlich Hilfskraft und Assistenz der Akademieleitung. Wir freuen uns, dass sie 2016 erstmalig die Co-Leitung in einem Informatikkurs übernehmen wird, gemeinsam mit Daniel Schiffner aus Frankfurt, einem neuen Gesicht bei der HSAKA. Zum anderen sind da aber unbedingt auch Wolfgang Metzler und Ingrid Baumann-Metzler zu nennen, die wir nächstes Jahr vermissen werden: Nach vielen Jahren kontinuierlichen Engagements auf den Hessischen Schülerakademien pausieren sie 2016 zum ersten Mal.

Viele spannende Geschehnisse, interessante Vorhaben und erwähnenswerte Personalien könnten wir an dieser Stelle noch nennen, aber da es auch ein bekannter Umstand ist, dass Vorworte kurz zu sein haben, beschränken wir uns darauf, abschließend allen Teilnehmenden an der Akademie 2015, unseren Förderern und allen, die zu der vorliegenden Dokumentation beigetragen haben, unseren herzlichen Dank auszusprechen.

Frankfurt am Main, im November 2015

Peter Gorzolla, Cynthia Hog-Angeloni und Birthe Anne Wiegand

2 Grußwort

Grußwort für die Dokumentation der Hessischen Schülerakademie (Oberstufe) 2015

Ein Grußwort ist immer auch ein Anlass, etwas aus der eigenen Tätigkeit zu berichten. Das Kuratorium berät die Heimvolkshochschule Burg Fürsteneck, den Ort, wo wir mit den Schülerakademien unser „Heim“ haben. Dort hat jüngst personell mehrfach ein Wechsel stattgefunden. Der Dozent für musisch-kulturelle Bildung, Daniel Bister, hat nach einer Erkrankung die Burg verlassen, und Ina Walter ist im Frühjahr 2015 an seine Stelle getreten. Sie hat bei den Vorbereitungstreffen und der Durchführung beider Schülerakademien schon Kontakte geknüpft, die sicherlich für die Zukunft wichtig sind. Bedauerlicherweise hat in der ersten Jahreshälfte aber auch Frau Luser gekündigt. Ihre Gesundheit war gefährdet. Der Vorstand der Burg hat diese Kündigung leider nicht verhindern können. Und so war das Jahr 2015 von vielen Aufenthalten in der Burg geprägt, um eine gute Nachfolge zu bekommen und zu bedenken, wie wir in Zukunft Überlastungen der betroffenen Personen vermeiden. Hartmut Piekatz, in der Leitung einer Bildungsstätte wie Fürsteneck erfahren, ist seit Anfang September neuer Direktor der Burg. Während seiner ersten Dienst-Tage hat er den Abschluss unserer Akademie als positives Erlebnis wahrgenommen und auch die anschließende Kuratoriumssitzung. Wir freuen uns auf die Zusammenarbeit mit ihm.

Auch sonst tut sich etwas bei wichtigen Personen: Einige, die als SchülerInnen an den Akademien teilgenommen haben, sind inzwischen kurz vor oder am Ende ihres Studiums, zum Beispiel Lena Walter, Benedikt Weygandt und Birthe Anne Wiegand. Saskia Quené wird für einige Zeit mit einem Stipendium in der Schweiz tätig sein. Bei allen ändert sich ihre persönliche Situation. Z. B. kann Birthe, die bisher die Dokumentationen und das Nachtreffen mit viel Engagement gestaltet hat, dies in Zukunft nicht mehr mit einem Vertrag der Universität als Leitungsassistentin weiterführen. Es wäre aber bei den Genannten sehr begrüßenswert, wenn ihre Mitwirkung bei den Schülerakademien in einer geeigneten Form fortgesetzt werden könnte.

An den Arbeitsweisen der Akademien ändert sich ebenfalls etwas im Zeitalter „Digitalen Lernens“: Vor einigen Jahren hätte ich nicht gedacht, dass man einmal spontan und ohne Zeitverlust in eine Chorprobe eine Information oder ein Musikbeispiel mit dem Handy einspielen kann. Das setzt bei selbstbestimmter Arbeit die Mitwirkenden nicht unter Zeitdruck, sondern bewahrt das natürliche Engagement, welches eine der pädagogischen Grundlagen unserer Tätigkeit ist.

Unter Verwendung elektronischer Kommunikation soll im kommenden Jahr auch ein Wikipedia-Artikel über die Hessischen Schülerakademien entstehen sowie ein jahresunabhängiger Kurzflyer, der beide Akademien (Mittel- und Oberstufe) betrifft. Hier wird sich u. a. der Alumniverein einbringen. Bei der Einwerbung von Spenden ist er ebenfalls bereits erfolgreich.

Am Ende dieses Berichts sei Marion Luser noch einmal für ihre Fürstenecker Tätigkeit gedankt, die in den letzten Jahren auch insbesondere den Schülerakademien zugute kam. Mit Dank grüße ich alle, die sich bei Vorbereitung und Durchführung der Oberstufenakademie 2015 und dieser Dokumentation beteiligt haben, ebenso die Mitglieder des Kuratoriums. Ich wünsche, dass ihnen die Lektüre Freude bereitet und die Verbundenheit stärkt.

Schmitt-Brombach, im Oktober 2015,

Prof. Dr. Wolfgang Metzler

Vorsitzender des Kuratoriums Hessische Schülerakademien

3 Mathematikkurs

Simulationen zur stochastischen Intuition

Wer würde bestreiten, dass stochastische Ideen in unserem Alltag eine zentrale Rolle spielen? Immerhin gehen wir jeden Tag Risiken ein – sei es beim Überqueren einer Straße, beim Versichern (oder eben Nichtversichern) unserer Besitztümer oder gar unseres Lebens, beim Lottospielen oder beim Sammeln von Panini-Fußballbildern.

Um unsere Intuition in diesen Bereichen zu schulen, haben wir stochastische Experimente durchgeführt, Paradoxien und Antinomien unter die Lupe genommen und dabei festgestellt, dass nicht alles so ist, wie es auf den ersten Blick scheint. Beim Wechselspiel von Stochastik und Statistik spielen gelegentlich auch menschliche Einflüsse eine Rolle. Beispielsweise haben wir mithilfe der sog. Dunkelfeldforschung eine statistische Methode kennengelernt, mit der wir unsere Mitmenschen zu ehrlichen Antworten auf eigentlich peinliche Fragen bewegen können. Im Mathematikkurs haben wir daher auch Grundlagen der Entscheidungsfindung behandelt und geschaut, wie uns die Kognitionspsychologie beim Verstehen von Stochastik behilflich sein kann. Ergänzend zu den mathematischen Grundlagen haben wir mit computergestützter stochastischer Simulation zunächst ein Gefühl für wirklich große Fallzahlen entwickelt und komplexe stochastische Zusammenhänge erkundet. Dabei haben wir unsere eigenen Schätzmethode erfunden, deren Qualität beurteilt und auf diesem Wege Stochastik einmal jenseits von Münze und Würfel kennengelernt.

Kursleitung

Dr. Cynthia Hog-Angeloni, Mathematikerin an der Gutenberg-Universität Mainz und der Goethe-Universität Frankfurt am Main

Benedikt Weygandt, Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Mathematikdidaktik der Goethe-Universität Frankfurt am Main

3.1 Kombinatorische Grundlagen

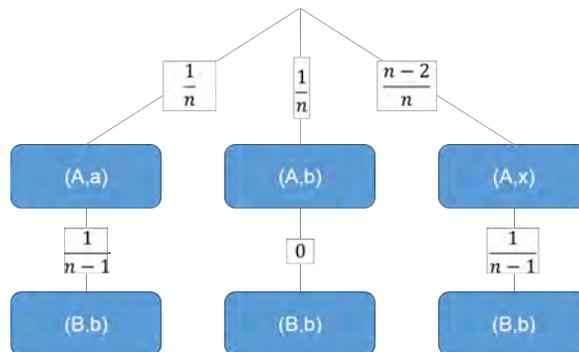
Johanna Schmidt
Betreuerin: Victoria Möller

Fragestellungen aus der Kombinatorik betrachten, auf wie viele Arten man Objekte wählen und anordnen kann. Dabei hilft die Unterteilung in drei verschiedene Gruppen: Es gibt *Permutationen*, *Variationen* und *Kombinationen*. Im Folgenden werden exemplarisch Kombinationen mit und ohne Wiederholung/Zurücklegen von Kugeln erläutert. Von einer Kombination ist die Rede, sobald k Elemente aus n ausgewählt werden, bei denen es jedoch nicht auf die Reihenfolge ankommt.

Die Anzahl der Möglichkeiten einer Kombination ohne Wiederholung beträgt $\binom{n}{k} = \frac{n!}{(n-k)! \cdot k!}$. Dabei stellt „ n Fakultät“ (also das Produkt der Zahlen von 1 bis n) im Zähler die Anzahl aller n geordneten Zugmöglichkeiten dar, von denen wir aber nur die ersten k Elemente, also genau $\frac{n!}{(n-k)!}$, benötigen. Da der bisherige Term die Reihenfolge der Elemente berücksichtigt, dividiert man noch durch $k!$. Verdeutlichen kann man die Formel am folgenden Beispiel: In einer Urne befinden sich 5 unterschiedlich gefärbte Kugeln. Neben der Urne steht eine Schale, welche mit 3 der Elemente befüllt wird. Dies wird durch die Formel $\binom{n}{k} = \binom{5}{3}$ ausgedrückt, gesprochen „3 aus 5“. Sie beschreibt die zufällige Wahl von 3 aus insgesamt 5 Elementen. Setzt man die Zahlen in die obige Formel ein, erhält man $\binom{n}{k} = \binom{5}{3} = \frac{5!}{2! \cdot 3!} = \frac{5 \cdot 4 \cdot 3}{3 \cdot 2} = 10$ Möglichkeiten, um aus einer Gesamtheit von 5 Elementen 3 auszuwählen.

Eine Kombination mit Wiederholung gibt die Anzahl der Möglichkeiten an, von n Kugeln k auszuwählen. Eine Kugel kann dabei auch mehrmals gezogen werden. Zur Berechnung dieser Anzahl stellen wir uns eine Urne mit $n + k - 1$ Kugeln vor. n entspricht dabei einer Anzahl weißer Kugeln, hinzu kommen $k - 1$ schwarze „Trennwände“, um die k Sorten voneinander zu trennen. Wird also aus der Urne eine schwarze Kugel gezogen, werden alle weißen Kugeln vor der ersten Trennwand einheitlich in einer Farbe eingefärbt. Die Anzahl der Kugeln zwischen der ersten und der nächsten Trennwand entsprechen einer weiteren Farbe, usw. So erhalten wir bei $k - 1$ Trennkugeln k Farben/Sorten/Fächer. Es werden alle n Kugeln gezogen. Die Reihenfolge der Trennelemente ist nicht relevant ($\frac{1}{(k-1)!}$), ebenso wird bei Kombinationen die Reihenfolge der gezogenen Elemente nicht beachtet ($\frac{1}{n!}$). Es folgt die Formel $\binom{n+k-1}{k-1} = \binom{n+k-1}{n} = \frac{(n+k-1)!}{(k-1)! \cdot n!}$.

Das Symbol $\binom{n}{k}$ stellt den Binomialkoeffizienten dar. Der Begriff *Binomialkoeffizient* leitet sich von der binomischen Formel $(a + b)^n$ ab, in der die Summanden jeweils $\binom{n}{k}$ als Koeffizienten haben, und taucht auch bei den Verteilungsgewichten $\binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1 - p)^{n-k}$ der Binomischen Verteilung auf. Die Verteilung stellt die Wahrscheinlichkeit für genau k -viele Treffer eines mehrstufigen Zufallsexperiments mit nur zwei Ausgängen (Treffer/kein Treffer) dar. Dabei werden k Elemente aus n gezogen, multipliziert mit der Wahrscheinlichkeit für genau k Treffer bei genau $n - k$ Nicht-Treffern (Gegenwahrscheinlichkeit $1 - p$). Nehmen wir ein Beispiel, in dem fünf Personen mit Hut in ein Restaurant gehen. Nach dem Essen wollen sie ihre Hüte holen, diese wurden allerdings in der Garderobe vertauscht. Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass keiner seinen Hut bekommt? Zunächst abstrahieren wir das Experiment auf n Personen mit n Hüten. Die Wahrscheinlichkeit, dass Gast A genau seinen Hut a erhält, liegt bei $\frac{1}{n}$. Mit der Wahrscheinlichkeit $\frac{1}{n}$ bekommt er Hut b , der Gast B gehört. Nun bleiben $n - 2$ Hüte, die mit einer Wahrscheinlichkeit von $\frac{n-2}{n}$ gezogen werden.



Berechnet man die Pfade des Baumes, so folgt: $\frac{1}{n} \cdot \frac{1}{n-1} + \frac{n-2}{n} \cdot \frac{1}{n-1} = \frac{1}{n}$ für die Wahrscheinlichkeit, dass Gast b seinen Hut erhält. Die Wahrscheinlichkeit ist somit konstant. Damit kann die Binomialverteilung angewendet werden:

$$\binom{n}{0} \cdot \binom{1}{n}^0 \cdot \left(1 - \frac{1}{n}\right)^n = \left(1 - \frac{1}{n}\right)^n = \left(\frac{n-1}{n}\right)^n$$

Im Grenzwert sehr vieler Gäste mit Hüten gilt:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n-1}{n}\right)^n = \frac{1}{e}$$

Quellen

- P. Tittmann: *Einführung in die Kombinatorik*, Heidelberg, Spektrum Verlag, 2000
- <http://www.mathebibel.de/kombinatorik> (20.08.2015)

3.2 Der Zentrale Grenzwertsatz

Elina Dilger
Betreuerin: Ilda Sokolovic

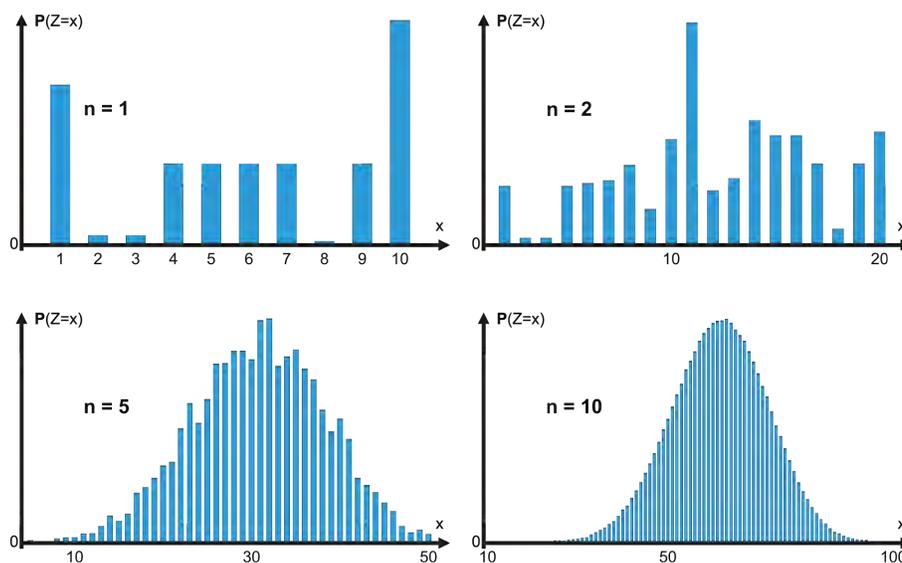
Der Zentrale Grenzwertsatz ist einer der wichtigsten Sätze in der Stochastik und besagt, dass die Summe vieler unabhängiger und identisch verteilter Zufallsvariablen annähernd normal verteilt ist. Dafür müssen der Erwartungswert und die Varianz jeder Zufallsvariable endlich sein.

In mathematischer Formelsprache aufgeschrieben sieht der Zentrale Grenzwertsatz für eine standardisierte Zufallsvariable Y^* so aus:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \mathbb{P}(c \leq Y_n^* \leq d) = \mathbb{P}(c \leq Z \leq d)$$

c und d seien hier die Grenzen eines beliebigen Intervalls, Z sei normalverteilt.

Die standardisierte Zufallsvariable Y_n^* wird im Folgenden erklärt.



In der Abbildung ist die Annäherung an die Normalverteilung bei größer werdendem n zu sehen. Dabei beschreibt n die Anzahl und Z die Summe der Zufallsvariablen Z_i .

Das Konvergieren gegen die Standardnormalverteilung kommt erst durch eine Standardisierung der Zufallsvariablen zustande. Zunächst wird die einzelne Zufallsvariable X standardisiert:

$$X^* = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

Der Erwartungswert wird dabei auf die 0 „verschoben“. Varianz sowie Standardabweichung betragen anschließend 1. Ist eine Zufallsvariable standardisiert, wird sie mit einem * gekennzeichnet.

Als nächstes muss die gesamte Summe standardisiert werden:

$$Y := X_1 + \dots + X_n$$

$$\mathbb{E}(Y) = \mathbb{E}(X_1 + \dots + X_n) = \mathbb{E}(X_1) + \dots + \mathbb{E}(X_n) = n \cdot \mathbb{E}(X)$$

$$\text{Var}(Y) = \text{Var}(X_1 + \dots + X_n) = \text{Var}(X_1) + \dots + \text{Var}(X_n) = n \cdot \text{Var}(X)$$

$$\sigma_Y = \sqrt{\text{Var}(Y)} = \sqrt{n} \cdot \sqrt{\text{Var}(X)} = \sqrt{n} \cdot \sigma_X$$

Führt man nun die Standardisierung der Summe Y wie eben aufgeführt durch, ergibt sich folgende Gleichung:

$$Y^* = \frac{Y - \mathbb{E}(Y)}{\sqrt{\text{Var}(Y)}} = \frac{Y - n \cdot \mathbb{E}(X)}{\sqrt{n} \cdot \sqrt{\text{Var}(X)}} = \frac{Y - n \cdot \mu_X}{\sqrt{n} \cdot \sigma_X} = \frac{X_1 + \dots + X_n - n \cdot \mu_X}{\sqrt{n} \cdot \sigma_X}$$

Der Beweis des Zentralen Grenzwertsatzes begründet sich grob skizziert darauf, dass man, wenn $\mathbb{E}(X) = 0$ und $\text{Var}(X) = 1$ sind, sukzessiv von $\frac{X_1 + \dots + X_n}{\sqrt{n}}$ zu $\frac{Z_1 + \dots + Z_n}{\sqrt{n}}$ übergehen kann, indem man jeweils eines der X_i ähnlich wie bei Teleskopsummen durch Z_i austauscht. Das Argument verwendet die Linearität des Erwartungswertes und eine Taylorentwicklung mit Restglied bis zur zweiten Ordnung.

Ein heuristisches Argument für die Gültigkeit des Zentralen Grenzwertsatzes ist folgendes: Sei $S_n = \frac{X_1 + \dots + X_n}{\sqrt{n}}$. Dann ist S_{2n} so verteilt wie die Summe von zwei unabhängigen Kopien von S_n , geteilt durch $\sqrt{2}$. Wenn sich also die Verteilung von S_n für große n stabilisiert, dann muss sie normalverteilt sein.

Quellen

- Anton Bigalke, Norbert Köhler (Hrsg.): *Mathematik 3.1. Gymnasiale Oberstufe Hessen Leistungskurs*, Cornelsen Verlag, B. 300
- Götz Kersting, Anton Wakolbinger: *Elementare Stochastik. Mathematik kompakt*, Birkhäuser Verlag, Basel, 2008

3.3 Spieltheorie als Mathematik der Zwischenmenschlichkeit

Erik Walter

Betreuer: Rüdiger Kling

Definition

Der Name *Spieltheorie* kommt daher, dass in ihren Anfängen hauptsächlich Gesellschaftsspiele wie Schach, Dame oder Mühle betrachtet wurden. Heutzutage stellt sie insbesondere die formale Sprache der ökonomischen Theorie in den Wirtschaftswissenschaften dar.

Die Spieltheorie ist eine mathematische Methode, die bei der Analyse von strategischen Entscheidungssituationen dem Herausfinden des rational optimalen Entscheidungsverhaltens in diesen dient. Hierbei wird angenommen, dass jeder einzelne Spieler einzig und allein auf seine eigene Nutzenmaximierung fixiert, also jeder ein *Homo Oeconomicus* ist. „Strategische Entscheidungssituation“ heißt, dass mehrere Personen beteiligt sind und das Ergebnis von den Entscheidungen aller abhängt. Die Beteiligten wissen dies und sind sich bewusst, dass auch jeder andere das weiß, was man selbst weiß. Jeder berücksichtigt dieses Wissen.

Grundbegriffe

Das *Lösungskonzept* definiert das individuell rationale Verhalten in einer strategischen Entscheidungssituation.

Die *Strategie* eines Spielers beschreibt sein komplettes Entscheidungsverhalten. In *gemischten Strategien* trifft er seine Entscheidungen nach einer Wahrscheinlichkeit, die jeder verfügbaren Strategie

zugeordnet ist. *Reine Strategien* bilden einen Sonderfall, da hierbei *eine* Handlungsoption mit Wahrscheinlichkeit 1 und alle anderen mit Wahrscheinlichkeit 0 ausgewählt werden.

Eine *Auszahlungsmatrix* ist die normale Darstellungsform einer strategischen Entscheidungssituation, in der jedem Spieler für jede Strategiekombination ein Nutzen zugeordnet wird.

Bei der Frage nach der besten Entscheidungsoption kommt das *Nash-Gleichgewicht* ins Spiel. Dieses stellt eine Strategiekombination dar, bei der es keinem Mitspieler einen Vorteil bringen würde, seine Strategie zu ändern, vorausgesetzt, dass auch kein anderer Spieler wechselt.

Das *Pareto-Optimum* hingegen ist eine Strategiekombination, bei der es nicht möglich ist, die Auszahlung eines Spielers zu erhöhen, ohne die eines anderen zu reduzieren.

Spiele mit einem oder mehreren Gleichgewichten

In den folgenden Beispielen betrachten wir 2-Personen-Spiele.

Ein Spiel mit nur einem Nash-Gleichgewicht ist aus spieltheoretischer Sicht sehr einfach zu analysieren. Da es dort nur ein Nash-Gleichgewicht gibt, sollte man, wenn das Spiel nur eine Runde läuft, rein rational betrachtet die Strategie wählen, die zu diesem Gleichgewicht führt.

Das bekannteste Beispiel ist das sogenannte *Gefangenendilemma*: Zwei vermeintliche Verbrecher werden festgenommen und in isolierte Verhörräume gebracht. Dort werden sie vor die Wahl gestellt, zu gestehen oder zu schweigen. Wenn nur einer gesteht, kommt dieser dank mildernder Umstände frei, dem anderen drohen 10 Jahre Haft. Wenn beide gestehen, müssen sie 4 Jahre ins Gefängnis, und falls beide schweigen, beträgt die Strafe nur ein Jahr. Damit ist nach obiger Definition die Auszahlung $(-4/-4)$ ein Nash-Gleichgewicht. „Gestehen“ stellt hier sogar eine dominante Strategie dar, da die Auszahlung unabhängig von der Wahl des anderen Spielers immer höher ist als bei „Schweigen“.

		Gefangener 2	
		Schweigen	Gestehen
Gefangener 1	Schweigen	-1/-1	-10/0
	Gestehen	0/-10	-4/-4

Abbildung 1: Auszahlungsmatrix des Gefangenendilemmas

Bei einem Spiel mit zwei Nash-Gleichgewichten hingegen wählt man die Kombination, die beide Spieler begünstigt. Wenn es eine solche nicht gibt, kommuniziert man mit seinem Mitspieler oder wählt zufällig eines der Gleichgewichte aus (Randomisierung).

Quellen

- S.K. Berninghaus, K.-M. Ehrhart, W. Güth: *Strategische Spiele. Eine Einführung in die Spieltheorie*, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 2006

- M.J. Holler, G. Illing: *Einführung in die Spieltheorie*, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 2006
- W. Ortmanns, A. Albert: *Entscheidungs- und Spieltheorie. Eine anwendungsbezogene Einführung*, Wissenschaft&Praxis Verlag, Sternenfels, 2008

3.4 Spieltheorie und iterierte Spiele: Wie uns Kooperation, Vertrauen und Verrat überleben lassen

Clarissa Durek
Betreuer: Rüdiger Kling

Ein neuer Aspekt in der Spieltheorie ergibt sich, wenn Spiele nicht nur einmal gespielt werden, sondern mehrfach. So verändert sich beispielsweise das Spielverhalten im Gefangenendilemma bei einer Wiederholung des Spiels. Dominiert bei einem einfachen Spiel noch die Strategie des Misstrauens, lohnt sich Kooperation bei wiederholtem Spiel.

Computersimulationen

Robert Axelrod führte zwei Computersimulationen durch, in denen er von unterschiedlichen Wissenschaftlern eingereichte Strategien eine Version des iterierten Gefangendilemmas gegeneinander spielen ließ. Die Anzahl an Runden war nicht bekannt, um eine so genannte Rückwärtsinduktion zu verhindern. Bewertet wurde die Summe der erzielten Auszahlungen und nicht die Anzahl an gewonnenen Spielen.

In beiden Simulationsrunden hat sich die Strategie *TIT FOR TAT* durchgesetzt. Sie beginnt mit einem kooperativen Zug und wiederholt anschließend immer den Zug des Gegners. Der Zufallsgenerator *Random* belegte hingegen in beiden Simulationen nur den letzten bzw. vorletzten Platz.

Analyse

Die Computersimulationen zeigen, dass es sinnvoll ist, nett und versöhnlich zu handeln, also direkt im ersten Zug zu kooperieren und Betrug nicht zu lange zu bestrafen. So erlangte die Strategie *Ewige Verdammnis*, die zunächst kooperiert, aber dem Gegner nach einem Betrug nie wieder vertraut, in der zweiten Axelrod-Simulation nur einen hinteren Platz. Des Weiteren fällt auf, dass es nicht notwendig ist, den Partner zu besiegen, um den Gesamtsieg zu erlangen. Vielmehr ist es sinnvoll, dass beide Spieler innerhalb eines Spiels möglichst viele Punkte erlangen, was nur durch häufige beidseitige Kooperation erreicht werden kann. Trotzdem muss auch Betrug erwidert werden, da es nicht sinnvoll ist, sich ausnutzen zu lassen. Eine letzte Erkenntnis ist, dass die Strategie nicht zu raffiniert sein sollte, da sie sonst zufällig wirkt und so kein Vertrauen aufgebaut werden kann.

Ökologische Simulation

In einer ökologischen Simulation treten mehrere Strategien gegeneinander an, wobei sich die erfolgreichen Strategien (stärker) vermehren. Dabei hängt der Erfolg einer Strategie stark vom Konkurrenzmilieu ab. So setzt sich *Immer Betrug* in der ökologischen Simulation gegen *Random* und *Immer Kooperation* durch (s. linke Abb.).

TIT FOR TAT ist eine evolutionär stabile Strategie: So sorgt sie nicht nur für das Aussterben von *Immer Betrug*, sondern stabilisiert sogar die Strategie *Immer Kooperation* auf niedrigem Niveau (s. rechte Abb.).

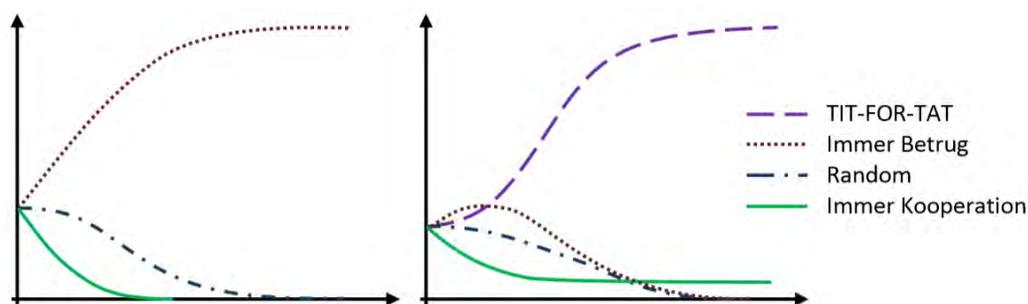


Abbildung 1: Ökologische Simulation ohne (links) und mit der Strategie *TIT-FOR-TAT* (rechts)

Selbst in einer vollständig auf Verrat angelegten Population würde ein einziges *TIT FOR TAT*-Paar ausreichen, um innerhalb weniger Generationen die andere Strategie zu verdrängen.

Anwendung der Erkenntnisse

Die oben beschriebenen Phänomene finden sich beispielsweise beim Populationswachstum oder bei der unerlaubten Preisabsprache. Auch der Spruch „Wer einmal lügt, dem glaubt man nicht“ passt gut in diesen Zusammenhang.

Trotzdem: Da es sich nur um ein Modell handelt, lassen sich die Erkenntnisse nicht uneingeschränkt in die Realität übertragen, geben aber dennoch Einblicke in menschliches Verhalten.

Quellen

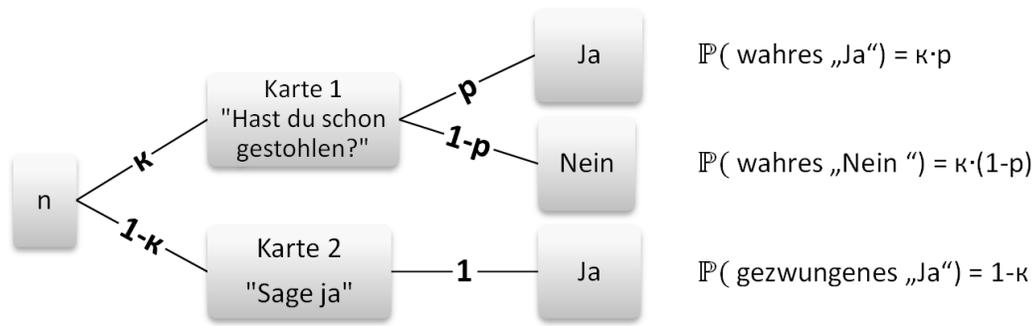
- S.K. Berninghaus, K.-M. Ehrhart, W. Güth: *Strategische Spiele. Eine Einführung in die Spieltheorie*, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 2006
- W. Eggebrecht, K. Manhart: *Warum es sich lohnt, gut zu sein. Axelrods Computerturnier des Gefangenendilemmas: Resultate, Strategien, Programme*, München, 2009
- T. Thelen: *Spieltheorie und das Gefangenendilemma*, www.tobiasthelen.de/ipd/gesamt.html#pd (25.08.2015)
- www.klaus-manhart.de/mediapool/28/284587/data/axelrod-simulation.pdf (02.05.2015)

3.5 Randomized Response Technique

Freyja Moßig
Betreuerin: Sonja Kliehm

Hast du schon mal etwas gestohlen? Bist du bereits fremdgegangen oder hast du sogar jemanden ermordet? Bei solchen sensitiven Fragen, die persönliche oder gesellschaftliche Tabuthemen betreffen, weichen Ergebnisse aus offenen Umfragen häufig von der Realität ab. Während manche mit Drogenkonsum angeben möchten, mit dem sie bisher in Wirklichkeit nicht in Kontakt gekommen sind, fürchten andere einen Gefängnisarrest aufgrund bislang unaufgedeckter Morde. Mehr Anonymität führt zu zunehmend wahren Antworten und somit zu einer geringeren Varianz.

Die Randomized Response Technique (kurz RRT) ist eine Umfrageart, bei der verschiedene Antwortmöglichkeiten zu sensitiven Fragen dem Befragten mehr Anonymität gewährleisten. So erhält man



beispielsweise durch die Methode nach Liu und Chow (1976) mit der Wahrscheinlichkeit κ Karte 1. Auf ihr steht die Frage, ob man bereits etwas gestohlen hat. Zieht man Karte 2 mit der Gegenwahrscheinlichkeit $1 - \kappa$, soll man unabhängig von Karte 1 mit „Ja“ antworten. Bei X „Ja“-Antworten ist der Schätzwert für p nach Anwendung der Pfadregeln $\hat{p} = \frac{X/n - 1 + \kappa}{\kappa}$, wobei n die Gesamtgröße der Stichprobe darstellt.

Durch die Binomialverteilung des Modells lässt sich die Varianz zu

$$Var(\hat{p}) = Var\left(\frac{X/n - 1 + \kappa}{\kappa}\right) = Var(X) \cdot \frac{1}{n^2 \cdot \kappa^2}$$

berechnen. $Var(X)$, die Varianz der „Ja“-Antworten, lässt sich daher durch die allgemeine Formel $Var(X) = p(X) \cdot q(\bar{X}) \cdot n$ berechnen. Mithilfe der Pfadregeln erhalten wir:

$$Var(X) = (\kappa p + 1 - \kappa) \cdot (1 - (\kappa p + 1 - \kappa)) \cdot n$$

Setzt man dies in $Var(\hat{p})$ ein und löst geschickt auf, ergibt sich:

$$Var(\hat{p}) = \frac{p(1-p)}{n} + \frac{1-\kappa}{\kappa} \cdot \frac{1-p}{n}$$

Der erste Summand bezeichnet hierbei eine von den „Ja“-Antworten abhängige Varianz, wobei der zweite Summand deutlich macht, dass ein hohes κ , ein hohes p und ein hohes n zu einer niedrigen Varianz führen und die Umfrage somit genauer machen.

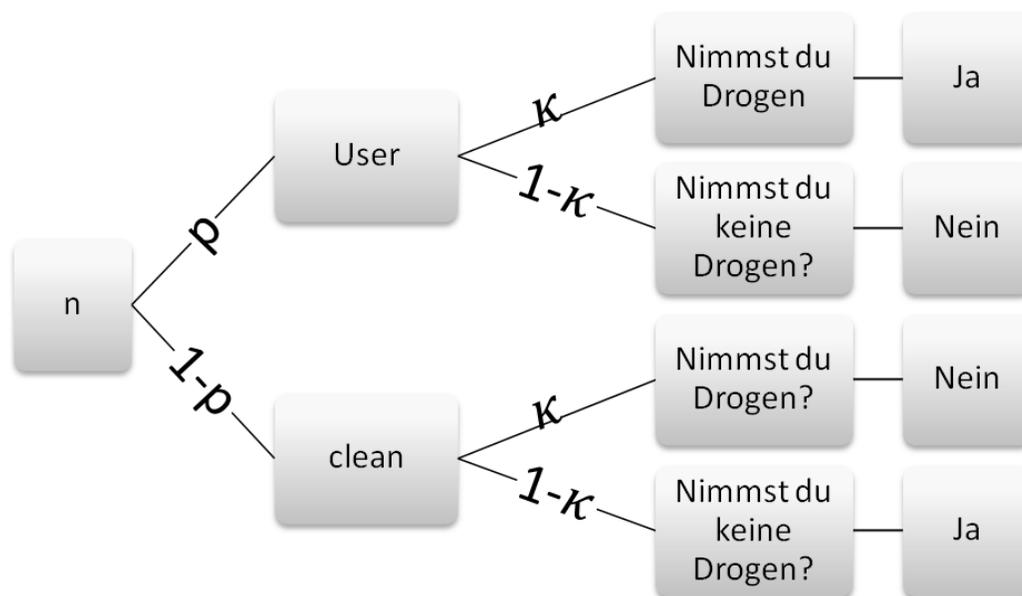
Besonders der letzte Aspekt macht deutlich, dass bei der RRT das Abwägen von Anonymität und Genauigkeit eine große Rolle spielt. Ist die Anonymität durch zu viele direkte Fragekarten (Karte 1) nicht mehr gewährleistet, lügen mehr Befragte. Dagegen erhöht sich jedoch die Varianz bei zu vielen Karten der Sorte 2 stark.

Zudem gibt es noch weitere Modelle, die bei der RRT verwendet werden. Bei einem Modell, das dem von Liu und Chow ähnelt, wird Karte 2 („Sage Ja“) durch ein Glücksrad ersetzt. Das Glücksrad, welches man ebenfalls durch Wahrscheinlichkeit $1 - \kappa$ zugeteilt bekommt, entscheidet zufällig für eine Ja- oder Nein-Antwort. Der Nachteil dieser Variante besteht in der erhöhten Varianz, die durch die Zufälligkeit des Glücksrades entsteht.

Des Weiteren kann man ein Modell mit Frage und Gegenfrage betrachten. Sind die Fragekarten ungleich verteilt, so ist eine Aussage über die sensitive Verhaltensweise möglich. Mit der Wahrscheinlichkeit κ erhält man eine Karte mit der sensitiven Frage wie „Konsumieren Sie gelegentlich Drogen?“, mit der

Wahrscheinlichkeit $1 - \kappa$ erhält man die Gegenfrage. Unter Beachtung der Pfadregeln erhält man für den Schätzwert die Formel

$$\hat{p} = \frac{X/n - 1 + \kappa}{(2\kappa - 1)}$$



Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei der Randomized Response Technique die Abwägung von Anonymität und Genauigkeit der Ergebnisse eine große Rolle spielt. Obwohl die Varianz dadurch erhöht wird, dass die Befragten auf unterschiedliche Fragen antworten, liefert die Randomized Response Technique bei sensiblen Fragen genauere Umfrageergebnisse als normale Umfragen, bei denen der Anonymität weniger vertraut werden kann.

Quellen

- Jörg Meyer: *Dunkelfeldforschung in Excel*. In: *Stochastik in der Schule 28*, Klaus Seeberger Verlag, 2008
- Katja Krüger: *Ehrliche Antworten auf indiskrete Fragen – Anonymisierung von Umfragen mit der Randomised Response Technik*. In: *Stochastik in der Schule 24*, Klaus Seeberger Verlag, 2004
- Katja Krüger: *Wahrheit oder Pflicht – die Methode der Zufallsantworten bei sensiblen Umfragen*. In: *Mathematik lernen 125*, 2004

3.6 Bedingte Wahrscheinlichkeiten und das Pólya-Urnen-Modell

Lena Buchwald
Betreuerin: Sarah Zimmermann

Der Satz für bedingte Wahrscheinlichkeit

Die bedingte Wahrscheinlichkeit gibt die Wahrscheinlichkeit dafür an, dass Ereignis A eintritt unter der Bedingung, dass Ereignis B bereits eingetreten ist. Als Notation verwendet man $\mathbb{P}(A|B)$, was als

„ A unter der Bedingung B “ gelesen wird. Durch Umformung des Multiplikationssatzes erhält man den Satz für bedingte Wahrscheinlichkeit. Dieser lautet:

$$\mathbb{P}(A|B) = \frac{\mathbb{P}(A \cap B)}{\mathbb{P}(B)}, \mathbb{P}(B) > 0$$

Der Satz soll im Folgenden durch ein Beispiel verdeutlicht werden:

Eine Lehrerin hat mit ihrer Klasse zwei Klausuren geschrieben. 55% bestanden beide Klausuren, 72% wissen, dass sie die erste Klausur bereits bestanden haben. Gefragt ist, wie viel Prozent derjenigen, die die erste Klausur bereits bestanden haben, auch die zweite Klausur bestanden haben.

Ereignis A entspricht der Anzahl all jener, die die 2. Klausur bestanden haben, Ereignis B der Anzahl jener, die die 1. Klausur bestanden haben. Daraus ergibt sich:

$$\mathbb{P}(2.\text{Klausur bestanden}|1.\text{Klausur bestanden}) = \frac{\mathbb{P}(1. \text{ und } 2. \text{ bestanden})}{\mathbb{P}(1. \text{ bestanden})} = \frac{0,55}{0,72} \approx 0,7639 = 76,39\%$$

Wir erhalten das Ergebnis, dass etwa 76,39% derjenigen, die die erste Klausur bestanden haben, auch die zweite Klausur bestanden haben.

Der Satz von Bayes

Der Satz von Bayes wurde 1763 erstmals von dem englischen Mathematiker Thomas Bayes formuliert. Er besagt, dass ein Zusammenhang zwischen den bedingten Wahrscheinlichkeiten $\mathbb{P}(A|B)$ und $\mathbb{P}(B|A)$ besteht. Das heißt, dass sich die Wahrscheinlichkeit von A unter der Bedingung, dass B eingetreten ist, durch die Wahrscheinlichkeit von B unter der Bedingung, dass A eingetreten ist, errechnen lässt. Der Satz von Bayes lässt sich aus dem oben angegebenen Satz für bedingte Wahrscheinlichkeiten herleiten:

$$\mathbb{P}(A|B) = \frac{\mathbb{P}(A \cap B)}{\mathbb{P}(B)}, \text{ für } \mathbb{P}(B) > 0$$

$$\mathbb{P}(B|A) = \frac{\mathbb{P}(A \cap B)}{\mathbb{P}(A)}, \text{ für } \mathbb{P}(A) > 0$$

$$\mathbb{P}(A \cap B) = \mathbb{P}(A|B) \cdot \mathbb{P}(B) = \mathbb{P}(B|A) \cdot \mathbb{P}(A)$$

$$\mathbb{P}(A|B) = \frac{\mathbb{P}(B|A) \cdot \mathbb{P}(A)}{\mathbb{P}(B)}, \text{ für } \mathbb{P}(B) > 0 \text{ (Satz von Bayes)}$$

In den ersten zwei Zeilen haben wir den Satz für die bedingten Wahrscheinlichkeiten $\mathbb{P}(A|B)$ und $\mathbb{P}(B|A)$ formuliert. Beide werden nach $\mathbb{P}(A \cap B)$ aufgelöst und gleichgesetzt. So erhalten wir den Satz von Bayes.

Auch dieser Satz soll im Folgenden durch ein Beispiel verdeutlicht werden:

Wir haben zwei Urnen A und B , in beiden befinden sich 10 Kugeln. In A sind 7 davon rot und 3 weiß, in B sind 1 rot und 9 weiß. Jetzt ziehen wir eine Kugel aus einer zufällig gewählten Urne. Die a priori-Wahrscheinlichkeit dafür ist gleich groß. Wir nehmen an, dass die gezogene Kugel rot ist. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die soeben gezogene rote Kugel aus Urne A kommt?

$$\mathbb{P}(A) = \mathbb{P}(B) = \frac{1}{2} \text{ (beide Urnen sind gleich wahrscheinlich)}$$

$$\mathbb{P}(R|A) = \frac{7}{10} \text{ (in Urne } A \text{ sind 10 Kugeln, 7 davon sind rot)}$$

$$\mathbb{P}(R|B) = \frac{1}{10} \text{ (in Urne } B \text{ sind 10 Kugeln, 1 davon ist rot)}$$

$$\mathbb{P}(R) = \mathbb{P}(R|A) \cdot \mathbb{P}(A) + \mathbb{P}(R|B) \cdot \mathbb{P}(B) = \frac{7}{10} \cdot \frac{1}{2} + \frac{1}{10} \cdot \frac{1}{2} = \frac{2}{5}$$

(totale Wahrscheinlichkeit, eine rote Kugel zu ziehen)

$$\mathbb{P}(A|R) = \frac{\mathbb{P}(R|A) \cdot \mathbb{P}(A)}{\mathbb{P}(R)} = \frac{\frac{7}{10} \cdot \frac{1}{2}}{\frac{2}{5}} = 87,5\%$$

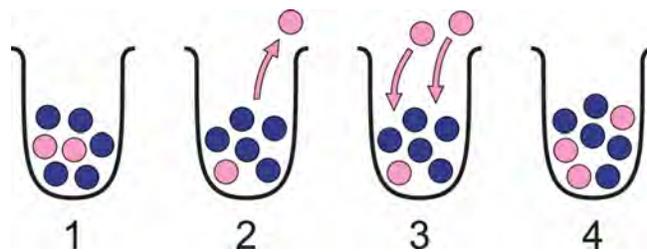
Der Satz der totalen Wahrscheinlichkeit wird bei mehrstufigen Zufallsexperimenten angewendet und wurde innerhalb der Kurseinheiten bewiesen.

Das Pólya-Urnenmodell

Das Pólya-Urnenmodell wurde vom ungarisch-amerikanischen Mathematiker George Pólya entdeckt und kann in der Praxis bei dem Verlauf einer Ansteckungskrankheit Verwendung finden.

Es ist eine spezielle Form eines Urnenmodells. In der Urne befinden sich Kugeln zweier verschiedener Farben. Nach Ziehung einer Kugel werden die gezogene Kugel und zudem noch eine zusätzliche Kugel derselben Farbe in die Urne gelegt. Somit wächst die Anzahl der Kugeln in der Urne mit jedem Ziehen um eine an. Man kann dieses Modell je nach Anwendungsbezug variieren (s.u. durch Änderung des Faktors c), beispielsweise indem nicht nur eine, sondern mehrere Kopien der gezogenen Kugel der Urne hinzugefügt werden. Im Kurs haben wir dieses Modell an einem Beispiel und verallgemeinert betrachtet. Dabei haben wir die Wahrscheinlichkeit dafür bestimmt, dass wir k rote Kugeln ziehen, was bei einer Startverteilung von $p_1(1) = \frac{r}{r+s}$ und $p_1(0) = \frac{s}{r+s}$ mit folgender Formel berechnet werden kann:

$$\mathbb{P}(X = k) = \binom{n}{k} \frac{\prod_{j=0}^{k-1} (r + j \cdot c) \cdot \prod_{j=0}^{n-k-1} (s + j \cdot c)}{\prod_{j=0}^{n-1} (r + s + j \cdot c)}, \quad k = 0, \dots, n$$



Würfelspiel mit einem Quaderwürfel

Zum Abschluss meiner Präsentation habe ich gemeinsam mit dem Mathematik- und Geschichtskurs ein Würfelspiel zum subjektiven Wahrscheinlichkeitsbegriff durchgeführt.

Dabei ging es darum, anhand einer Ergebnisliste bestimmen zu können, welcher der beiden verschiedenen zur Verfügung stehenden Würfel gewählt worden war. Bei diesen handelte es sich um einen Quaderwürfel und einen „normalen“ Würfel. Zuerst wurde die Wahrscheinlichkeitsverteilung und die a priori-Wahrscheinlichkeit der beiden von den Kursteilnehmern geschätzt. Hinter einer Verdeckung hat sich ein Teilnehmer für einen der beiden Würfel entschieden und mit diesem mehrfach gewürfelt. Die Wahl des Würfels war den Kursteilnehmern nicht bekannt, jedoch die geworfenen Zahlen. Im Anschluss wurde geraten, welcher Würfel ausgewählt worden war. Hierfür kann man den Satz von Bayes anwenden, um die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die im ersten Wurf geworfene 5 von dem Quaderwürfel stammt, ausrechnen zu können, wenn die geschätzte a priori-Wahrscheinlichkeit verwendet wird (Q für den Quaderwürfel, N für den normalen Würfel):

$$\begin{aligned} \mathbb{P}(Q|5) &= \frac{\mathbb{P}(5|Q) \cdot \mathbb{P}(Q)}{\mathbb{P}(5|Q) \cdot \mathbb{P}(Q) + \mathbb{P}(5|N) \cdot \mathbb{P}(N)} \\ &= \frac{0.2 \cdot 0.5}{0.2 \cdot 0.5 + 1/6 \cdot 0.5} \end{aligned}$$

Um ein zuverlässigeres Ergebnis zu erhalten, müssen wir diese Rechnung für mehrere aufeinander folgende Würfe durchführen und die anfangs angenommenen a priori-Wahrscheinlichkeitswerte durch die sich ständig verbessernden Werte der a posteriori-Wahrscheinlichkeiten ersetzen. Da dies sehr aufwändig ist, kann für die Rechnung eine Tabellenkalkulationssoftware verwendet werden. Dazu geben wir die gewürfelten Werte in eine Tabelle ein und erhalten dann die schrittweise verfeinerten Wahrscheinlichkeiten dafür, dass der Quaderwürfel resp. normale Würfel ausgewählt wurde.

Quellen

- Norbert Henze: *Stochastik für Einsteiger – Eine Einführung in die faszinierende Welt des Zufalls*, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2010
- Andreas Büchter, Hans-Wolfgang Henn: *Elementare Stochastik – Eine Einführung in die Mathematik der Daten und des Zufalls*, Springer Verlag, Heidelberg, 2000
- Andreas Eichler, Markus Vogel: *Leitidee Daten und Zufall – Von konkreten Beispielen zur Didaktik der Stochastik*, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden 2009
- <https://de.wikipedia.org/wiki/P%C3%B3lya-Verteilung> (1.9.2015)
- <http://matheguru.com/stochastik/36-satz-von-bayes.html> (1.9.2015)

3.7 Wartezeitberechnung am Beispiel des Sammlerproblems

Céline Klein

Betreuerin: Theresa Kumpitsch

Wartezeitprobleme treten auf, wenn zu gewissen Zeitpunkten Zufallsexperimente durchgeführt werden und dabei darauf gewartet wird, dass ein bestimmtes Ereignis eintritt. In diesem Vortrag haben wir uns beispielhaft mit dem sogenannten *Sammlerproblem* oder auch *Coupons-Collector-Problem* beschäftigt. Wir gehen dabei davon aus, dass es eine bestimmte Anzahl n unterschiedlicher Sammelbilder gibt und fragen uns, wie viele Bilder wir durchschnittlich kaufen müssen, bis wir eine vollständige Serie besitzen. Es wird dabei angenommen, dass die Sammelbilder in Päckchen von s Bildern verpackt sind. Um die Frage zu beantworten, muss zunächst eine Wahrscheinlichkeitsverteilung eingeführt werden, die das Warten auf den ersten Erfolg in einem Zufallsexperiment beschreibt.

Die geometrische Verteilung

Die *geometrische Verteilung* ist eine diskrete Wahrscheinlichkeitsverteilung für unabhängige Bernoulli-Experimente, das heißt eines unabhängigen Zufallsexperiments, bei dem nur zwischen Erfolg und Misserfolg unterschieden wird, wobei die Erfolgswahrscheinlichkeit p beträgt. Es wird die Anzahl der Versuche bis zum ersten Erfolg betrachtet und man spricht deshalb auch von der „Verteilung des Wartens auf den ersten Erfolg“.

Definition: Sei $p \in (0, 1)$. Eine Zufallsvariable X mit Zielbereich \mathbb{N} heißt *geometrisch verteilt* zum Parameter p , wenn $\mathbb{P}(X = k) = p(1 - p)^{k-1}$ mit $k = 1, 2, \dots$

Im Kurs haben wir bewiesen, dass der Erwartungswert dieser Verteilung gerade $\frac{1}{p}$ ist. Das bedeutet also zum Beispiel, dass wir, wenn wir einen fairen Würfel oft genug werfen, im Mittel 6 mal würfeln müssen, bis eine gewünschte Augenzahl das erste Mal erscheint.

Das Sammlerproblem

Das oben beschriebene Problem soll nun in ein allgemeineres Modell übersetzt werden. An Stelle der n verschiedenen Sammelbilder betrachten wir mit 1 bis n nummerierte Fächer. Die zufällige Besetzung von s verschiedenen Fächern mit je einem Teilchen entspricht dem Kauf einer Packung mit je s verschiedenen Sammelbildern, was wir als *Besetzungsvorgang* bezeichnen. In dieses Modell übersetzt lautet unsere Fragestellung nun, wie viele Besetzungsvorgänge „im Mittel“ benötigt werden, damit alle n Fächer jeweils mindestens einmal besetzt werden. Wir definieren nun folgende Zufallsvariable:

$V_{n,s} \hat{=}$ Anzahl der Besetzungsvorgänge, bis (zum ersten Mal) jedes Fach mindestens ein Teilchen enthält.

Bei vielen Sammelkarten gibt es besonders seltene beziehungsweise häufige Karten und damit unterscheiden sich die Wahrscheinlichkeiten, bestimmte Karten zu ziehen. In folgender Rechnung treffen wir der Einfachheit halber zwei Modellannahmen: Zum einen setzen wir $s = 1$, das heißt wir nehmen an, dass jedes Feld einzeln besetzt wird (oder anders: jede Karte einzeln verpackt ist). Zum anderen gehen wir vom Vorliegen einer Gleichverteilung aus, was bedeutet, dass in unserem Modell jede Karte mit der gleichen Wahrscheinlichkeit gezogen wird. Innerhalb dieses Modells gilt es nun zunächst, unsere Fragestellung weiter zu formalisieren.

Die Idee ist folgende: Wir drücken die gesuchte Wartezeit als Summe stochastisch unabhängiger Wartezeiten aus und zwar als

$$V_{n,1} = 1 + Y_1 + \dots + Y_{n-1},$$

wobei Y_j für die Anzahl der Fehlversuche zwischen dem j -ten und dem $(j + 1)$ -ten Treffer steht.

Treffer bedeutet in diesem Zusammenhang die Besetzung eines noch freien Faches. Damit ist auch klar, warum die Summe mit 1 beginnt, da zu Beginn auf jeden Fall ein neues Fach besetzt wird. Für die Beantwortung der Frage nach der durchschnittlichen Wartezeit bis zu einer vollständigen Serie reicht es nach dem *Gesetz der großen Zahlen* aus, den Erwartungswert der Zufallsvariable $V_{n,1}$ zu berechnen. Dazu gilt es jetzt nur noch zu überlegen, wie die Zufallsvariable Y_j verteilt ist.

Die Wahrscheinlichkeit eines Treffers beträgt $\frac{n-j}{n}$, wenn bereits j Fächer besetzt sind, da von n möglichen Fächern $n - j$ Fächer noch nicht besetzt und damit „günstig“ zu ziehen sind. Weil Y_j die Anzahl der Fehlversuche zwischen zwei Treffern beschreibt, ist diese Zufallsvariable mit obiger Definition geometrisch zum Parameter $\frac{n-j}{n}$ verteilt und hat deshalb den Erwartungswert $\frac{n}{n-j}$.

Mithilfe der Linearität des Erwartungswertes lässt sich dieser nun folgendermaßen berechnen:

$$\mathbb{E}[V_{n,1}] = \mathbb{E}[1 + Y_1 + \dots + Y_{n-1}] = 1 + \sum_{i=1}^{n-1} \mathbb{E}[Y_i] = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{n}{n-i} = n \cdot \sum_{\ell=1}^n \frac{1}{\ell} = n \cdot \left(1 + \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{n}\right)$$

Die Summe in der Klammer beschreibt dabei die n -te Partialsumme der *harmonischen Reihe*.

Als Beispiel betrachten wir den Fall $n=6$. Das entspricht der Fragestellung, wie lang man „voraussichtlich“ warten muss, bis bei einem fairen Würfel alle Augenzahlen mindestens einmal geworfen wurden. Dann gilt mit der oben hergeleiteten Formel: $\mathbb{E}[V_{6,1}] = 6 \cdot \left(1 + \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{6}\right) = 14,7$.

Im Kurs haben wir uns außerdem damit beschäftigt, wie sich das Modell verändert, wenn im Besetzungsvorgang nicht mehr die Gleichverteilung vorliegt oder in einem Vorgang s Fächer ($s > 1$) belegt werden.

Quellen

- Norbert Henze: *Stochastik für Einsteiger – Eine Einführung in die faszinierende Welt des Zufalls*, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2010
- Ingamer Rubin, Hans-Jürgen Schuh: *Über das Sammeln vollständiger Figurenserien*, In: Monoid 115

3.8 Run(d) um die Münze

Max Wiegand

Betreuerin: Ilda Sokolovic

In der Stochastik stößt man gelegentlich auf Situationen, in denen die intuitiv erwarteten Ergebnisse eines Zufallsexperimentes stark von den tatsächlichen abweichen. Dies lässt sich bereits an einem relativ einfachen Zufallsexperiment verdeutlichen: dem Münzwurf.

Dafür lässt sich zum Beispiel die Verteilung von Runs (eine Reihe von aufeinanderfolgenden, gleichen Münzwurf-Ergebnissen) mit folgendem Experiment untersuchen: Man teilt Personen in zwei Gruppen ein. Die Personen in Gruppe 1 werfen 200-mal eine Münze und notieren die Ergebnisse; die in Gruppe 2 denken sich dagegen eine 200er Folge aus, die sie als wahrscheinliches Ergebnis einer Münzwurfserie halten.

Man wird feststellen, dass das Verhältnis von „Kopf“ und „Zahl“ in den Serien der Gruppe 2 in etwa 1:1 ist. Auch wird man in der Regel kaum einen Run mit einer Länge über 5 vorfinden. Vertraut man seiner Intuition, wird man in Gruppe 1 ein ähnliches Ergebnis erwarten. Tatsächlich wird man aber sehr häufig einen Run der Länge 7 vorfinden.

Dies lässt sich heuristisch leicht verstehen: Die Wahrscheinlichkeit, dass an einer beliebigen Stelle das Ergebnis „Kopf“ lautet, beträgt p , da es sich um eine faire Münze handelt, beträgt die Wahrscheinlichkeit für „Zahl“ auch p . Die Wahrscheinlichkeit für einen Run der Länge m oder mehr beträgt damit $p \cdot m$. Innerhalb einer n -fachen Wurfserie gibt $n - m + 1$ Positionen, an denen ein solcher Run beginnen kann. Die Formel für die durchschnittliche Anzahl an Runs der Länge m lautet also $(n - m + 1) \cdot p \cdot m$. Denkt man sich nun n im Vergleich zu m sehr groß und geht von nur einem längsten Run aus, erhält man $1 \approx n \cdot p \cdot m$, wodurch man mit Hilfe des Logarithmus nun auf die Länge des längsten Runs in einer 200er Serie kommt:

$$m \approx \frac{\log n}{\log \frac{1}{p}}, \quad m \approx \frac{\log 200}{\log 2} \approx 7,64$$

Auch das Auftreten verschiedener Sequenzen führt zu unerwarteten Ergebnissen:

Zwei Personen wählen jeweils eines der acht dreigliedrigen Muster und werfen anschließend eine Münze, bis eines der Muster auftritt. Bei der Wahl der Muster lässt Person A Person B den Vortritt. Nun stellt sich die Frage, ob sich Person A damit einen Vorteil verschaffen kann. Auf den ersten Blick würde man intuitiv sagen, dass die Wahrscheinlichkeit aller dreigliedrigen Muster gleich $(\frac{1}{2})^3 = \frac{1}{8}$ ist. Mit diesem Ansatz betrachtet man allerdings die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Musters innerhalb von drei Würfeln. Tatsächlich lassen sich Muster finden, die mit einer Wahrscheinlichkeit größer als $1/2$ vor einem bestimmten anderen Muster auftritt, wodurch eine Möglichkeit für die zuletzt wählende Person A besteht, sich einen Vorteil zu verschaffen.

Angenommen, Person B wählt das Muster WZW (Wappen-Zahl-Wappen), so hat Person A mit dem Muster WWZ eine Wahrscheinlichkeit von $\frac{2}{3}$, das Spiel zu gewinnen. Dies sehen wir an folgender Herleitung: Es gibt vier zweigliedrige „Startmuster“: WW , WZ , ZW und ZZ . Die Wahrscheinlichkeit, zu gewinnen, besteht also zu je einem Viertel aus den bedingten Wahrscheinlichkeiten \mathbb{P}_{WW} , \mathbb{P}_{WZ} , \mathbb{P}_{ZW} und \mathbb{P}_{ZZ} , nach dem Eintreten eines dieser Startmuster zu gewinnen:

$$\mathbb{P}(„WWZ vor WZW“) = \frac{1}{4}(\mathbb{P}_{WW} + \mathbb{P}_{WZ} + \mathbb{P}_{ZW} + \mathbb{P}_{ZZ})$$

Auf jedes Startmuster folgt mit einem weiteren Münzwurf entweder ein weiteres Startmuster oder eins der beiden gewählten Muster, wodurch man im oben genannten Fall auf diese Formeln kommt:

$$\mathbb{P}_{WW} = \frac{1}{2} \cdot 1 + \frac{1}{2} \cdot \mathbb{P}_{WW}; \mathbb{P}_{WZ} = \frac{1}{2} \cdot 0 + \frac{1}{2} \cdot \mathbb{P}_{ZZ}; \mathbb{P}_{ZW} = \frac{1}{2} \cdot \mathbb{P}_{WW} + \frac{1}{2} \cdot \mathbb{P}_{WZ}; \mathbb{P}_{ZZ} = \frac{1}{2} \cdot \mathbb{P}_{ZW} + \frac{1}{2} \cdot \mathbb{P}_{ZZ}$$

Durch Lösen dieses Gleichungssystems erhält man:

$$\mathbb{P}_{WW} = 1; \mathbb{P}_{WZ} = \frac{1}{3}; \mathbb{P}_{ZW} = \frac{2}{3}; \mathbb{P}_{ZZ} = \frac{2}{3}$$

$$\mathbb{P}(\text{„WWZ vor WZW“}) = \frac{1}{4} \left(1 + \frac{1}{3} + \frac{2}{3} + \frac{2}{3} \right) = \frac{2}{3}$$

Auf alle Kombinationen angewandt, erhält man folgende Tabelle (\mathbb{P} („Muster der Zeile vor Muster der Spalte“)):

	ZZL	ZZW	ZWW	ZWZ	WZW	WZZ	WWZ	WWW
ZZL		1/2	2/5	2/5	5/12	1/8	3/10	1/2
ZZW	1/2		2/3	2/3	5/8	1/4	1/2	7/10
ZWW	3/5	1/3		1/2	1/2	1/2	3/4	7/8
ZWZ	3/5	1/3	1/2		1/2	1/2	3/8	7/12
WZW	7/12	3/8	1/2	1/2		1/2	1/3	3/5
WZZ	7/8	3/4	1/2	1/2	1/2		1/3	3/5
WWZ	7/10	1/2	1/4	5/8	2/3	2/3		1/2
WWW	1/2	3/10	1/8	5/12	2/5	2/5	1/2	

Neben der Siegeswahrscheinlichkeit eines Musters gegen ein bestimmtes anderes kann auch der Erwartungswert für die benötigte Wurfanzahl bis Vollendung des Musters von Interesse sein. Zur Berechnung teilt man den Erwartungswert in die Erwartungswerte der vier gleichwahrscheinlichen Startmuster:

$$E(\text{„Anzahl Würfe bis WWZ eintritt“}) = \frac{1}{4} (\mathbb{E}_{WW} + \mathbb{E}_{WZ} + \mathbb{E}_{ZW} + \mathbb{E}_{ZZ})$$

Nach jedem Wurf entsteht entweder erneut ein zweigliedriges Muster oder das gewählte dreigliedrige, wodurch man zu folgendem Gleichungssystem gelangt:

$$\mathbb{E}_{WW} = 1 + \frac{1}{2} \cdot 2 + \frac{1}{2} \cdot \mathbb{E}_{WW}$$

$$\mathbb{E}_{WZ} = 1 + \frac{1}{2} \cdot \mathbb{E}_{ZZ} + \frac{1}{2} \cdot \mathbb{E}_{ZW}$$

$$\mathbb{E}_{ZW} = 1 + \frac{1}{2} \cdot \mathbb{E}_{WZ} + \frac{1}{2} \cdot \mathbb{E}_{WW}$$

$$\mathbb{E}_{ZZ} = 1 + \frac{1}{2} \cdot \mathbb{E}_{ZZ} + \frac{1}{2} \cdot \mathbb{E}_{ZW}$$

Löst man dieses, erhält man schließlich:

$$E(\text{„Anzahl Würfe bis WWZ eintritt“}) = \frac{1}{4} (4 + 10 + 8 + 10) = 8$$

Quellen

- Peter Eichelsbacher: *Mit RUNS den Zufall besser verstehen*, in: *Stochastik in der Schule 22*, Bochum, 2002
- Hand Hummenberger: *Überraschendes bei Münzwurfsereien*, in: *Stochastik in der Schule 20*, Wien, 2000

3.9 Schätzer schätzen Schätze – Mathematische Analyse von Schätzungen

Lea Bach

Betreuerin: Victoria Möller

Allgemein schließt man beim Schätzen von einer Stichprobe des Umfangs n auf die Grundgesamtheit. Mithilfe von *Schätzfunktionen* erhält man Schätzwerte für das Auftreten der Zufallsvariable X , das uns interessierende Merkmal. Dabei zeichnet sich eine gute Schätzfunktion durch *Erwartungstreue*, *Konsistenz* und *Effizienz* aus. In meinem Vortrag habe ich unter anderem ein Schätzproblem und zwei mögliche Lösungswege vorgestellt und letztere auf die genannten Kriterien geprüft.

In diesem Beispiel möchte eine LKW-Fahrerin einer Schokoladenfirma wissen, wie viele Schokoladentafeln sie ausliefert. Wir gehen davon aus, dass alle Tafeln mit Seriennummern versehen sind, vereinfacht $S = \{1; \dots; \lambda\}$, die rein zufällig auf Pakete à 100 Stück verteilt werden. Die LKW-Fahrerin öffnet einen Karton und hat damit eine Stichprobe der Größe $n = 100$. Die Nummern aus der Stichprobe werden als S_1, S_2, \dots, S_n bezeichnet und daraus möchte sie auf die Grundgesamtheit λ der Lieferung schließen. Wir betrachten nun zwei mögliche Schätzfunktionen.

Schätzer 1

Schätzer 1 basiert auf dem Erwartungswert von S und geht davon aus, dass dieser dem arithmetischen Mittel \bar{S} der Nummern der Stichprobe entspricht:

$$\begin{aligned}\mathbb{E}[S] &= \frac{1}{2}\lambda \\ \bar{S} &= \mathbb{E}[S] = \frac{1}{2}\lambda \\ \Rightarrow \hat{\lambda}_1 &= 2\bar{S}\end{aligned}$$

Schätzer 2

Schätzer 2 betrachtet nur die größte Nummer der Stichprobe $M := \max\{S_1, S_2, \dots, S_n\}$. Vom Erwartungswert dieser Zufallsvariablen soll der Schätzwert für λ ermittelt werden. Laut Definition des Erwartungswertes einer reellen Zufallsvariable gilt:

1. $\mathbb{E}[M] := \int xh(x)dx$. Um auf die Dichtefunktion zu kommen, nutzen wir die Tatsache, dass gilt
2. $h(x) = H'(x)$. Durch die Verteilungsfunktion $H(x)$ wird die Wahrscheinlichkeit angegeben, dass die Zufallsvariable M einen Wert kleiner als x annimmt, das heißt
3. $H(x) := \mathbb{P}(M < x)$. Daraus können wir nun wieder auf die Verteilungsfunktion schließen.

$$\begin{aligned}
H(x) &= \mathbb{P}(M < x) \\
&= \mathbb{P}(\max\{S_1, \dots, S_n\} < x) \\
&= \mathbb{P}(\{S_1 < x\}, \dots, \{S_n < x\}) \\
&= \mathbb{P}(S_1 < x) \cdots \mathbb{P}(S_n < x) \\
&= \prod_1^n \left(\frac{x}{\lambda}\right) = \left(\frac{x}{\lambda}\right)^n
\end{aligned}$$

Damit folgt, dass $h(x) = H'(x) = \frac{n \cdot x^{n-1}}{\lambda^n}$. Mit Hilfe der Dichtefunktion lässt sich nun der Erwartungswert der Zufallsvariable M berechnen:

$$\mathbb{E}[M] = \int_0^\lambda x \frac{n \cdot x^{n-1}}{\lambda^n} dx = \frac{n}{n+1} \lambda$$

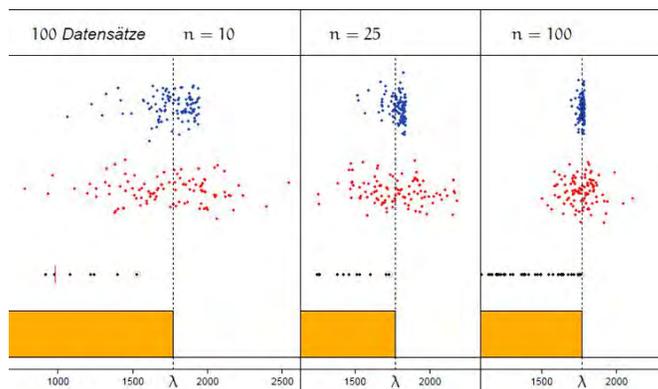
und damit ist $\hat{\lambda}_2 := \frac{n+1}{n} M$.

Vergleich der Schätzer

Die so erhaltenen Schätzfunktionen $\bar{\lambda}_1 := 2\bar{S}$ und $\hat{\lambda}_2 := \frac{n+1}{n} M$ sollen jetzt auf Erwartungstreue, Effizienz und Konsistenz geprüft werden. Durch eine einfache Rechnung lässt sich zeigen, dass beide Schätzer erwartungstreu sind, der Erwartungswert der Schätzfunktion dem zu schätzenden Parameter entspricht:

$$\begin{aligned}
\mathbb{E}[\hat{\lambda}_1] &= \mathbb{E}[2\bar{S}] = 2\mathbb{E}[\bar{S}] = 2 \cdot \frac{1}{2} \lambda = \lambda \\
\mathbb{E}[\hat{\lambda}_2] &= \mathbb{E}\left[\frac{n+1}{n} M\right] = \frac{n+1}{n} \mathbb{E}[M] = \frac{n+1}{n} \cdot \frac{n}{n+1} \cdot \lambda = \lambda
\end{aligned}$$

Die anderen beiden Eigenschaften haben wir anhand einer Simulation veranschaulicht. An dieser ist zunächst bei beiden Schätzern erkennbar, dass sie konsistent sind. Das bedeutet, dass die Schätzfunktion stochastisch gegen den Parameter λ konvergiert. Der Abstand zwischen Schätzer und λ wird beliebig klein, wenn man n gegen unendlich streben lässt. Um die Schätzer auf Effizienz zu prüfen, betrachten wir ihre Streuung um den Erwartungswert. Wir vergleichen dazu die Varianzen der beiden Schätzer als Streumaß. Je geringer die Streuung, desto effizienter ist der Schätzer. Anhand der Grafik unten lässt sich erkennen, dass Schätzer $\hat{\lambda}_2$ effizienter ist als Schätzer $\hat{\lambda}_1$. Man kann beispielsweise sehen, dass Schätzer 1 (unten) bei $n=25$ eine ähnlich große Streuung aufweist wie Schätzer 2 (oben) bei $n=10$.



Die vorgestellte Fragestellung hat sowohl historischen als auch aktuellen Bezug: Im Zweiten Weltkrieg wollten die Alliierten die deutsche Panzerproduktion anhand der Fahrzeugnummern abgeschossener Panzer abschätzen und entwickelten die oben als $\hat{\lambda}_2$ hergeleitete Schätzfunktion. Aber auch heute versuchen beispielsweise Wirtschaftswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler, die Produktionszahlen großer Konzerne mithilfe von Seriennummern zu schätzen.

Quellen

- A. Büchter, H.-W. Henn: *Elementare Stochastik – Eine Einführung in die Mathematik der Daten und des Zufalls*, Springer Verlag, Heidelberg, 2000
- A. Wakolbinger, B. Ferebee B.: Vorlesungsfolien, Frankfurt, 2010
- <http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/rechentrick-der-alliierten-wie-seriennummern-die-nazi-industrie-verrietten-a-728211.html> (02.09.2015)

3.10 Hypothesentests

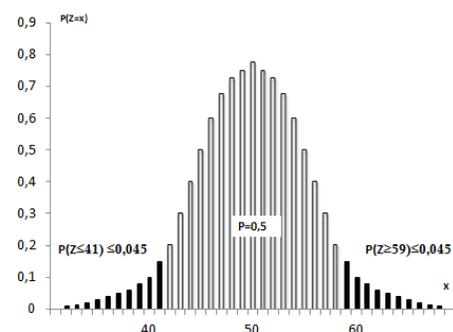
Antonia Grogro
Betreuerin: Sarah Zimmermann

Der Hypothesentest als Teil der beurteilenden Statistik ist eine Möglichkeit des statistischen Schließens von der Stichprobe auf die Grundgesamtheit. Dabei stellt man eine Hypothese auf, die mit Hilfe einer Stichprobe getestet und je nach Ergebnis verworfen oder angenommen wird. Man unterscheidet zwischen zwei Varianten: dem klassischen Hypothesentest, auch Signifikanztest genannt, und dem Alternativtest.

Klassischer Hypothesentest

Beim klassischen Hypothesentest entscheidet man sich zwischen einer Nullhypothese H_0 und deren logischem Gegenteil. Um den Test durchführen zu können, unterscheiden wir zwei mögliche Vorgehensweisen. Die erste Möglichkeit besteht darin, dass nach Durchführung einer Stichprobe anhand des Ergebnisses entschieden wird, ob die getroffene Hypothese angenommen wird oder nicht. Die andere Möglichkeit formuliert eine Entscheidung bereits vor Durchführung der Stichprobe, anhand derer entschieden wird, ob die Hypothese verworfen wird oder nicht. Wir haben im Kurs erläutert, ob und inwiefern eine der beiden Vorgehensweisen Vorteile gegenüber der jeweils anderen hat. Bei letzterer Möglichkeit handelt es sich um die objektivere, da sie nicht nach Bekanntwerden des Stichprobenergebnisses getroffen wird und somit Testergebnisse sicherer vor Manipulation sind.

Den klassischen Hypothesentest unterteilt man weiterhin in den einseitigen und den zweiseitigen Hypothesentest. Der einseitige Hypothesentest wird wiederum in den links- und rechtsseitigen Hypothesentest unterschieden. Beim rechtsseitigen (linksseitigen) Hypothesentest wird überprüft, ob die Wahrscheinlichkeit signifikant nach oben (unten) abweicht. Beim zweiseitigen Hypothesentest gibt es sowohl rechts als auch links einen Ablehnungsbereich. Liegt das Testergebnis im Annahmebereich, wird die Hypothese bestätigt.



Anwendungsmöglichkeiten findet der Hypothesentest vor allem bei Umfragen und der Einhaltung von Vereinbarungen in Verbindung mit Beweispflichten. Letzteres wird beispielsweise ersichtlich, wenn ein Hersteller von Überraschungseiern verspricht, dass sich „in jedem siebten Ei“ eine Sammelfigur befinde.

Anhand der Entscheidungsregel k ergibt sich die Aussagekraft des Tests. Denn der kritische Wert darf weder zu niedrig noch zu hoch sein, da sonst die Hypothese unabhängig von der tatsächlichen Wahrscheinlichkeit fast immer angenommen beziehungsweise abgelehnt wird.

Fehler

Beim Verwerfen einer Hypothese getroffene Fehlentscheidungen werden als Fehler 1. Art (auch α -Fehler genannt), und dem Fehler 2. Art (auch als β -Fehler bezeichnet) unterschieden. Beim Fehler 1. Art gilt die Nullhypothese H_0 , wird jedoch aufgrund des Stichprobenergebnisses verworfen. Andersherum ist es beim Fehler 2. Art. Hierbei gilt die Nullhypothese H_0 nicht, diese wird aber nicht verworfen. Die Nullhypothese H_0 beim einseitigen Hypothesentest wird bei höchstens k Treffern verworfen. Die Fehlerwahrscheinlichkeit für den Fehler 1. Art lässt sich mit der folgenden Bernoulli-Formel berechnen:

$$\mathbb{P}(X \leq k) = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k} \leq \alpha$$

Alternativtest

Beim Alternativtest wird eine Entscheidung zwischen zwei alternativen beziehungsweise konkurrierenden Hypothesen getroffen. Die Hypothese wird hinsichtlich eines Parameters k einer theoretischen Verteilung mit einer alternativen Hypothese verglichen. k ist in diesem Fall die Entscheidungsgrenze zwischen dem Annehmen und Ablehnen einer Hypothese. Dabei gibt es verschiedene Möglichkeiten, um k festzulegen. k als kritischen Bereich kann man durch die Irrtumswahrscheinlichkeit α , durch den Schnitt der Verteilungen und durch die Mitte der Erwartungswerte festlegen. Eine andere Methode ist, k so zu wählen, dass die Fehler entsprechenden Grenzen unterliegen: $\mathbb{P}(X < k | H_0) < 0,05$ (α -Fehler) oder $\mathbb{P}(X \leq k | H_1) < 0,15$ (β -Fehler).

Nullschmeckertest

Als Anwendungsbeispiel habe ich in meinem Vortrag den Nullschmeckertest nach Riemer gewählt. Diesen habe ich anhand von Schokolade durchgeführt. Dabei hatten alle Kursteilnehmer die Aufgabe durch Probieren Schokolade der Sorten Lindt, Milka, RitterSport und Ja jeweils richtig zuzuordnen. Wir sind von der Nullhypothese ausgegangen, dass wir alle Nullschmecker sind, das heißt keine Sorte richtig erschmecken können, sondern alles zufällig zuordnen. Nach der Durchführung und anschließenden Auflösung sind wir zu dem Ergebnis gekommen, dass es sich bei uns im Durchschnitt nicht um Nullschmecker handelt, da schlechtere Tester durch eine große Anzahl an Profischmeckern ausgeglichen wurden.

Quellen

- Andreas Büchter, Hans-Wolfgang Henn: *Elementare Stochastik – Eine Einführung in die Mathematik der Daten und des Zufalls*, Springer Verlag, Heidelberg, 2000
- Reinhard Oldenburg: *Didaktik der Oberstufenkurse*, Vorlesungsskript, Frankfurt, 2013
- www.mathematik-wissen.de (01.09.2015)
- <http://www.brinkmann-du.de> (13.09.2015)

3.11 Modell vs. Intuition

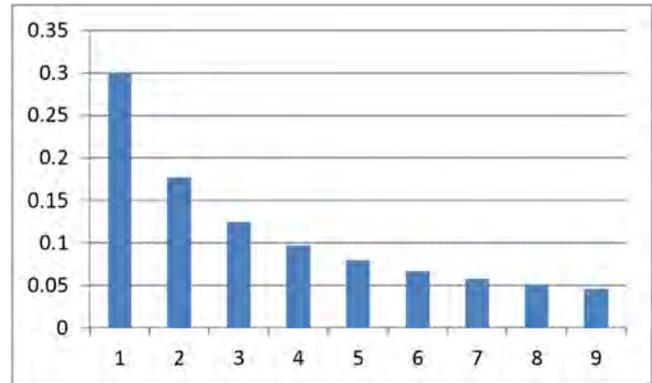
Antonius Nies

Betreuerin: Birthe Anne Wiegand

In dieser Dokumentation soll an zwei Beispielen erläutert werden, wie die Intuition in der Stochastik täuschen kann.

Benford'sches Gesetz

Es geht hier um die Verteilung der ersten von 0 verschiedenen Ziffer von Zahlen in empirischen Datensätzen wie Zeitungsseiten, geographischen Größenangaben und nicht manipulierten Steuererklärungen. Man könnte erwarten, dass hier alle Ziffern gleich oft vorkommen, aber die Verteilung sieht ganz anders aus: Die kleinen Ziffern stehen viel öfter an erster Stelle als die großen (siehe Abbildung).



Dies kann man so erklären, dass generell die Werte in solchen Mengen durch exponentielle Vorgänge bzw. Multiplikation auseinander hervorgehen. Zum Beispiel werden 120€, wenn sie um 20% verzinnt werden, zu 144€, der Wert beginnt dann also immer noch mit einer 1. Hingegen werden 8500 Einwohner mit der gleichen Wachstumsrate von 20% zu 10200. Die erste Stelle ändert sich bei größeren Ziffern viel schneller, da sie empfindlicher gegenüber prozentualen Änderungen sind.

Bildet man den Zehnerlogarithmus dieser Zahlen, so erkennt man eine viel einfachere Verteilung: Diese Logarithmen sind in den Nachkommastellen gleichverteilt. Die Stellen vor dem Komma bewirken nur eine Multiplikation mit Potenzen von 10, was die erste signifikante Stelle nicht ändert. Auf dieser neuen Skala erkennt man nun, dass die alte führende Ziffer 1 genau dann auftritt, wenn die Nachkommastellen des Logarithmus zwischen $\log(1)_{10} = 0$ und $\log(2)_{10} \approx 0.301$ liegen. Allgemein tritt die führende Ziffer i für Logarithmennachkommastellen zwischen $\log(i)_{10}$ und $\log(i+1)_{10}$ auf, wodurch sich eine logarithmische Wahrscheinlichkeitsverteilung (siehe Abbildung) ergibt.

Im Kurs haben wir dies noch einmal selbst erfahren können, indem wir zuerst eine Grundmenge von Zahlen auf verschiedene Arten ausgewählt haben – das Alter aller 21 Kursteilnehmer als plakatives Einstiegsbeispiel sowie Mengen von unterschiedlich gewählten Zufallszahlen. Diese Werte haben wir in sechs weitere reale und sechs fiktive Einheiten umgerechnet, darunter Monate, Wochen und Sekunden, aber auch Viertelstunden und gegessene Äpfel. Die Gesamtmenge aller dieser Zahlen war in ihren Anfangsziffern gemäß Benfords Gesetz annähernd logarithmisch verteilt.

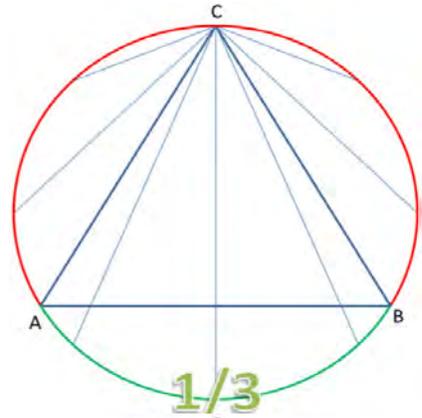
Bertrands Kreissehnenparadoxon

Hier geht es um ein gleichseitiges Dreieck ABC und seinen Umkreis. Die Problemstellung ist, herauszufinden, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine zufällig gewählte Kreissehne länger als die Seitenlänge des Dreiecks ist. Aber wie modelliert man eine „zufällig gewählte Kreissehne“ stochastisch? Hierfür untersuchen wir drei verschiedene Ansätze:

1. Definition über die Kreislinie

Eine zufällig gewählte Kreissehne ist die Strecke zwischen zwei zufälligen Punkten der Kreislinie.

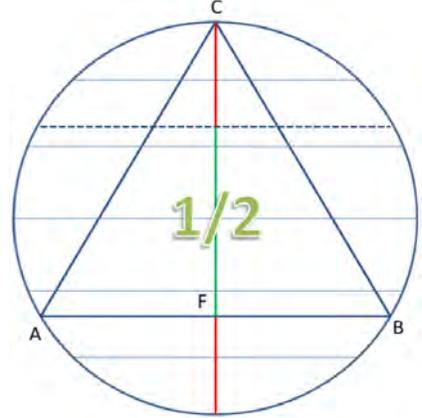
Da ein Kreis um jeden beliebigen Winkel drehsymmetrisch ist, ändert sich die Wahrscheinlichkeit nicht, wenn wir alle Sehnen im Punkt C beginnen lassen (siehe Abb.). In diesem Fall ist leicht zu erkennen, dass der Teil der Kreislinie, für den die Sehnen länger als eine Dreiecksseite sind, der zwischen A und B ist. Dieser Teil macht offensichtlich genau ein Drittel des Kreisumfangs aus. Die Wahrscheinlichkeit beträgt also aufbauend auf dieser Definition $\frac{1}{3}$.



2. Definition über den Kreisdurchmesser

Eine zufällig gewählte Kreissehne ist die Sehne, die an einem zufälligen Punkt eines beliebigen Kreisdurchmessers senkrecht auf diesem steht.

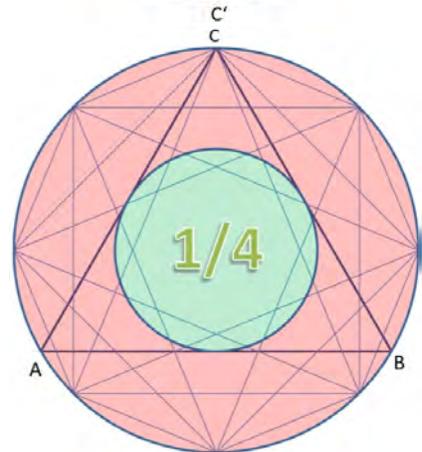
Hierfür reicht es aus den oben genannten Gründen, wenn wir nur den Durchmesser vom Punkt C bis zum gegenüberliegenden Punkt C' nehmen und zu diesem senkrechte Sehnen ziehen. Dann liegt der Bereich der längeren Sehnen genau zwischen den Strecken \overline{AB} und $\overline{A'B'}$. Mit dem Höhenschnittpunktsatz berechnen wir, dass dieses Intervall genau die Hälfte des Durchmessers ausmacht. Die Wahrscheinlichkeit beträgt für dieses Modell also $\frac{1}{2}$.



3. Definition über die Kreisfläche

Eine zufällig gewählte Kreissehne ist die Sehne, die durch einen zufälligen Punkt der Kreisfläche verläuft und senkrecht auf dem Kreisdurchmesser durch den gewählten Punkt steht.

Hierfür nehmen wir einen zufälligen Punkt der Kreisfläche, ziehen durch diesen den Durchmesser und schließlich die Senkrechte zu diesem. Hier erkennt man, dass die Punkte, für die die Sehne länger als eine Dreiecksseite ist, genau die Punkte innerhalb des Inkreises des Dreiecks liegen. Da dieser genau ein Viertel der gesamten Kreisfläche ausmacht, beträgt die Wahrscheinlichkeit für dieses Modell $\frac{1}{4}$.



Nun haben wir „zufällig gewählte Kreissehne“ auf drei verschiedene Arten modelliert und dadurch drei verschiedene Wahrscheinlichkeitswerte herausbekommen. Fazit ist also, dass es in der Stochastik entscheidend ist, das richtige Modell zu verwenden, auch wenn es mehrere Modelle gibt, die auf den ersten Blick äquivalent scheinen.

Quellen

- Hans-Jürgen Schuh: *Das Benfordsche Gesetz, oder: Die Wahrscheinlichkeit der ersten (signifikanten) Ziffer*, Monoid-Heft 103, Hrsg.: Präsident der Gutenberg-Universität Mainz
- *Irrfahrt durch die Stochastik – Referenzmaterial*, aus: Dokumentation der JuniorAkademie Meisenheim (Rheinland-Pfalz) 2014 des Vereins Bildung & Begabung, Bonn; Kurs „Irrfahrt durch die Stochastik“, Prof. Dr. H.-J. Schuh, Dipl.-Math. Markus Elze

3.12 Mathematik trifft Physik: Der Quaderwürfel

Bericht: Cynthia Hog-Angeloni

Zu den Quaderwürfeln (vgl. Referat 6 – Bedingte Wahrscheinlichkeiten und das Pólya-Urnen-Modell) kam aus dem Kurs die Frage, ob man auch rechnerisch herleiten könne, wie die Abmessungen gewählt werden müssten, damit die (kleinen) quadratischen Quaderseiten eine vorgegebene Wahrscheinlichkeit p – z.B. $p = 0, 1$ wie bei dem von uns verwendeten Quaderwürfel werkseitig angegeben – realisieren.

Wir vermuteten zuerst eine Proportionalität zwischen der Wahrscheinlichkeit einer Seitenfläche und der Größe der sphärischen Vierecke auf der dem Quader umschriebenen Kugel („wo’s auftrifft, bleibt’s liegen“). Diese lässt sich auch leicht berechnen:

Es bezeichne r den Radius der Umkugel und h die Höhe auf einer kleinen Quaderseite.

Das Verhältnis der Fläche des sphärischen Vierecks über einer kleinen Quaderseite zur Gesamtfläche der Umkugel beträgt $\frac{2\pi rh}{4\pi r^2}$, m.a.W. das Verhältnis $\frac{h}{2r}$ ist in unserem Modell gleich der gesuchten Wahrscheinlichkeit p .

Daraus berechnen wir das Verhältnis der kurzen zur langen Seite des Quaders:

Die Länge der kurzen Seite berechnet sich durch zweifache Anwendung des Satzes von Pythagoras zu $\sqrt{2}\sqrt{r^2 - (r - h)^2} = \sqrt{4rh - 2h^2}$

Somit ergibt sich für das Seitenverhältnis:

$$\frac{\sqrt{4rh - 2h^2}}{2(r - h)} = \frac{\sqrt{8r^2p - 8r^2p^2}}{2(r - 2rp)} = \frac{\sqrt{2p(1 - p)}}{1 - 2p}$$

Zum Beispiel erhalten wir für $p = 0, 1$, dass die kurze Seite knapp über halb so lang wie die lange Seite sein müsste.

Natürlich ist hierbei noch nicht berücksichtigt, dass auch wenn der Würfel erst einmal auf die kleine Seite fällt, er aufgrund seiner kinetischen Energie möglicherweise dann doch auf eine der größeren Seiten weiterrollt: Je instabiler die Lage des Quaders ist, je höher also sein Schwerpunkt über der Grundfläche liegt, desto unwahrscheinlicher ist diese Lage.

Dies erfordert einen kinetischen Korrekturterm, der die *Lageenergien*, die zu der Höhe des Schwerpunkts proportional sind, wenn der Quader auf der kleineren bzw. größeren Seite liegt, berücksichtigt. Nach den Gesetzen der Thermodynamik ist die kinetische Energie Boltzmann-verteilt.

Tatsächlich stimmte unsere Vorhersage des über das Produkt aus statischem und dynamischem Term ermittelte Seitenverhältnisses innerhalb der durch das Maßband vorgegebenen Genauigkeit perfekt mit den Abmessungen des für den Kurs gekauften Würfels überein.

Wieder zu Hause angekommen, stellte sich heraus, dass schon NEWTON sich mit ebendiesem Problem herumgeschlagen hatte, und es erst 2011 gelöst wurde. Für Details siehe WOLFGANG RIEMER und DIETRICH STOYAN, MNU-Journal 64/4 (2011), Seiten 214-216, ISSN 0025-5866, Verlag Klaus Seeberger, Neuss.

4 Physikkurs

Funktionswerkstoffe und ihre festkörperphysikalischen Grundlagen

Die meisten Gegenstände, die wir täglich verwenden, sind feste Körper. Man unterscheidet dabei zwischen Funktions- und Konstruktionswerkstoffen. Erstere zeichnen sich z. B. durch besondere elektrische, mechanische, magnetische und optische Eigenschaften aus, die meist für den jeweiligen Anwendungszweck gezielt verändert werden können. Letztere sind Materialien für die Konstruktion, die im Einsatz vorwiegend mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt sind. Wir haben im Kurs speziell Funktionswerkstoffe, wie z. B. Halbleiter, Metalle, Isolatoren, Gläser, magnetische Werkstoffe, Piezomaterialien, Supraleiter, Formgedächtnis-Legierungen und einige Anwendungen besprochen. Um die verschiedenen Effekte zu verstehen, haben wir uns zunächst mit wichtigen Grundlagen der Festkörperphysik befasst.

Kursleitung

Dr. Wolf Aßmus, Professor für experimentelle Festkörperphysik und Materialforschung an der Goethe-Universität Frankfurt am Main

Dr. George Bruls, Privatdozent für Physik an der Goethe-Universität Frankfurt am Main

Helmar Becker, Diplomphysiker und Lehrer

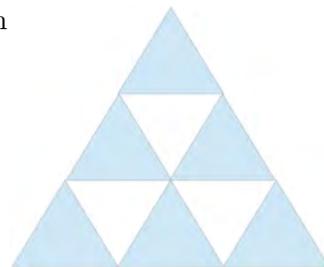
4.1 Struktur von Kristallen

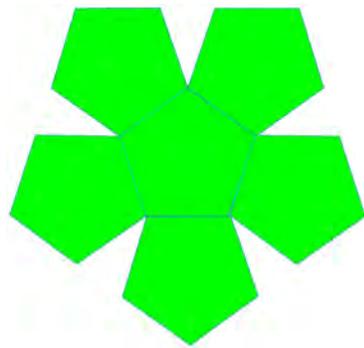
Jakob Lohr
Betreuer: Wolf Aßmus

Ein Kristall unterscheidet sich durch seine periodische Struktur von amorphen Festkörpern. Die Kristallstruktur ist wichtig für die Eigenschaften der aus Kristallen aufgebauten Festkörper. Die Kristallstruktur wird durch die Summe aus Kristallgitter und Kristallbasis bestimmt.

Das Gitter ist ein mathematisches Gebilde, die einzelnen Gitterpunkte werden durch Atome oder Moleküle, die die Basis bilden, besetzt. Das eben genannte Kristallgitter wird durch Translationsvektoren definiert, ihre Anzahl entspricht der Dimension des Kristalls. Ein dreidimensionaler Kristall wird durch drei Translationsvektoren beschrieben. Wie schon zu vermuten ist, gibt ein Translationsvektor eine Verschiebung der Kristallbasis um einen bestimmten Betrag in eine bestimmte Richtung an. Um als Translationsvektor gelten zu können, müssen also sein Ausgangspunkt und sein Ziel identisch sein. Somit gilt $r_2 = r_1 + u_1 a_1 + u_2 a_2 + u_3 a_3$. Die Variablen r_1 und r_2 stehen für Gitterpunkte im Kristall, a_1 , a_2 , a_3 für Translationsvektoren und u_1 , u_2 , u_3 für ganzzahlige Faktoren. Sehen wir uns in der direkten Umgebung des Gitterpunktes \vec{r}_1 um und vergleichen diese mit der Umgebung des Gitterpunktes \vec{r}_2 , so bemerken wir aufgrund der periodischen Struktur des Kristalls keinen Unterschied – ein Kristall ist also translationsinvariant gegenüber der oben definierten Transformation

Ein Kristall besitzt signifikante Symmetrieeigenschaften. Nur eine Drehung um die Winkel 2π , $\frac{2\pi}{2}$, $\frac{2\pi}{3}$, $\frac{2\pi}{4}$ und $\frac{2\pi}{6}$ kann möglich sein. Diese Drehungen werden ihrem Nenner entsprechend als 1-, 2-, 3-, 4- und 6-zählig bezeichnet. Eine lückenlose Parkettierung mit beispielsweise Fünfecken ist jedoch nicht möglich, sodass ein Kristall niemals eine fünfzählige Rotationssymmetrie besitzt.





Im Falle der oben genannten nicht möglichen Symmetrien, wie der Fünfer-Symmetrie, würde eine quasi-kristalline Struktur vorliegen. Ein Quasikristall ist ein Körper, der ähnlich wie der Kristall sowohl eine Nah- als auch eine Fernordnung besitzt. Im Unterschied zum Kristall ist seine Struktur jedoch nicht durch nur eine einzige Einheitszelle beschreibbar. Er wird nur durch die Füllung des Raumes mit einer endlichen Menge an Einheitszellen aufgebaut. Die Einheitszellen sind nicht streng periodisch, sondern quasi-periodisch angeordnet.

Quellen

- Lawrence E. Murr: *Handbook of Materials Structures, Properties, Processing and Performance*, 1. Auflage, Springer-Verlag

4.2 Freies Elektronengas im Magnetfeld

Leon Vack
Betreuer: George Bruls

Elektron im Magnetfeld

Angenommen, wir haben ein magnetisches Feld, welches sich in z -Richtung erstreckt ($\vec{B} = B\vec{e}_z$). In diesem befindet sich ein Elektron, auf welches nun die Lorentzkraft wie folgt wirkt:

$$\begin{aligned}v_x(t) &= A \sin(\omega_c t) \\v_y(t) &= A \cos(\omega_c t) \\ \omega_c &= \frac{eB}{m}\end{aligned}$$

Dieses erzeugt eine Kreisbewegung mit der Frequenz ω_c .

Elektron im Magnet- und elektrischen Feld

Wenn nun zusätzlich ein elektrisches (\vec{E}) Feld so angelegt wird, dass sich eine Bewegung des Elektrons (v_D) in x -Richtung ergibt, ändern ergeben sich diese Geschwindigkeiten v_x und v_y in Abhängigkeit von der Zeit (t):

$$\begin{aligned}v_x(t) &= A \sin(\omega_c t) + \frac{E_y}{B} \\v_y(t) &= A \cos(\omega_c t) \\v_D &:= \frac{E_y}{B}\end{aligned}$$

Wir erhalten also eine Überlagerung der Kreisbewegung von der Lorentzkraft und der Seitwärtsbewegung v_D in x -Richtung wie in Abbildung 1.

Hierbei muss das elektrische Feld in y -Richtung angelegt werden. Ohne Reibung in einem Leiter fließt der Strom orthogonal zum elektrischen Feld.

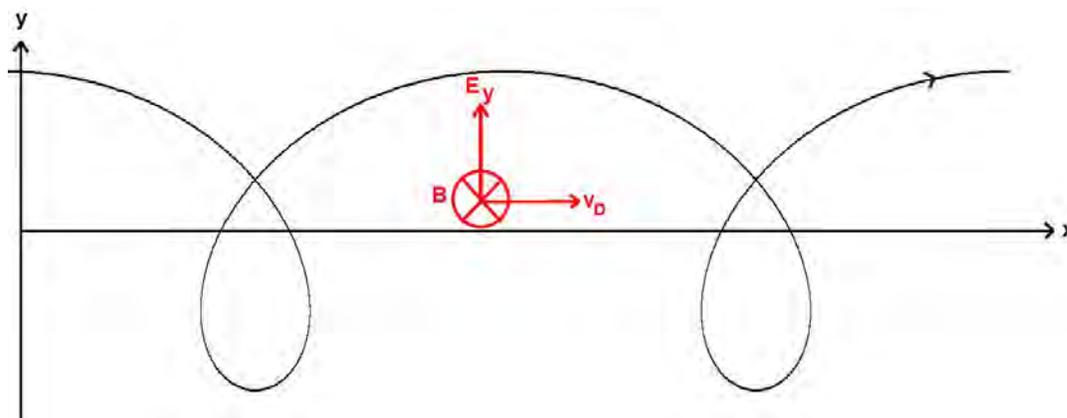


Abbildung 1: Die Bahn eines Elektrons unter Einfluss eines elektrischen und eines magnetischen Feldes

Elektron mit Reibung im Leiter

Wenn man nun die Reibung der Elektronen in einem Leiter in die Berechnungen mit einbezieht, erhält man neue Bewegungsgleichungen:

$$v_x(t) = A \sin(\omega_c t) + \frac{E_y}{B}$$

$$v_y(t) = A \cos(\omega_c t) - \frac{E_x}{B} + \frac{v_D}{\omega_c \tau}$$

Wenn man nun möchte, dass der Strom in x -Richtung fließt, muss gelten:

$$-\frac{E_x}{B} + \frac{v_D}{\omega_c \tau} = 0$$

$$E_x = v_D B \frac{1}{\omega_c \tau}$$

Mit der Definition von v_D folgt außerdem:

$$v_D = \frac{E_y}{B}$$

$$E_y = v_D B$$

$$\frac{E_y}{E_x} = \omega_c \tau = \tan \phi,$$

wobei ϕ der Winkel zwischen der Bewegung der Elektronen \vec{v}_D und dem elektrischen Feld \vec{E} ist. Dies bedeutet also, dass der Strom schräg zum elektrischen Feld fließt.

Nähert sich ϕ dem Winkel 90° an, fließt der Strom im rechten Winkel zum Feld. Dies passiert, wenn die Reibung sehr klein und τ somit sehr groß wird. Wenn τ jedoch fast 0 wird, wird ϕ ebenso sehr klein und der Strom fließt, bei sehr viel Reibung, fast parallel zum Feld.

Wenn nun an einem Leiter im Magnetfeld eine Spannung angelegt wird, bewegen sich die Elektronen im Winkel ϕ schräg zum Feld. Dies führt wiederum dazu, dass sich an einem Rand des Leiters Elektronen sammeln und am anderen fehlen und ein weiteres elektrisches Feld entsteht, wodurch das gesamte elektrische Feld \vec{E} gedreht wird, bis der Strom parallel zum außen anliegenden Feld fließt und das orthogonale Feld sich daher nicht mehr verändert.

Dieser Effekt wird Hall-Effekt genannt und wird zum Beispiel verwendet, um Magnetfelder über die Spannung an Hallsonden zu messen.

Höhenwinde

Ein ähnliches Phänomen tritt bei Höhenwinden auf. Hierbei ist der Druckunterschied zwischen Hoch- und Tiefdruck die Äquivalente zum elektrischen Feld. Die geringe Reibung, da kein Kontakt zum Boden besteht, entspricht einem großen $\omega_c \tau$ und führt zu einem 90° -Winkel ψ . Die Lorentzkraft ist bei den Höhenwinden die Corioliskraft, welche durch die Erdrotation entsteht. Folglich wehen Höhenwinde nicht von Hoch- nach Tiefdruckgebiet, sondern im rechten Winkel ψ dazu, gerade zwischen Hoch und Tief entlang.

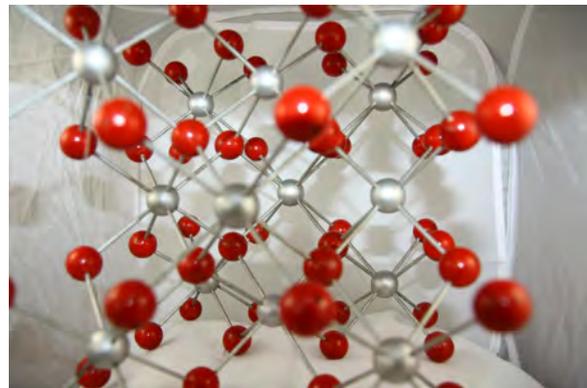
Quellen

- Nikolas Scholz: *Die Rolle von Rändern im (Quantum-)Hall-Effekt*, 2014

4.3 Freies Elektronengas

Konstantin Skudler
Betreuer: George Bruls

Stellen Sie sich vor, Sie gehen mit geschlossenen Augen durch einen Wald. Die Wahrscheinlichkeit, hindurchzukommen, ohne an einen Baum zu prallen, ist sehr gering. Die sogenannte *freie Weglänge* ist ähnlich dem mittleren Abstand zwischen den Bäumen und beträgt in etwa einige Meter.



So, sollte man meinen, ergeht es auch Elektronen, wenn Sie in den „Wald“ der Atome in einem Material gelangen. Jedoch hat man festgestellt, dass die freie Weglänge z.B. in einem Metall wie Kupfer deutlich größer sein kann als der Abstand zwischen den Atomen. Der Atomabstand in Kupfer (die so genannte Gitterkonstante) ist $3,6 \text{ \AA}$, die freie Weglänge kann sehr viel größer sein. Außerdem ist die freie Weglänge stark von der Temperatur abhängig, was bei einem Menschen im Wald sicher nicht der Fall ist. Die Lösung dieses Rätsels liegt in der Quantenmechanik, die besagt, dass die Bausteine unserer Welt sowohl Welleneigenschaften als auch Teilcheneigenschaften haben. Dies gilt für Licht, weswegen man Licht sowohl als elektromagnetische Welle als auch als Teilchen, als Photonen, beschreiben kann/muss. Umgekehrt haben Elektronen, die man zunächst als Teilchen entdeckt hat, Welleneigenschaften. Louis de Broglie entwickelte in seiner Doktorarbeit die berühmte Gleichung $p = \frac{h}{\lambda}$, mit der man den Impuls von Teilchen, das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit, in eine Wellenlänge λ umrechnen kann. h

ist hierbei das Planck'sche Wirkungsquantum. Die de Broglie-Gleichung ist das Rezept, mit dem man eine Welle in ein Teilchen „übersetzen“ kann und umgekehrt.

Die Welleneigenschaften der Elektronen sind der Grund dafür, dass sie nicht direkt mit den Atomen zusammenprallen. Wie die Wellen im Meer ein Schiff oder Schallwellen die Bäume im Wald „umspülen“, so werden auch die Atome von den Elektronen passiert. Ob diese Umspülung bzw. Beugung stattfindet, hängt von der Wellenlänge ab: Die Wellenlänge darf nicht deutlich kleiner als die Größe der Hindernisse sein. Die Wellenlänge von Licht ist kleiner als $1\mu m$. Deswegen umspült Licht Bäume nicht, ein Baum wirft Schatten. Die Wellenlänge von hörbarem Schall geht bis in den Meterbereich. Schall wird zwar abgeschwächt, kommt aber sehr viel besser durch einen Wald als ein Mensch mit geschlossenen Augen. Mit der de Broglie-Gleichung kann man tatsächlich ausrechnen, dass die Wellenlänge eines Menschen sehr viel kleiner ist als ein Baum.

Jetzt müssen wir noch berücksichtigen, dass Elektronen Fermionen sind. Nach dem Pauli-Prinzip bedeutet dies, dass sie nicht mehrfach im selben Zustand, also mit den gleichen Eigenschaften (wie z.B. mit der gleichen Energie) auftreten können. Für die Elektronen in einem Metall bedeutet dies, dass gerade die Leitungselektronen eine sehr viel größere Energie haben, als man aufgrund einer Umgebungstemperatur $T = 300\text{ K}$ erwarten würde.

Diese Energie heißt Fermi-Energie E_F , die man mithilfe der Gleichung $E_F = k_B T_F$ in die Fermi-Temperatur T_F umrechnen kann. Für Kupfer ist $T_F = 80.000\text{ K}$. Für die freien Elektronen ist fast die ganze Fermi-Energie kinetisch, man kann also über $E_F = p^2/2m$ den Impuls P und dann mit der de Broglie-Gleichung die Wellenlänge λ der Elektronen ausrechnen. Für Kupfer ergibt dies eine Wellenlänge in der Größe der Gitterkonstante, also $\lambda = 4\text{ \AA}$. Genauso wie der Schall die Bäume können die freien Elektronen die Kupferatome leicht umspülen. Die Elektronen im Metallgitter bewegen sich tatsächlich ziemlich frei durch das Metall, fast wie Gasmoleküle durch den freien Raum. Unter anderem deswegen spricht man vom freien Elektronengas.

Das Verhalten der freien Elektronen in Kupfer kommt in Materialeigenschaften wie dem elektrischen Widerstand zum Tragen. Man kann sie mit der Drude-Formel für den spezifischen Widerstand ρ beschreiben:

Nach den Definitionen des spezifischen Widerstandes $\rho = R \frac{\text{Fläche}}{\text{Länge}}$, des elektrischen Feldes $U = \int E \cdot ds$ und der Stromdichte $\vec{j} = n \cdot e \cdot \vec{v} = \frac{I}{\text{Fläche}}$ erhält man eine Alternativform des Ohmschen Gesetzes $U = I \cdot R$, nämlich $E = j \cdot \rho$.

Ein Elektron wird in einem elektrischen Feld innerhalb eines Metalls mit der Kraft $F = e \cdot E$ beschleunigt, daher gilt nach Newton $F = e \cdot E = m \cdot a$. Jedoch wird im Drude-Modell angenommen, dass ein freies Elektron durchschnittlich nach einer mittleren Streuzzeit τ durch einen Stoß zum Stillstand kommt und dann erneut beschleunigt wird. Die mittlere Geschwindigkeit (die Driftgeschwindigkeit) der freien Elektronen beträgt daher $v_D = a \cdot \tau$. Die mittlere Beschleunigung der Elektronen lässt sich also mit $a = v_D/\tau$ berechnen.

Ausgehend von der Gleichung $F = e \cdot E = m \cdot a$ und der der Stromdichte $j = n \cdot e \cdot v$ (mit Ladungsträgerdichte n , also der Zahl der Ladungsträger pro Volumen) kann man nun, durch Multiplikation mit $n \cdot e$, $E = j \cdot \rho$ wie folgt umstellen:

$$\vec{F} = e\vec{E} = m \cdot \frac{v_D}{\tau} \Leftrightarrow ne^2\vec{E} = m \cdot \frac{nev_D}{\tau} = m \cdot \frac{j}{\tau} \Leftrightarrow \vec{E} = \frac{m}{ne^2\tau}\vec{j} = \rho \cdot \vec{j} \Leftrightarrow \rho = \frac{m}{ne^2\tau}$$

Experimentell stellt man fest, dass der Widerstand der meisten Metalle mit steigender Temperatur größer wird, was mit einer kleiner werdenden Streuzzeit bzw. freier Weglänge einhergeht. Andererseits wird der Widerstand umso kleiner, je perfekter (periodischer) das Kristallgitter ist. Diese beiden Tatsachen erklärt man damit, dass die Elektronen zwar nicht von den Atomen eines perfekten Gitters,

sondern von den thermischen Bewegungen der Gitteratome um ihre perfekte Gleichgewichtslage herum gestreut werden. Die thermischen Bewegungen der Atome können sich wellenartig durch den Kristall ausbreiten. Als die Teilchen, die sie nach der Quantenmechanik gleichzeitig auch sind, tragen sie den Namen Phononen, die sich ihrerseits wie ein (Phononen-)Gas durch den Kristall bewegen können. Die Temperaturabhängigkeit des Widerstandes kommt in diesem Bild durch Streuung der Elektronen an den Phononen zustande. Bei höherer Temperatur gibt es mehr Phononen, also steigt der Widerstand. Phononen sind nicht geladen, können aber Wärme transportieren. Elektronen, als geladene Teilchen, transportieren Strom und Wärme (Wiedemann-Franz-Gesetz).

Quellen

- linkes Bild: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/72/Japanese_cypress_woods_C032473.jpg (01.09.2015)
- rechtes Bild: Foto (Jan Fotakis)
- Dieter Meschede: *Gerthsen Physik*, 24. überarbeitete Auflage, Springer-Verlag, Heidelberg, 2010

4.4 Energiebänder

Tim Griesbach
Betreuer: Alexander Dick

Das Bändermodell

Das Bändermodell bietet vor allem die Möglichkeit, Isolatoren, Halbleiter und Metalle zu unterscheiden. Hierbei gründet das Bändermodell auf der Annahme, dass es sogenannte verbotene Energiebereiche (*Bandlücken*) und erlaubte Energiebereiche (*Energiebänder*) gibt. Diese verschiedenen Bereiche stellen durch ihre Abstände und Breite die Bandstruktur dar, welche durch die Eigenschaften des Kristallgitters des jeweiligen Festkörpers bestimmt wird. Man kann nun anhand der schematischen Bandstruktur die elektrische Leitfähigkeit von Festkörpern erläutern. Hierfür benötigt man noch die zwei Begriffe *Valenzband* und *Leitungsband*. Das Valenzband ist das Energieband, das die Elektronen mit den höchsten Energiewerten im Grundzustand des Systems enthält, während es sich beim Leitungsband einfach um das Energieband über dem Valenzband handelt.

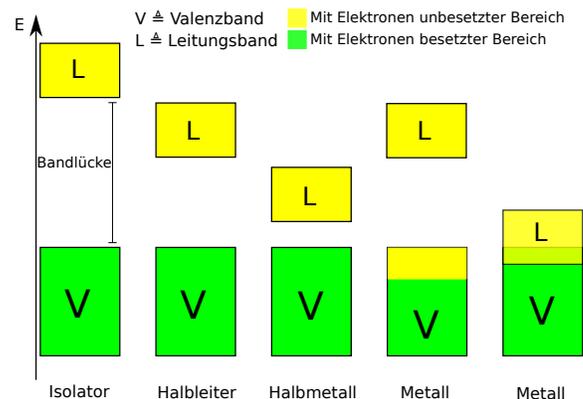


Abbildung 1: Eine schematische Darstellung des Bändermodells

Damit Strom geleitet werden kann, müssen Ladungsträger (hier Elektronen) pro Zeit fließen. Da Elektronen Fermionen sind, müssen sie leere (unbesetzte) Zustände füllen. Nur dann können sie ein höheres energetisches Niveau annehmen. Das geht nur, wenn das Valenzband noch nicht vollständig mit Elektronen besetzt ist (Metall), sich Valenz- und Leitungsband überlappen (Metall) oder zwischen Valenz- und Leitungsband nur eine sehr kleine Bandlücke vorliegt (Halbmetall), denn so sind noch höhere Energiewerte verfügbar. Isolatoren kann man dadurch erklären, dass eine besonders große Bandlücke vorliegt, und Halbleiter weisen dann eine kleinere Bandlücke auf, die z.B. durch Zufuhr von thermischer Energie überwunden werden kann (siehe auch Abbildung 1).

Der Ursprung der Bandlücke

Der Grund dafür, dass Bandlücken auftreten, liegt in den Wechselwirkungen zwischen den Elektronen und dem Kristallgitter. Die Elektronen lassen sich als Materiewellen interpretieren und somit kommt es, wenn die Bragg-Bedingung erfüllt ist, zu Bragg-Reflexionen. Das heißt: Trifft eine Elektronenwelle auf einen Gitterpunkt, so wird diese unter den entsprechenden Bedingungen reflektiert und im Rahmen dieser Bragg-Reflexionen kommt es zur Ausbildung stehender Wellen. Genau diese stehenden Wellen sind die Ursache der Bandlücken, denn Bandlücken sind letztendlich Bereiche, in denen stehende Wellen auftreten. Betrachtet man einen Kristall und setzt voraus, dass die Elektronenwellen sich orthogonal zu den Gitterebenen ausbreiten, so erhält man $k = \pm \frac{n\pi}{d}$ als Bedingung, wobei k die Wellenzahl und d der Abstand der Gitterebenen ist.

Das Kronig-Penney-Modell

Das Kronig-Penney-Modell soll eine Betrachtung der Bandstrukturen ermöglichen. Hierfür werden die folgenden Vereinfachungen vorgenommen:

1. Es wird ein linearer/eindimensionaler und unendlicher Kristall angenommen.
2. Das periodische Potenzial wird durch rechteckige Potenzialtöpfe genähert.
3. Später wird das periodische Potenzial mit Hilfe von δ -Funktionen genähert.

Das periodische Potenzial lässt sich durch die periodische Anordnung der positiv geladenen Ionenrümpfe erklären (siehe Abbildung 2).

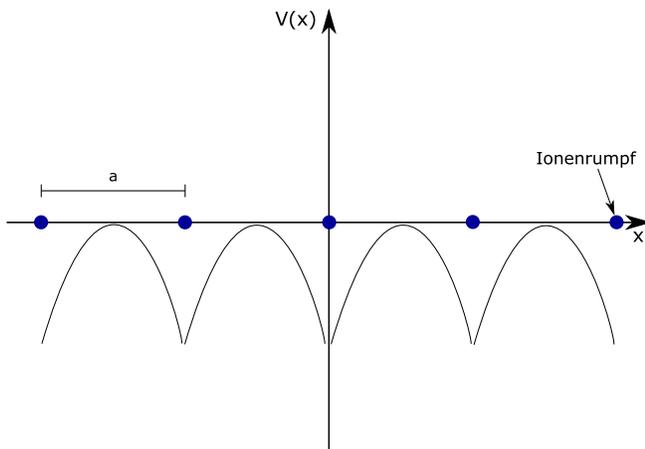


Abbildung 2: Das periodische Potenzial in einem eindimensionalen Kristall

Anhand von Abbildung 3 sieht man, dass es in dem Ergebnis der Vereinfachungen nun zwei sich immer wiederholende Bereiche (I und II) gibt. Ziel des Kronig-Penney-Modells ist es, für diese Bereiche separat die stationäre Schrödingergleichung aufzustellen und letztendlich mit Hilfe von Randbedingungen eine Lösbarkeitsuntersuchung des entstehenden Gleichungssystem durchzuführen. Indem man die verschiedenen potenziellen Energiewerte in die stationäre Schrödingergleichung einsetzt

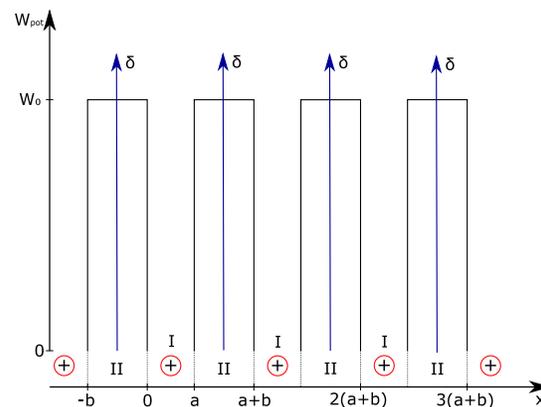


Abbildung 3: Die Vereinfachungen durch das Kronig-Penney Modell

$$\frac{d^2\psi_1}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}W\psi_1 = 0 \Rightarrow \psi_1'' + \alpha^2\psi_1 = 0 \quad (\text{Für I})$$

$$\frac{d^2\psi_2}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}(W - W_0)\psi_2 = 0 \Rightarrow \psi_2'' - \beta^2\psi_2 = 0 \quad (\text{Für II}),$$

erhält man mit Hilfe des Bloch-Theorems (ein Ansatz für Wellengleichungen im periodischen Potenzial) und der Randbedingungen (Stetigkeit von $\psi_{1/2}$ und $\psi'_{1/2}$ an den Rändern der Bereiche) letztendlich, nachdem alle Vereinfachungen vorgenommen wurden, Gleichung 1.

$$P * \frac{\sin(\alpha a)}{\alpha a} + \cos(\alpha a) = \cos(ka) \quad (1)$$

Damit diese erfüllt ist und somit erlaubte Energiewerte vorliegen, muss die linke Seite der Gleichung zwischen -1 und $+1$ liegen, da dies dem Wertebereich des Kosinus entspricht, der auf der rechten Seite der Gleichung vorliegt. Um die Bandstruktur nun grafisch zu veranschaulichen, definiert man die Funktion $f(\alpha a) = P * \frac{\sin(\alpha a)}{\alpha a} + \cos(\alpha a)$, wodurch sich Abbildung 4 ergibt, in der man nun sehen kann, dass die Bereiche der Funktion $f(\alpha a)$, die zwischen -1 und $+1$ liegen, die Energiebänder darstellen und die Bereiche dazwischen die Bandlücken sind.

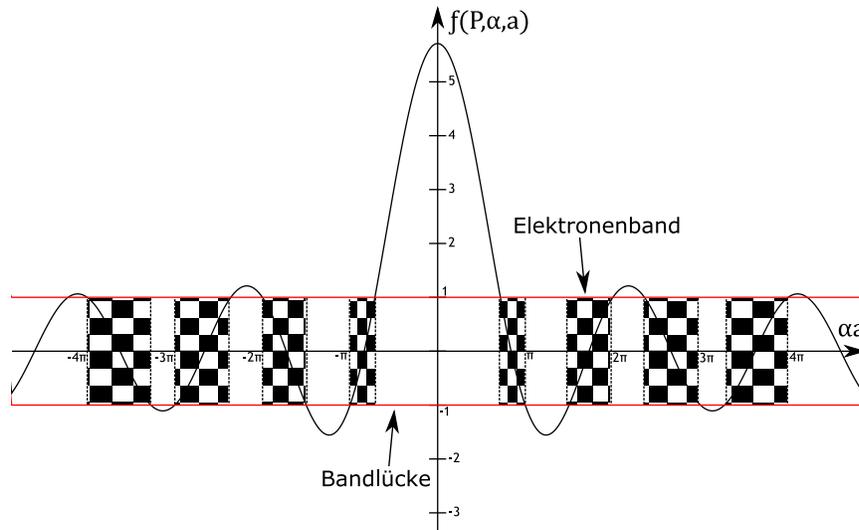


Abbildung 4: Die Funktion $f(\alpha a)$ mit $P = \frac{3\pi}{2}$ mit den markierten Energiebändern, die sich durch die eingezeichneten Horizontalen ergeben

Die Unterschiede zwischen dem Kronig-Penney-Modell und der Realität

Unter den vereinfachenden Annahmen, die für das Kronig-Penney-Modell getroffen wurden, gibt es zwei, die dafür sorgen, dass es erhebliche Unterschiede zwischen der realen und der durch das Kronig-Penney-Modell hergeleiteten Bandstruktur gibt:

1. Ein echter Kristall ist nicht unendlich.
2. Ein echter Kristall ist nicht eindimensional, sondern dreidimensional.

Die Tatsache, dass ein Kristall nicht unendlich ist, führt dazu, dass bei der Herleitung des Kronig-Penney-Modells (genauer bei der Anwendung des Bloch-Theorems) zusätzlich neben dem periodischen

Potenzial noch die Periodizität der Kristalllänge L berücksichtigt werden muss. Dies führt zu einer Bedingung für die k -Werte, die den Energiewerten zugeordnet werden. Die Bedingung lautet $k = \frac{2n\pi}{L}$. Die Dreidimensionalität hat hingegen zur Folge, dass z.B. in der Diamantstruktur (z.B. bei Silizium) nicht für jede Ausbreitungsrichtung dieselbe Periodizität der Ionenrümpfe vorliegt. Damit muss man bei der Darstellung der realen Bandstruktur die Richtung des Wellenvektors \vec{k} beachten (die Bandstruktur wird meistens mit Hilfe der Energie in Abhängigkeit von \vec{k} dargestellt). Des Weiteren liegen durch die Dreidimensionalität bis zu neun Unterbänder vor.

Quellen

- Charles Kittel: *Einführung in die Festkörperphysik*, 9. Auflage, Oldenbourg Verlag
- Ibach, Lüth: *Festkörperphysik: Einführung in die Grundlagen*, 7. Auflage, Springer-Verlag
- H.-G. Wagemann, A. Schmidt: *Grundlagen der optoelektronischen Halbleiterbauelemente*, Springer-Verlag

4.5 Metalle

Farida Negm

Betreuer: Gregor Angeloni

Die Vielfalt der Metalle und Möglichkeiten ihrer Verwendung aufgrund ihrer Eigenschaften sind immens. Deswegen sind sie weit verbreitete Werkstoffe, z.B. im Fahrzeugbau, in der Elektrotechnik und in der Bauindustrie. So prägte z.B. die Entwicklung der Herstellung und Bearbeitung bestimmter Metalle ganze Entwicklungsepochen wie die Bronzezeit oder die Eisenzeit.

80% aller Elemente des Periodensystems sind Metalle. Da ihre Ionisierungsenergie klein ist, ordnen sich die Ionenrümpfe zu einem Metallgitter, das die Kristallstruktur des Metalls ausmacht. Bei der metallischen Bindung gibt jedes Metallatom mindestens ein Valenzelektron ab und erreicht Edelgaskonfiguration. Die daraus entstandenen Metallkationen ordnen sich zu Atomrümpfen, die sich in der dichtesten Kugelpackung anordnen können. Insbesondere wird dies auch ermöglicht durch die Eigenschaft der metallischen Bindung, ungerichtet zu sein. Die frei beweglichen Elektronen bewegen sich im Modell der Drude-Lorentz-Theorie zwischen den Atomrümpfen als Fermigas. Es gibt zwei Kristallstrukturen mit dichtester Kugelpackung, nämlich die kubisch-dichteste und hexagonal-dichteste Packung, bei denen die Raumerfüllung 74% ist. Viele Metalle, vor allem homoatomare, ordnen sich mit maximaler Raumerfüllung. Allerdings haben nicht alle Metalle dichtest gepackte Strukturen. Die kubisch-raumzentrierte Packung hat eine ähnliche effektive Raumerfüllung, nämlich 68%. Daher nehmen manche Metalle auch diese Struktur an, wenn es aufgrund der Elektronenverteilung günstig ist. Die Gitterstrukturen beeinflussen die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Metalle.

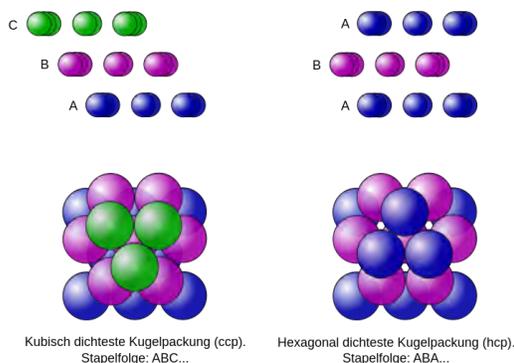


Abbildung 1: Links: Kubisch dichteste Packung (ccp) mit der Stapelfolge ABC...

Rechts: Hexagonal dichteste Packung (hcp) mit der Stapelfolge ABA...

Die elektrische Leitfähigkeit von Metallen ist sehr gut. Einfach gesprochen bewegt sich beim Anlegen einer Spannung das Fermigas und der Strom kann durch den Ladungsübertrag fließen. Im Energiebändermodell gesehen ist bei Metallen die Bandlücke sehr klein oder die Energiebänder überlappen sich sogar. So sind die Elektronen über die Bänder delokalisiert und können Strom leiten.

Metalle haben einen positiven Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstands ρ , d.h. die elektrische Leitfähigkeit σ nimmt nach der Formel $\sigma = \frac{1}{\rho}$ bei Erhöhung der Temperatur ab, denn die Atomrümpfe des Metallgitters führen stärkere Wärmeschwingungen aus, was dann zu einem erhöhten elektrischen Widerstand führt, da die Elektronen mit den Phononen wechselwirken können.

Die Valenzelektronen transportieren nicht nur Ladung, sondern auch Energie. Das Fermigas kann auch gut Wärme leiten. Die Elektronengaswolke des Metalls kann auch die Wärme leiten, da die Elektronen sehr beweglich sind.

Nach dem Wiedemann-Franz Gesetz, $\lambda/\sigma = L \cdot T$ (λ Wärmeleitfähigkeit, σ elektrische Leitfähigkeit, L Lorentzzahl, T Temperatur) ist das Verhältnis zwischen der Wärme- und elektrischen Leitfähigkeit proportional zur Temperatur und unabhängig vom Material.

Der metallische Glanz und die Reflexion entstehen, indem die Elektronen die gesamte auftreffende Strahlung absorbieren, wodurch das Elektronengas in Schwingung gerät, vergleichbar mit der Plasmaschwingung, und in Folge emittieren, d.h. sie können Licht aller Wellenlängen reflektieren. Für diese Reflexion gibt es eine Grenzfrequenz $\omega_0 = \sqrt{\frac{ne^2}{\epsilon m}}$ (Langmuir-Frequenz). Man sieht, dass sie nur von der Teilchendichte abhängt. In metallischen Festkörpern liegt sie bei Elektronendichten von $10^{28} m^{-3}$ im Bereich von $5 \cdot 10^5 s^{-1}$, also im UV-Bereich. Licht im optischen Bereich wird reflektiert. Gold stellt eine Ausnahme dar: Die Langmuir-Frequenz liegt im sichtbaren, nämlich im türkisen Bereich, wodurch das reflektierte Licht gelb erscheint und Gold den typischen Glanz verleiht.

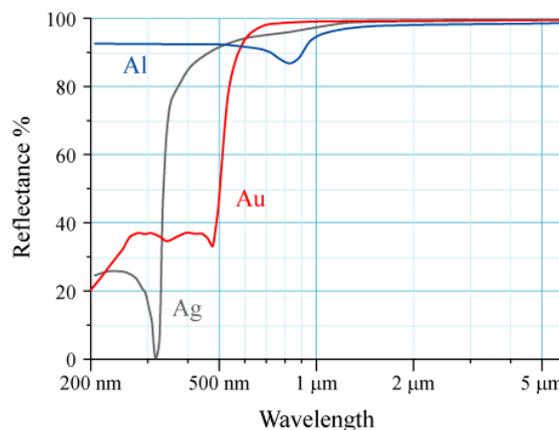


Abbildung 2: Reflexionsvermögen

Metalle können verformt werden, ohne dabei zu reißen oder beschädigt zu werden, sie sind also *duktil*. Das liegt daran, dass die Atomrümpfe sich bei Einwirkung von größeren Kräften gegeneinander verschieben lassen, ohne dabei wie z.B. Salze elektrostatische Repulsion aufzubauen.

Legierungen sind Stoffgemische aus mindestens zwei Komponenten mit metallischen Eigenschaften. Sie werden durch Mischen der Komponenten im schmelzflüssigen Zustand und anschließendes Abkühlen hergestellt. Häufig verwendete Legierungen sind z.B. Stahl (Eisen und 2,06% Kohlenstoff), Messing (Kupfer und Zink), Bronze (Kupfer und Zinn) und Weißgold (Gold, Palladium, Nickel, Kupfer und Silber).

Quellen

- Dieter Meschede: *Gerthsen Physik*, 24. überarbeitete Auflage, Springer-Verlag, Heidelberg, 2010
- http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/11/aac/vorlesung/kap_5/vlu/metallkristalle.vlu/Page/vsc/de/ch/11/aac/vorlesung/kap_5/kap5_8/reinmetalle/kap58_6.vscml.html (16.8.15)
- <http://uni-protokolle.de/Lexikon/Legierung.html> (16.8.15)
- http://lamp.tu-graz.ac.at/~hadley/ss1/studentpresentations/Bandstrukturen_Haas_Rosker09.pdf (16.08.2015)
- <http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/metalle/metalle.htm> (16.8.15)
- Erste Abbildung: https://de.wikipedia.org/wiki/Dichteste_Kugelpackung#/media/File:DichtesteKugelpackung.svg (16.08.2015)
- Zweite Abbildung: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9d/Image-Metal-reflectance.png> (02.11.2015)

4.6 Halbleiter

Felix Philipp Zinn
 Betreuer: Helmar Becker

Definition

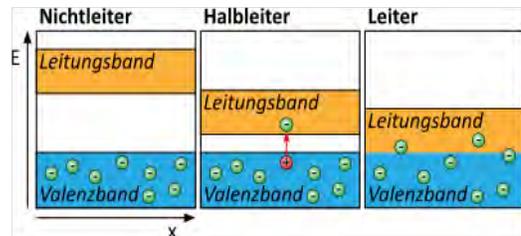
Halbleiter unterscheiden sich von Leitern und Isolatoren vor allem durch ihren spezifischen Widerstand ρ , der in einem Zwischenbereich liegt. Man unterscheidet reine Halbleiter, welche Elemente der vierten Hauptgruppe des Periodensystems sind (v.a. Si, Ge), und Verbindungshalbleiter. Sie sind Verbindungen von Elementen der dritten und fünften Hauptgruppe, diese werden auch III-V-Halbleiter genannt (v.a. GaAs, GaInP).

	Leiter	Halbleiter	Isolatoren
Spezifischer Widerstand	$< 10^1$	$10^1 - 10^{11}$	$< 10^{11}$

Bändermodell

Die Bänder beschreiben verschiedene Energiezustände, die Elektronen in einem Festkörper annehmen können. Bei Leitern überlappen sich die Bänder und die Elektronen können frei fließen. Bei Halbleitern und Isolatoren befindet sich zwischen Leitungs- und Valenzband eine Bandlücke. Bei Isolatoren ist sie so hoch ($> 4eV$), dass es den Elektronen fast unmöglich ist, in das Leitungsband aufzusteigen. Bei Halbleitern kann die Bandlücke ($0,1 - 4eV$) durch Energiezufuhr (Licht oder Wärme) von den Elektronen überwunden werden.

Elektronen im Leitungsband sind frei beweglich. Die Ladungsträgerdichte ist bestimmend für die Leitfähigkeit. Sie gibt an, wie viele Ladungsträger sich in einem bestimmten Volumen befinden.



Eigenleitung

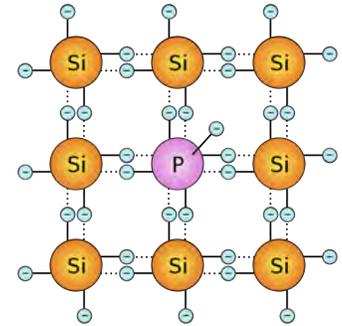
Die freien Elektronen des Halbleiteratoms bilden kovalente Bindungen aus und erreichen eine volle Valenzschale. Am absoluten Nullpunkt sind die Elektronen fest an den Kern gebunden, somit gibt es keine freien Ladungsträger und die Eigenleitfähigkeit ist null. Steigt die Temperatur, so nehmen einzelne Elektronen Energie auf und werden zu freien Ladungsträgern. Zusätzlich entsteht an der Stelle, an der

dieses Elektron fehlt, ein sogenanntes Loch, das sich ebenfalls durch Nachrücken von Elektronen bewegen kann und zur Leitfähigkeit beiträgt. Diesen Effekt nennt man Elektron-Loch-Paarbildung.

Die Leitfähigkeit nimmt mit steigender Temperatur zu, ab einer gewissen Temperatur sind die Gitterschwingungen jedoch so groß, dass die Leitfähigkeit wieder abnimmt.

Dotierung

Als Dotierung bezeichnet man die gezielte Verunreinigung eines Halbleiters durch „Einbauen“ eines Atoms einer anderen Hauptgruppe. Bei der vierten Hauptgruppe (Si, Ge) dotiert man mit Elementen der III. oder V. Hauptgruppe. Dadurch wird die Leitfähigkeit des Halbleiters erhöht. Der Dotierungsgrad (Verhältnis von Halbleiteratomen zu Dotierungsatomen) bei Silizium wird üblicherweise zwischen $10'000 : 1$ und $10'000'000 : 1$ gewählt.



Durch die Dotierung mit einem Element der fünften Hauptgruppe (Donator) steht ein freies Elektron zur Verfügung, das nicht für eine Bindung benötigt wird. Ein solcher Halbleiter wird als n -Halbleiter bezeichnet, da er zusätzliche negative Ladungsträger einbringt (Majoritätsträger).

Bei der Dotierung mit einem Element der dritten Hauptgruppe (Akzeptor) entsteht ein Loch. Solche Halbleiter werden als p -Halbleiter bezeichnet. Durch die Dotierung von Halbleitern wird die Ladungsträgerdichte des Stoffes stark erhöht.

pn -Übergang

Wenn man einen n -Halbleiter und einen p -Halbleiter verbindet, erhält man einen pn -Übergang. Dieser bildet eine Diode, welche Strom nur in eine Richtung durchlässt; in die andere kann nur ein sehr kleiner Strom fließen, diese Richtung wird als Sperrrichtung bezeichnet.

Liegt keine Spannung an, so entsteht aufgrund von Diffusion eine Verarmungszone mit einem elektrischen Feld (Raumladungszone), in dem keine freien Ladungsträger existieren. Bei angelegter Spannung in Sperrrichtung können Majoritätsträger die Sperrschicht nicht passieren, da sie zur Spannungsquelle hingezogen werden und die Raumladungszone breiter wird, nur die wesentlich geringer vorhandenen Minoritätsträger können durch die Sperrschicht hindurch fließen. Ist die Diode in Durchlassrichtung geschaltet, so wandern die freien Majoritätsladungsträger aufeinander zu, die Raumladungszone wird abgebaut und Elektronen und Löcher kombinieren, ein Strom fließt.

Bei der LED (Licht-emittierende Diode) wird die dabei freiwerdende Energie in Form von Photonen abgegeben. Die Wellenlänge und somit die Farbe hängen von der Energiedifferenz der Energieniveaus ab.

Transistor

Ein bipolarer Transistor besteht aus drei unterschiedlich dotierten Halbleiterschichten (n und p) und besitzt zwei pn -Übergänge. So entstehen npn - oder pnp -Transistoren. Die äußeren Schichten bezeichnet man als Emitter E und Kollektor C , die mittlere Schicht wird Basis B genannt. Transistoren werden als Schalter und Verstärker eingesetzt.

Wird eine Basis-Spannung angelegt, wird die Verarmungszone zwischen Basis und Emitter abgebaut. Nur ein sehr kleiner Teil der vom Emitter abgegebenen Elektronen rekombiniert in der Basisschicht, ein Großteil fließt über den Kollektor ab. So kann über einen kleinen Basisstrom ein großer Kollektorstrom gesteuert werden.

Als praktische Beispiele haben wir zwei Transistorschaltungen selbst aufgebaut.

Kristalline und organische Halbleiter

Kristalline Halbleitermaterialien wie Silizium und Germanium bilden eine Diamantstruktur (kovalente Bindungen), Verbindungshalbleitermaterialien eine Zinkblende-Struktur (kovalente und ionische Bindungen). Bei organischen Halbleitermaterialien existieren nur van-der-Waals-Kräfte, die schwächer sind als kovalente Bindungen. Es ergeben sich andere elektronische, thermodynamische und mechanische Eigenschaften. Organische Materialien sind weich und zerbrechlich. Zudem sind die Ladungsträgerdichte und -beweglichkeit geringer.

Quellen

- Erste Abbildung: <https://lp.uni-goettingen.de/get/image/6798> (25.08.2015)
- Zweite Abbildung: https://de.wikipedia.org/wiki/Dotierung#/media/File:Schema_-_n-dotiertes_Silizium.svg (01.09.2015)
- *Duden, Basiswissen Schule Physik*, ISBN: 978-3-411-71464-3
- Wikipedia-Artikel zu: Halbleiter, Bändermodell, Ladungsträgerdichte, Leuchtdiode, Eigenleitungs-dichte (21.08.2015)
- <http://elektronik-kurs.net/> zu: Halbleiter (Definition, Eigenschaften), Dioden (22.08.2015)
- http://www.chemie.de/lexikon/Halbleiter.html#Direkte_und_Indirekte_Halbleiter (23.08.2015)
- <http://www.frustfrei-lernen.de/elektrotechnik/spezifischer-widerstand.html> (28.08.2015)
- <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/grd/1003191.htm> (29.08.2015)
- <http://www.wissen.de/lexikon/spezifischer-widerstand> (23.08.2015)
- <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/6779> (28.08.2015)
- <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/bau/0201113.htm> (28.08.2015)
- <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/bau/0201291.htm> (28.08.2015)
- <http://www.elektronikinfo.de/strom/bipolartransistoren.htm> (29.08.2015)

4.7 Supraleiter

Stefan Tauchnitz
Betreuer: Jan Fotakis

Die Verflüssigung von Helium bei einer Temperatur von 4.1 K (-269.05°C) durch Onnes im Jahr 1909 führte zur vollkommen unvorhergesehenen Entdeckung der Supraleitung von Quecksilber. Durch die Messung des Abklingens eines Dauerstroms in einem Quecksilberring unter 4.2 K, die sogenannte kritische Temperatur von Quecksilber (T_c), stellte er fest, dass der Widerstand so klein war, dass er ihn nicht messen konnte. Bei späteren Untersuchungen wurde festgestellt, dass der Widerstand um mehr als siebzehn Zehnerpotenzen abfällt und als verschwunden angesehen werden kann. Es war kein langsamer Widerstandsabfall, sondern ein abrupter Widerstandssprung, der sich unterhalb der kritischen Temperatur ereignete und mit den damaligen Theorien nicht erklärt werden konnte. Dieser Abfall ist in Abbildung 1 zu sehen.

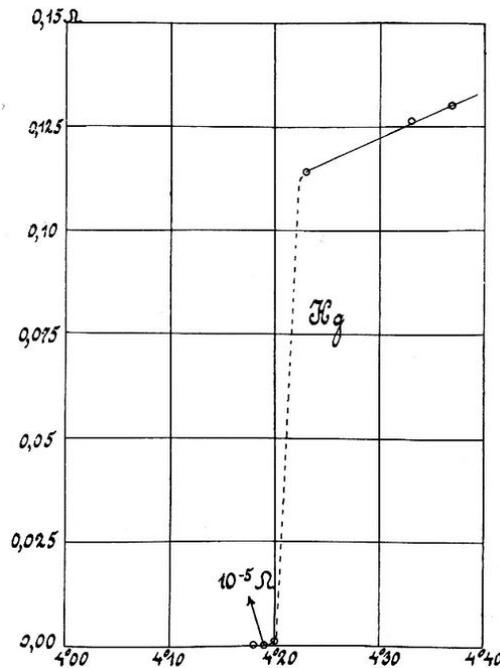


Abbildung 1: Widerstandsabfall von Quecksilber

In den folgenden Jahren wurden für viele weitere Metalle und andere Verbindungen, wie Metalloxide, supraleitende Eigenschaften nachgewiesen. Bis heute werden neue Supraleiter mit immer höheren Übergangstemperaturen entdeckt. So entdeckten Forscher des Max-Planck-Institutes für Chemie in Zusammenarbeit mit der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz erst vor einigen Monaten, dass Schwefelwasserstoff (H_2S) bei rund 1.5 Millionen Bar schon bei 203,15 K supraleitend wird und damit aktuell der Supraleiter mit der höchsten Übergangstemperatur ist [1]. Supraleitung kann in vielen Phasen wie Metallen, Keramiken und Polymeren auftreten.

1957 entwickelten John Bardeen, Leon N. Cooper und John R. Schrieffer die BCS-Theorie, welche eine umfassende Erklärung für das bis dahin unverstandene Phänomen der Supraleitung lieferte. Hierbei beziehen sie sich auf den Aufbau des Metalls, welches aus positiv geladenen und in einem Gitter angeordneten Atomrümpfen (welche schwach schwingen) und einem sich frei bewegenden Elektronengas besteht. Ein negativ geladenes Elektron zieht die umliegenden Atomrümpfe an und polarisiert so das Ionengitter entlang seiner Bewegung. Die Polarisation ist abhängig von der Trägheit, mit der sich das Gitter polarisieren lässt. Diese Trägheit ist abhängig von der Eigenfrequenz und daher in letzter Instanz von der Atommasse. Dieses veränderte Ladungspotential zieht ein weiteres Elektron an. Ein zweites Elektron wird durch die erhöhte Dichte an positiv geladenen Metallrümpfen angezogen. Je schneller sich das erste Elektron bewegt, desto geringer ist die Polarisation des Gitters aufgrund dessen Trägheit gegenüber Deformierung. Erst ab der Übergangstemperatur T_c sind die Elektronen langsam genug, um das Gitter ausreichend zu polarisieren. Nur in einem ausreichend stark polarisiertem Gitter überwiegt die Anziehung der erhöhten Atomrumpfdichte über die Abstoßung der beiden Elektronen. Daher ist auch erst ab dieser geringen Temperatur Supraleitung möglich.

Diese Elektronen sind streng korreliert und heißen Cooper-Paare. Sie bilden ein neues Teilchen mit komplett neuen Eigenschaften. Ihre Masse beträgt die doppelte Elektronenmasse, ihre Ladung ist die doppelte Elektronenladung, ihr Gesamtimpuls im feldfreien Raum ist null und sie haben keinerlei

Gesamtspin, da die zwei Elektronen entgegengesetzten Individualspin haben. Daher handelt es sich um Bosonen und damit folgen sie der sogenannten Bose-Einstein-Statistik. Das heißt, dass sie einen gemeinsamen quantenmechanischen Zustand besetzen. Aus diesem Grund ist ihr Impuls und in Folge dessen auch die zugeordnete Wellenlänge sowie die Frequenz aller Cooper-Paare in einem Supraleiter gleich. Durch Untersuchungen konnte die durch die BCS-Theorie vorhergesagte Abhängigkeit zwischen der Übergangstemperatur T_c und der Atommasse m (der sog. Isotopeneffekt) nachgewiesen werden. Bei Messung mit Isotopen von Zinn wurde gefunden, dass die Übergangstemperatur proportional zur Wurzel der Masse ist. Für Nebengruppenmetalle sind deutlich andere Abhängigkeiten sichtbar.

Da Cooper-Paare streng korreliert sind, sind auch ihre Phasen gleich, das bedeutet, dass ihre Schwingung exakt gleich ist. Die Phase kann umso genauer bestimmt werden, je öfter ein Teilchen in dieser Phase vorhanden ist. Diese Phasengleichheit hat zur Folge, dass es innerhalb des Supraleiters keine Gebiete gibt, die zum Beispiel phasenversetzt laufen. Daher verhalten sich alle Cooper-Paare auch unter dem Einfluss einer angelegten Spannung exakt gleich und man misst daher keine Querströme oder ähnliches.

Anwendungen für Supraleiter, die schon heute im großen Maßstab genutzt werden, sind zum Beispiel Elektromagneten für die Forschung (z.B. im Large Hadron Collider am Cern), die aufgrund der supraleitenden Eigenschaften sehr wenig Energie verbrauchen und ein zeitlich konstantes Magnetfeld erzeugen.

Quellen

- Abbildung: https://de.wikipedia.org/wiki/Supraleiter#/media/File:Superconductivity_1911.gif (01.09.2015)
- Werner Buckel: *Supraleitung*, 5. überarbeitete und ergänzte Auflage, VCH-Verlag, 1993
- <http://www.spektrum.de/lexikon/physik/bcs-theorie/1328>, 1957 (28.08.2015)
- <http://www.mpg.de/9362409/supraleitung-schwefelwasserstoff-hochdruck> (28.08.2015) [1]

4.8 Supraleiter im Magnetfeld

Paula Kilp
Betreuer: Jan Fotakis

Neben dem Verschwinden des elektrischen Widerstandes auf $R = 0$ haben Supraleiter andere spezifische Eigenschaften. Folgendes betrifft das Verhalten von Supraleitern in Magnetfeldern.

Bringt man ein supraleitendes Material unterhalb seiner kritischen Temperatur ($T < T_c$) in ein Magnetfeld, wird das Magnetfeld aus dem Inneren verdrängt. Die Eigenschaft, inwiefern ein Material von äußeren Magnetfelder beeinflusst, heißt *magnetische Suszeptibilität*. Diese Eigenschaft ist durch einen Zahlenwert χ charakterisiert, wobei für Supraleiter $\chi = -1$ gilt, was sie zu einem sogenannten idealen Diamagneten macht.

Um zu präzisieren, was genau in einem Supraleiter passiert, muss zwischen Supraleitern 1. und 2. Art unterschieden werden, die sich wie folgt definieren:

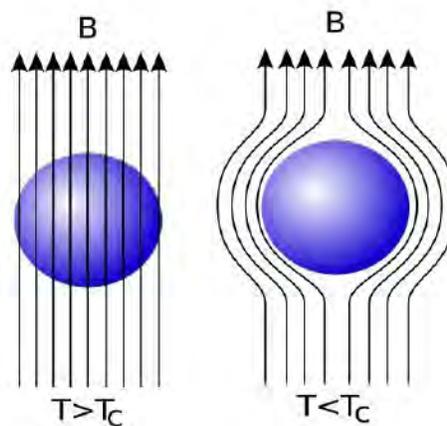


Abbildung 1: Verdrängung des Magnetfeldes aus dem Inneren des Supraleiters unterhalb der kritischen Temperatur

1. Art

Supraleiter 1. Art sind unter Vernachlässigung der Probengeometrie im Inneren feldfrei. Sobald die Supraleitung einsetzt, wird ein umgebendes Magnetfeld aus der Probe bis auf eine dünne Randschicht verdrängt. Dieses Phänomen wird als Meißner-Ochsenfeld-Effekt bezeichnet. Dieser Zustand (Meißner-Phase) hält so lange an, bis das Magnetfeld die kritische Feldstärke B_c (c für „critical field“) übersteigt. An diesem Punkt bricht die Supraleitung zusammen. B_c ist von der Temperatur des Supraleiters abhängig, was in Abb. 1 und 2 dargestellt ist.

Zu diesem Typ gehören supraleitende Elemente wie Vanadium (V), Zinn (Sn) oder Quecksilber (Hg).

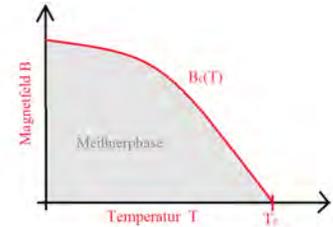


Abbildung 2: Phasendiagramm eines Supraleiters 1. Art

2. Art

Diese Art von Supraleitern tritt zunächst ebenfalls in die Meißner-Phase (Phase während des Meißner-Ochsenfeld-Effektes) ein. Wird jedoch eine erste kritische (Magnet)-Feldstärke B_{c1} überschritten ($B_{c1} < B_c$), tritt der Supraleiter in die sogenannte Shubnikov-Phase ein, in der das Magnetfeld quantisiert nach und nach in das Innere des Materials eindringt. In diesen sogenannten „Flusschläuchen“ setzt die Supraleitung lokal aus und in dem Material bilden sich Zonen mit unterschiedlichen Phasen.

Der Fluss eines Flusschlauches ist gegeben durch das Flussquant:

$$\Phi_0 = \frac{h}{2e} = 2 \cdot 10^{-11} T \text{ cm}^2$$

Somit muss auch die gesamte Feldstärke des eindringenden Magnetfeldes einem ganzzahligen Vielfachen des Flussquants $n \cdot \Phi_0$ entsprechen.

Wird eine zweite kritische Feldstärke B_{c2} überschritten, geht der Supraleiter wieder in den normalleitenden Zustand über.

Bei einer zu großen Stromdichte $j > j_c$ bricht die Supraleitung ebenfalls zusammen. Dies hängt damit zusammen, dass die kinetische Energie der Ladungsträger (Cooper-Paare) die Bindungsenergie der Cooper-Paare übersteigt und deren Bindung aufbricht.

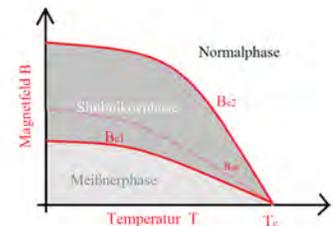


Abbildung 3: Phasendiagramm eines Supraleiters 2. Art

Supraleiter 1. und 2. Art lassen sich praktisch durch zwei Größen unterscheiden:

Die **Eindringtiefe** λ_L gibt an, wie weit das Magnetfeld in den Supraleiter eindringt.

Die **Kohärenzlänge** ξ gibt die räumliche Ausdehnung eines Cooper-Paares an. Bei Supraleitern zweiter Art beschreibt sie den Durchmesser der Magnetfeldflusschläuche in der Shubnikov-Phase.

Das Verhältnis aus Kohärenzlänge und Eindringtiefe gibt Auskunft darüber, ob es sich um einen Supraleiter erster oder zweiter Art handelt: $\kappa = \frac{\lambda_L}{\xi}$

$$\kappa < \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow \text{Supraleiter 1. Art}$$

$$\kappa > \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow \text{Supraleiter 2. Art}$$

Quellen

- Werner Buckel: *Supraleitung*, 5. überarbeitete und ergänzte Auflage, VCH-Verlag, 1993
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Supraleiter> (01.09.2015)
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Meißner-Ochsenfeld-Effekt> (01.09.2015)
- Erste Abbildung: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b5/EffektMeisnera.svg/525px-EffektMeisnera.svg.png> (01.09.2015)

4.9 Glas und metallische Gläser

Tanja Groß

Betreuer: Gregor Angeloni

Was ist „Glas“?

Dies ist eine häufig gestellte Frage, und eine gute Definition zu finden, gestaltet sich schwieriger, als man vielleicht denken mag. Eine gute Vereinigung stellt der folgende Satz von Horst Scholze dar: „Im physikochemischen Sinn ist Glas eine eingefrorene unterkühlte Flüssigkeit“ [1]. Diese besitzt eine amorphe Struktur (linke Abbildung) im Gegensatz zu vielen anderen Feststoffen, die eine kristalline Struktur aufweisen (rechte Abbildung). Die Ursache dafür ist, dass die Atome des flüssigen Glases bei ausreichend schnellem Abkühlprozess durch die rapide steigende Viskosität der Schmelze nicht genügend Zeit haben, sich zu ordnen.

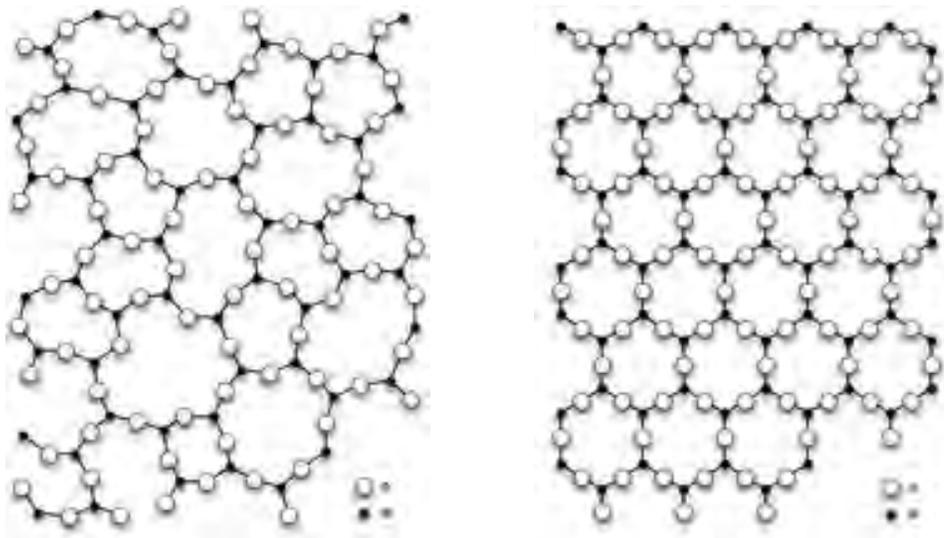


Abbildung 1: links: amorphe Struktur, rechts: kristalline Struktur

Durch das Hinzufügen verschiedener Chemikalien kann man die physikalischen und chemischen Eigenschaften wie z.B. die Farbe des Glases gezielt verändern. Dadurch kann man es vielseitig einsetzen. Somit ist Glas sowohl ein häufig eingesetzter Funktions- als auch Konstruktionswerkstoff.

Bei Glas unterscheidet man zwischen zwei Komponenten: Netzbildner und Netzwerkwandler. Zu den Netzbildnern gehören beispielsweise Siliziumdioxid (Quarzsand), Boroxid und Phosphor-pentoxid. Netzbildner formen die Grundstruktur. Sie können ohne weitere Zusatzstoffe ein Glas bilden. Die Netzwerkwandler stellen einen Zusatz dar und brechen die polymere Struktur auf. Für

diese nutzt man meistens Metalloxide. Besonders häufig genutzt wird Soda, welches in der Schmelze zu Na_2O reagiert und als Flussmittel wirkt. Stabilisatoren können sich sowohl wie Netzwerkbildner als auch wie Netzwerkwandler verhalten, aber nicht ohne weiteren Zusatz ein Glas bilden. Die genannten Komponenten beeinflussen, wie oben erwähnt, die physikalischen und chemischen Eigenschaften, insbesondere verursachen sie eine Absenkung der Schmelztemperatur und einen Anstieg des Wärmeausdehnungskoeffizienten.

Glas wird im Alltag beispielsweise als Trinkglas, optisches Glas für Brillen und Kameras oder im Labor als Funktionswerkstoff genutzt. Im Bauwesen wird es als Dämmstoff oder zum Verstärken von Kunststoffen eingesetzt. Diese Alltagsgläser enthalten als Netzwerkbildner meist Siliziumdioxid. Die mechanische Beanspruchungsgrenze von Glas bezeichnet man als *Festigkeit*. Man unterscheidet zwischen Dauerfestigkeit, Druckfestigkeit und Zugfestigkeit. Häufig verwendet werden z.B. Kalknatrongläser (Normalglas), Borosilikatglas und Bleiglas. Kalknatronglas nutzt man im Alltag, da seine Oberfläche glatt ist und es eine sehr gute Lichtdurchlässigkeit hat. Borosilikatgläser verwendet man wegen ihrer geringen Empfindlichkeit gegen Temperaturwechsel häufig im Bauwesen vor allem auch als „feuerfestes Glas“. Bleiglas hingegen ist niederschmelzend und hat eine höhere Dichte als andere Gläser, es wird deshalb in Fensterscheiben in der Radiologie zur Abschirmung eingesetzt. Der Bleianteil verursacht einen hohen Brechungsindex.

Metallische Gläser

Als metallische Gläser bezeichnet man Metalle mit einer glasartigen, amorphen Struktur.

Eine Möglichkeit, metallische Gläser herzustellen, ist, ein glasbildendes Metall mit einer Abkühlrate von 106 K/s abzukühlen, wodurch eine amorphe Struktur entsteht. Dazu benutzt man häufig das Melt-Spinning-Verfahren. Dabei wird eine metallische Schmelze durch eine Düse auf eine wassergekühlte, schnell rotierende Rolle gegossen. Durch dieses Verfahren entstehen maximal $50\mu\text{m}$ dicke Bänder [1].

Durch ihre Glaseigenschaften vereinen die metallischen Gläser die positiven Eigenschaften von Glas und Metall. Sie verfügen über eine besondere Härte und Festigkeit, sind elastisch, haben eine gute Wärmeleitfähigkeit, sind elektrisch leitend und haben, zu Kernen gewickelt, geringe Wirbelstromverluste, was eine besondere Eigenschaft darstellt. Metallische Gläser können auch ferromagnetisch sein, wenn der Anteil an einem magnetischen Metall bei mindestens 40 Atom% liegt. Da die Gläser keine Kristallbaufehler haben, haben diese hervorragende weichmagnetische Eigenschaften.

Die Anwendungsmöglichkeiten von metallischen Gläsern gehen von Warensicherungsetiketten über medizinische Implantate bis hin zu superdünnen Elektronikgehäusen. Auch in Golfschlägern verwendet man metallische Gläser, da diese hochelastisch sind und keine Aufprallenergie aufnehmen. In Warensicherungsetiketten ist nur ein kleines, dünnes Band metallischen Glases enthalten, welches als Sender fungiert und dadurch das Audiosignal bei einem Diebstahl auslöst. In der Medizin werden metallische Gläser verwendet, um biologisch abbaubare Implantate herzustellen, die keine allergene Wirkung haben.

Quellen

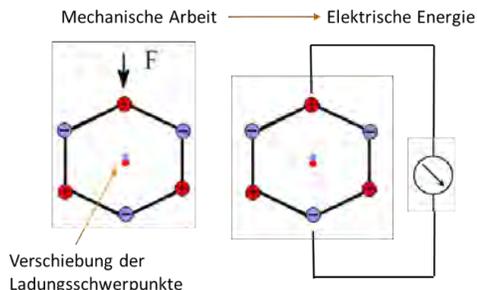
- H. Scholze: *Glas: Natur, Struktur und Eigenschaften*, Springer Verlag
- Linke Abbildung: https://de.wikipedia.org/wiki/Glas#/media/File:SiO2_-_Glas_-_2D.png (26.06.2015)
- Rechte Abbildung: https://de.wikipedia.org/wiki/Glas#/media/File:SiO2_-_Quarz_-_2D.png (28.08.2015) [1]

4.10 Piezoelektrischer Effekt

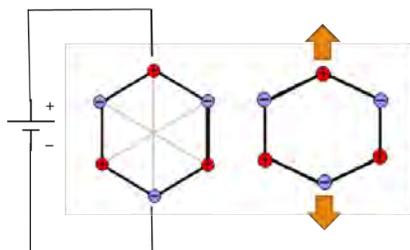
Sonja Farr
 Betreuer: Helmar Becker

Direkter und inverser Piezoeffekt

Der direkte Piezoeffekt beschreibt die Erzeugung von Spannung durch Verformung eines piezoelektrischen Körpers. Wirkt eine mechanische Kraft auf einen piezoelektrischen Körper, so verformt sich dieser, und die Ladungsschwerpunkte der einzelnen Elementarzellen dieses Körpers verschieben sich. Die dadurch auftretenden elektrischen Spannungen summieren sich auf und lassen sich makroskopisch messen. Hierbei ist entscheidend, dass dieser Effekt nur bei einer gerichteten Verformung auftritt, d.h. der Druck darf nicht beliebig angelegt werden, sondern von gegenüberliegenden Seiten.



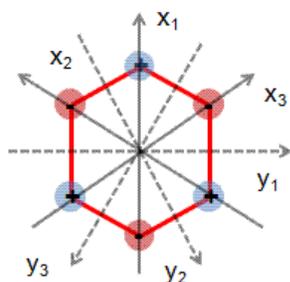
Elektrische Energie → Mechanische Arbeit



Der inverse Piezoeffekt beschreibt die Verformung eines piezoelektrischen Körpers bei Anlegen einer elektrischen Spannung, also die Umkehrung des direkten Piezoeffekts. Wirkt eine elektrische Spannung auf einen piezoelektrischen Körper, so verformt sich dieser. Je nach Richtung der angelegten Spannung dehnt er sich hierbei entweder entlang einer polaren Achse (inverser longitudinaler Piezoeffekt) oder entlang einer nicht-polaren Achse (inverser transversaler Piezoeffekt) aus.

Piezoelektrika

Bei den üblichen Piezoelektrika unterscheidet man zwei Arten: Zum einen gibt es Kristalle, welche piezoelektrische Eigenschaften aufweisen, wie zum Beispiel Quarz. Hierbei ist wichtig, dass nur jene Kristalle durch Druck polarisiert werden können, die mindestens eine polare Achse besitzen. Dieses Kriterium wird von allen Kristallen der nicht-zentrosymmetrischen Gruppen (außer der kubischen Punktgruppe 432) erfüllt.

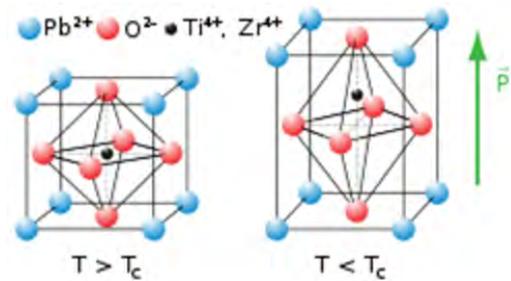


x-Achsen: polar
 y-Achsen: unpolar

Zum anderen gibt es piezoelektrische Keramiken, sogenannte PZT-Keramiken (Blei-Zirkonat-Titanat). Diese werden aus ferroelektrischen Grundstoffen gefertigt. Unterhalb seiner Curie-Temperatur verschiebt sich die Position des Titanatoms im Gitter, dadurch verschieben sich die Ladungsschwerpunkte in den Elementarzellen. Durch diese Strukturänderung entstehen mechanische Spannungen innerhalb des Körpers; es bilden sich kleine Bereiche mit gleicher Polarisation (Weissche Bezirke), um diese Spannung abzubauen. Durch Anlegen eines starken elektrischen Feldes werden diese Domänen nun ausgerichtet. Diese Polung ist remanent, sie bleibt auch nach Abbau des elektrischen Feldes bestehen.

Berechnung

Die dielektrische Polarisation P und damit die Spannung hängt von der mechanischen Spannung bzw. von der mechanischen Verformung S ab und wird mit $P = d \cdot T = e \cdot S$ berechnet. Dabei sind d und e die Tensoren der Verzerrungskoeffizienten bzw. der Spannungskoeffizienten. Äquivalent dazu hängt die mechanische Verformung S von der Stärke des elektrischen Feldes E ab und wird mit $S = d^t \cdot E$ berechnet.



Quellen

- Erste und zweite Abbildung: <http://www.piezoeffekt.de/2crystals.php> (01.09.2015)
- Dritte Abbildung: <http://stilzchen.kfunigraz.ac.at/skripten/comput04/projekte/stm/stm\verb%20homepage/theorie.htm> (01.09.2015)
- Vierte Abbildung: <https://de.wikipedia.org/wiki/Piezoelektrizit%C3%A4t#/media/File:Perovskite.svg> (01.09.2015)
- <http://www.spektrum.de/lexikon/physik/piezoelektrischer-effekt/11270> (01.09.2015)
- http://cfn.physik.uni-saarland.de/Dokumente/Manuals/Piezoelektrischer_Effekt.pdf (01.09.2015)

5 Biologiekurs

Vom Sinn der Sinne beim Menschen

Untersuchungen aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz haben gezeigt, dass das menschliche Gehirn Dinge auf eine Art und Weise erkennt, an die kein heutiger Computer auch nur annähernd heranreicht. Allein der Sehvorgang – die Umgebung zu sehen, ein Gesicht wiederzuerkennen oder eine Landschaft zu betrachten – erfordert eine immense Rechenleistung. Unsere Wahrnehmung und die daraus resultierende Konstruktion eines „Weltbildes“ basiert auf verschiedenen Sinneseindrücken und in der Tat sind unsere gesamten Wahrnehmungsprozesse analytische Höchstleistungen.

Seit Aristoteles (384-322 v. Chr.) unterscheidet man fünf Sinnesmodalitäten: Sehen, Hören, Riechen, Schmecken und Fühlen. Darüber hinaus verfügt der Mensch über weitere Sinne: Gleichgewichtssinn, Temperatursinn, Schmerzsinne und die Körperempfindung / Tiefensensibilität.

Im Kurs waren die Sinneseindrücke der TeilnehmerInnen Ausgangspunkt unserer Überlegungen zu physiologischen Vorgängen bei der Aufnahme von Reizen und deren Verarbeitung. Wir erforschten die Funktionsweise und die Leistungsgrenzen unserer Sinnessysteme und fragten danach, ob (andere) Tiere und auch Pflanzen genauso schmecken, riechen, sehen oder hören können...

Kursleitung

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

Christian Dietz, Wiss. Mitarbeiter in der Abteilung Didaktik der Biowissenschaften an der Goethe-Universität Frankfurt am Main

5.1 Die auditive Wahrnehmung beim Menschen

Thilo Leitzbach
Betreuerin: Laura Pauly

Der adäquate Reiz für das Ohr ist der Schall. Es handelt sich dabei um Schwingungen von Materie. Von einer Schallquelle ausgehend, wird die Energie der Schwingung auf benachbarte Teilchen übertragen und pflanzt sich so fort. Im täglichen Leben begegnet uns Schall überwiegend als Luftdruckschwankung, die sich wellenförmig in alle Richtungen ausbreitet und mit einer Geschwindigkeit von 343 m/s (bei Normaldruck) fortsetzt. Die Amplitude einer Schallwelle gibt dabei Auskunft über die Lautstärke, während die Tonhöhe von der Frequenz bestimmt wird. Man kann drei Schallereignisse einfach unterscheiden: Töne, Klänge und Geräusche. Ein Ton besteht aus einer einzelnen Sinusschwingung, wohingegen ein Klang aus einer Anzahl von Ober- und Untertönen besteht, die um einen Grundton angeordnet sind und somit ein Vielfaches der Grundfrequenz ergeben. Ein Geräusch bezeichnet die verschiedenen Schallereignisse des Alltags, die im gesamten Hörbereich des Menschen liegen. Dieser Hörbereich reicht von 20 Hz bis 16 kHz (20-16.000 Schwingungen pro Sekunde). Der lauteste Ton, der unsere Ohren noch nicht unmittelbar schädigt, hat eine um den Faktor 107 höhere Druckintensität als der leiseste Ton, den wir noch hören können!

Aufbau des menschlichen Ohrs

Das Ohr lässt sich grob in drei Bereiche gliedern, welche unterschiedliche Aspekte des Hörprozesses repräsentieren: Das äußere Ohr, das Mittelohr und das Innenohr. Zum äußeren Ohr gehören zunächst

die Gehörmuschel, der Gehörgang und das Trommelfell, welches die Grenze zum Mittelohr darstellt. Mit dem Trommelfell sind die kleinsten menschlichen Knochen, die Gehörknöchelchen, Hammer, Amboss und Steigbügel verbunden. Der Steigbügel bildet dabei über das ovale Fenster den Übergang zum mit Flüssigkeit gefüllten Innenohr. Dort befindet sich sowohl die *Cochlea* (Hörschnecke) als auch das vestibuläre Labyrinth, welches für den Gleichgewichtssinn zuständig ist. Die Sinneszellen in der *Cochlea* stehen mit Neuronen in Kontakt, die über den *Nervus vestibulocochlearis* die Ableitungen der Reize zum zentralen Nervensystem sicherstellen. Die *Cochlea* ist ein aus drei Schläuchen (*Scala tympani*; *Scala vestibuli*; *Scala media*) aufgebautes Organ, das in zweieinhalb Windungen aufgerollt ist und der Form eines Schneckenhauses ähnelt (siehe Abb. 2). Die *Scala vestibuli* und die *Scala tympani* werden durch das sog. Schneckenloch (*Helikotrema*) miteinander zu einem Kanal verbunden. Die *Scala media* ist über die sog. cochleäre Trennwand, bestehend aus Reissner-Membran, *Corti-Organ* und Basilarmembran, von den beiden anderen Kanälen isoliert. Die Kanäle grenzen sich durch die Zusammensetzung der Flüssigkeiten noch auf eine weitere einzigartige Weise ab. So enthält die *Scala media* eine Flüssigkeit, mit einer hohen Konzentration an Kaliumionen und einer niedrigen Konzentration an Natriumionen.

Aufnahme und Verarbeitung akustischer Reize

Über den Gehörgang werden Schallereignisse als Schallwellen, bzw. als Luftdruckschwankungen an das Trommelfell weitergeleitet. Die Schallenergie im Mittelohr wird also nicht über Luftdruckschwankungen, sondern durch Schwingungen (Vibrationen) des Trommelfells und Bewegungen der Gehörknöchelchen fortgeleitet. Der Trommelfell/Gehörknöchelchen-Apparat passt die Impedanz der Luft an die Impedanz der Flüssigkeit des Innenohrs an. Die Gehörknöchelchen wirken als Hebel. Dadurch übt die Steigbügelfußplatte auf das ovale Fenster eine größere Kraft aus als die durch die Luft ursprünglich am Trommelfell erzeugte. Die Fläche der Steigbügelplatte ist deutlich kleiner als die Fläche des Trommelfells. Da Druck dem Quotienten aus Kraft und Fläche entspricht, wird durch den Bau von Trommelfell und Gehörknöchelchen eine Druckerhöhung erreicht (Mittelohrverstärkung). Die eigentliche Schalltransduktion beginnt im Innenohr in der Cochlea, die das tatsächliche Sinnesorgan darstellt. Durch die Übertragung der Schwingungen an das mit Flüssigkeit gefüllte Innenohr kommt es zu Auf- und Abwärtsbewegungen der cochleären Membranen und des Corti-Organs. Die Bewegungen führen u.a. zur mechanischen Reizung der Sinneszellen im Corti-Organ. Die sog. Haarsinneszellen enthalten Stereozilien, die durch kleinste Bewegungen ausgelenkt werden und in deren Membran mechanisch Kaliumkanäle geöffnet werden. Es reichen hier schon Auslenkungen von so geringem Ausmaße aus, die der Ausmaße eines Wasserstoffatoms entsprechen. Entlang des elektrochemischen Gradienten kommt es zum Einstrom von Kaliumionen in die Haarsinneszellen und somit zur Depolarisation der Membran, die zur Ausschüttung des Neurotransmitters Glutamat führt und nachgeschaltete Nervenzellen chemisch erregen. Die Informationen werden auf diese Weise zum auditorischen Kortex geleitet und dort weiterverarbeitet.

Im praktischen Kursteil wurden durch den Weber- und Rinne-Versuch die Unterscheidung und die Leistungsgrenzen von Luft- und Knochenschalleitung untersucht sowie Experimente zur Lokalisation von Schallquellen durchgeführt. Des Weiteren wurden Schallpegel-Messungen zur Lautstärke von Alltagsgeräuschen durchgeführt.

Literaturquellen

- Adolf Faller, Michael Schünke: *Der Körper des Menschen*, 13. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1999
- Werner Kahle, Michael Frotscher: *Taschenatlas der Anatomie. Band 3. Nervensystem und Sinnesorgane*, 7. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2002

- Robert F. Schmidt, Florian Lang, Manfred Heckmann: *Physiologie des Menschen*, 31. Auflage, Springer Verlag, Berlin u.a. 2011
- Werner Müller, Stephan Frings: *Tier- und Humanphysiologie – Eine Einführung*, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin u.a. 2004
- Stefan Silbernagel, Agamemnon Despopoulos: *Taschenatlas der Physiologie*, 6. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2003

5.2 Echoortung im Tierreich

Benedikt Hartmann

Betreuerin: Laura Pauly

Die Echoortung und ihre Entdeckung

Die Echoortung ist eine Form der akustischen Orientierung. Dabei werden Laute ausgestoßen und die zurückgeworfenen Echos ausgewertet, um Richtung, Entfernung, Größe und Form von Objekten festzustellen. Am höchsten entwickelt ist diese Fähigkeit bei den Fledermäusen (*Microchiroptera*). Entdeckt wurde die Echoortung Ende des 18. Jahrhunderts durch den Naturforscher Lassarò Spallanzì. Er bemerkte, dass geblendete Fledermäuse immer noch in der Lage waren Beute zu fangen, kam jedoch zu der falschen Schlussfolgerung, dass Fledermäuse durch das Echo ihrer Flügel und das Gebrumm der Insekten navigieren. Erst 1938 konnten Donald Griffin und Robert Galambos mit akustischen Geräten nachweisen, dass Fledermäuse Ultraschallrufe benutzen, um sich zurechtzufinden und Insekten nachzustellen.

Echoortungsrufe der Fledermäuse

Erzeugt werden die Ultraschalllaute der Fledermäuse durch ihre Stimmbänder im Kehlkopf. Die Frequenzen und Formen der Laute, welche Fledermäuse durch Mund und/oder Nase ausstoßen, sind vom bevorzugten Jagdgebiet abhängig. Grundsätzlich gilt: Je niedriger die Frequenz des Suchlaufes, um so größer ist die Reichweite und so geringer die Auflösung. Hochfrequente Schreie besitzen demzufolge eine sehr hohe Auflösung, jedoch nur eine geringe Reichweite. Verschiedene Fledermausarten besitzen dabei spezifische Repertoires an Ruflauten. Man unterscheidet hier grob zwischen CF-Fledermäusen (*constant frequency*) und FM-Fledermäusen (*frequency modulated*). Fledermäuse, die in dichter Vegetation jagen, neigen zum Ausstoß von FM-Lauten, welche es ermöglichen potentielle Beutetiere von komplexen Umgebungen wie Blattwerk o.ä. zu differenzieren. CF-Fledermäuse hingegen profitieren von der höheren Reichweite und jagen meist im offenen Luftraum, wobei nur wenige Arten, wie beispielsweise die Hufeisennasen, ausschließlich CF-Laute verwenden. Meist werden die Frequenzen zudem innerhalb einer Lautfolge schon frequenzmoduliert. Die von CF-Fledermäusen ausgestoßenen Echoortungsrufe bleiben meist in der Frequenz konstant. Fledermäuse zeigen zudem eine starke physiologische Anpassung ihres Gehörs an die jeweilige Hauptruffrequenz. Ihr Gehör ist also im Vergleich mit anderen Arten genau auf diese Frequenz spezialisiert und weist ein deutliches Empfindlichkeitsmaximum auf. Bewerkstelligt wird dieses durch eine akustische Fovea, ein großer Bereich innerhalb des Innenohrs, der ausschließlich für die Rezeption des bevorzugten Frequenzbereichs verwendet wird. Normalerweise würde dieser Bereich im Innenohr für die Detektion der Frequenzbereiche einer ganzen Oktave ausreichen. FM-Fledermäuse stoßen stark frequenzmodulierte Laute mit kurzer Reichweite aus, deren Frequenz schnell abfällt. Am Eingang der Ohrmuschel besitzen FM-Fledermäuse einen den CF-Fledermäusen fehlenden *Tragus*, welcher den Gehörgang verschließen kann und die Wahrnehmung der zurückgeworfenen Ultraschalllaute erleichtert. Bei der Beutejagd vieler Arten werden jedoch häufig beide Lautformen miteinander kombiniert.

Lautemission der Fledermaus während des Beutefanges

Die Lautemissionen während eines Beutefanges lassen sich beispielsweise in drei Phasen unterteilen: Innerhalb der Normalflugphase (Geradeausfliegen) werden etwa ein Dutzend Laute ausgestoßen, unterbrochen von ca. 50 ms langen stillen Perioden. Diese Laute durchlaufen ein Spektrum von 20-100 kHz und sind frequenzmoduliert. Bei der Entdeckung eines potentiellen Beutetieres erhöht die Fledermaus die Anzahl der ausgestoßenen Laute auf etwa 100 pro Sekunde, dies wird als Orientierungsphase bezeichnet. In der dritten Phase der Beutejagd ändern sich die Laute in eine nahezu summende Lautemission. Die Intervalle werden kürzer als 10 ms, die Dauer der Impulse sinkt auf 0,5 ms und die Frequenzen liegen bei 25-30 kHz. In der Nähe des Mauls erreichen die Laute eine Intensität von mehr als 120db Schalldruckpegel, was ungefähr der Lautstärke eines Presslufthammers entspricht.

Morphologische Anpassungen der Fledermaus

Die Möglichkeit, solche kraftvollen Laute auszustößen und sie von den entstehenden komplexen Echos zu unterscheiden, erhält die Fledermaus durch die einzigartigen Anpassungen ihrer körperlichen und neuronalen Strukturen. Zum einen ist die Schnauze der Fledermaus in bestimmten Abständen so gefaltet, dass ihre Laute wie bei einem Megafon verstärkt werden. Die Ohrmuscheln sind stark vergrößert und die Gehörknöchelchen und das Trommelfell verkleinert. Dies sind die Voraussetzungen, um hochfrequente Laute erfassen zu können. Damit die Fledermaus unter der hohen Lautstärke ihrer Echoortungsrufe nicht taub wird, kontrahiert die an den Gehörknöchelchen ansetzende Muskulatur und verringert so während der Lautemission die Empfindlichkeit des Gehörs. Zusätzlich verhindern eine mit Blut gefüllte Kapsel, der Blutsinus, sowie Binde- und Fettgewebe zwischen Maul und Innenohr eine direkte Lautübertragung. Nach der Aufnahme der Laute über die trichterförmigen Ohren, welche voneinander unabhängig geneigt und gedreht werden können, wird der Schall im Innenohr transformiert und als elektrisches Signal über Nervenzellen an das auditive Zentrum im Gehirn weitergegeben. Es nimmt einen großen Anteil des Gehirns ein. Durch die Auswertung der Entfernung im Bezug zur Lautstärke der empfangenen Echos kann die Größe eines Objektes festgestellt werden. Die Richtung wird durch die Zeitdifferenz bestimmt, mit der das Echo die beiden Ohren erreicht.

Literaturquellen

- Werner Müller, Stephan Frings: *Tier- und Humanphysiologie – Eine Einführung*, 4. Auflage, Springer Verlag, Berlin u.a. 2009
- https://de.wikipedia.org/wiki/Echoortung_%28Tiere%29 (19.07.2015)

5.3 Der Geschmackssinn

Eliana Höll
Betreuerin: Hanna Klingler

Der Geschmackssinn dient der Nahorientierung und ist entscheidend für die Prüfung der Nahrungsqualität unmittelbar vor dem Verzehr. Er übernimmt damit eine wichtige Schutzfunktion zur Erkennung von Giftstoffen, die sich oft durch spezifische gustatorische Eindrücke auszeichnen. Ebenso hilft der Geschmackssinn bei der gezielten Auswahl von nährstoffreichen Nahrungsmitteln.

Das eigentliche Geschmacksorgan besteht aus der Gesamtheit aller Geschmacksinneszellen, die beim Menschen überwiegend auf der Zunge vorkommen. Die einzelnen Sinneszellen selbst sind modifizierte Epithelzellen, denen ein Axon zur elektrischen Erregungsleitung fehlt. Sie gehören demnach zu den sekundären Sinneszellen. Die Erregung wird hier zunächst über chemische Botenstoffe von den

Sinneszellen an nachgeschaltete Neuronen weitergeben, die dann die Erregung elektrisch ans zentrale Nervensystem weiterleiten. Auf der Zunge sind die Sinneszellen in sogenannten Geschmacksknospen organisiert, wobei jede Knospe zwischen 50 und 100 einzelne Sinneszellen enthalten kann. Im oberen Bereich bilden die Geschmacksknospen einen Porus aus, worüber die Sinneszellen in direktem Kontakt mit dem Milieu der Mundhöhle stehen. Die Geschmacksknospen auf der Zunge sind wiederum in unterschiedlichen Erhebungen auf der Zungenoberfläche untergebracht, den sogenannten Papillen. Man unterscheidet drei verschiedene Papillentypen, in denen Geschmacksknospen angeordnet sind. *Wallpapillen* befinden sich überwiegend am Zungengrund, *Blätterpapillen* am seitlichen hinteren Ende der Zunge und *Pilzpapillen* sind über die gesamte Zungenoberfläche verteilt. Der häufigste Papillentypus, die *Fadenpapillen*, sind ebenso auf der gesamten Zungenoberfläche verteilt, enthalten jedoch keine Geschmacksknospen und dienen ausschließlich der Mechanorezeption und sind somit dem Tastsinn zuzuordnen.

Die lang proklamierte Verteilung der Geschmackdetektion auf der Zunge, süß auf der Zungenspitze, salzig am seitlichen vorderen Rand der Zunge, bitter am Zungengrund und sauer am mittigen seitlichen Zungenrand, lässt sich wissenschaftlich nicht eindeutig bestätigen. Die Geschmacksqualitäten werden unspezifisch, hauptsächlich an Zungenrand und Zungenwurzel, wahrgenommen, jedoch ist die Empfindlichkeit der Detektion nicht in allen Bereichen gleich sensitiv. Zudem wurden die Qualitäten noch um eine weitere Geschmacksqualität „umami“ erweitert, welches eine herzhaftere Geschmacksempfindung beschreibt.

Die Transduktion ist für die fünf unterschiedlichen Geschmacksrichtungenqualitäten nicht einheitlich, so dass hier unterschiedliche Mechanismen beschrieben werden. Die Änderung der Rezeptorpotentiale der Sinneszellen kann beispielsweise direkt durch eine Änderung der extrazellulären Konzentration des Geschmackstoffs hervorgerufen werden (salzig und saurer) oder durch die Bindung von Geschmacksmolekülen an spezifische Rezeptorproteine (bitter, umami und süß).

Kurseinheit

Im Kurs wurden zum Einstieg die Lage und Verteilung der unterschiedlichen Papillentypen mittels Binokular anhand einer frischen Rinderzunge nachvollzogen (Abb.1, Abb.2). Über einfache Versuche konnte dann das Zusammenspiel der Geschmacks- und Geruchsempfindung verdeutlicht werden. Zudem wurden die Grenzen und die Konzentrationsabhängigkeit unserer Geschmacksempfindung nachvollzogen.



Abbildung 1: Rinderzunge unter Mikroskop



Abbildung 2: Rinderzunge vergrößert

Literaturquellen

- Robert F. Schmidt, Hans Georg Schaible (Hrsg.): *Neuro- und Sinnesphysiologie*, 5. Auflage, Springer Verlag, 2006
- Prof. Ulrich Weber (Hrsg.): *Biologie Oberstufe. Gesamtband*, Cornelsen Verlag, 2009
- <https://www.dasgehirn.info/wahrnehmen/truegerische-wahrnehmung/geschmacksverwirrung>
- <http://www.netdoktor.de/symptome/ageusie/#T0C2>
- https://de.wikipedia.org/wiki/Nervus_glossopharyngeus
- <https://www.youtube.com/watch?v=b8oBul6quoo>
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Geschmack_\(Sinnesindruck\)#Geschmackspr.C3.A4gung](https://de.wikipedia.org/wiki/Geschmack_(Sinnesindruck)#Geschmackspr.C3.A4gung)
- http://www.focus.de/wissen/videos/augmented-reality-computersystem-veraendert-geschmack-eines-keksex_vid_19255.html
- <http://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/geschmackssinneszellen/4665>
- http://www.g-netz.de/Der_Mensch/sinnesorgane/geschmackssinn.shtml
- <http://www.anatomie.net/Unterricht/Skripte/geschmack.pdf>
- <http://teaching.thehumanbrain.info/neuroanatomie.php?kap=16>
- http://www.uni-koeln.de/med-fak/biochemie/biomed/wisspro/katharina_hermann.pdf
- <http://www.biologie-schule.de/schmecken-gustatorische-wahrnehmung.php>
- <http://www.allpsych.uni-giessen.de/karl/teach/Wahrnehmung/Wahr-13-chem.pdf>
- Abbildungen: eigenes Bildmaterial

5.4 Leistungsvermögen der olfaktorischen Wahrnehmung

Viktor Warkentin
Betreuerin: Kirsten Utermann

In dem literarischen Meisterwerk „Das Parfüm“ gelingt es Jean-Baptiste Grenouille, Menschen mit Gerüchen so zu manipulieren, dass er sogar bewusst Liebe in ihnen hervorrufen kann. Dies ist eine utopische Vorstellung, die doch einen wahren Kern besitzt, da die Auswirkungen von Düften in unserem Leben gar oft unterschätzt werden. Doch wie funktioniert dieses System? Wie nehmen wir Gerüche wahr und wie beeinflussen sie uns?

Ein wahrgenommener Geruch, wie z.B. Kaffeegeruch, ist nichts anderes als eine Kombination aus mehreren chemischen Duftmolekülen in der Luft. Durch das Einatmen gelangen die Duftstoffe an eine ca. 2-5 cm² große Geweberegion im Dach jeden Nasenlochs, dem Riechepithel. Das Epithel wird vom Mucus, einer schleimigen Schicht, überzogen. Er dient zum einem dem Schutz und zum anderen der Absorption der Duftmoleküle. Das Riechepithel wird von drei unterschiedlichen Zelltypen gebildet (siehe Abb.1). Die Stützzellen dienen der Stabilität, die primären Riechsinneszellen der Reizdetektion, während die etwas tiefer gelegenen Basalzellen adulte Stammzellen darstellen, aus denen durch Mitose und Zelldifferenzierung stets neue Riechzellen entstehen. Die Lebenserwartung der Riechsinneszellen beträgt im Durchschnitt nur vier bis sechs Wochen. Der Mensch verfügt über 350 verschiedene Sinneszelltypen, die jeweils nur ein bestimmtes Rezeptorprotein exprimieren. Das Vorkommen der Rezeptoren konzentriert sich auf die endständigen Zilien am Ende einer jeden Riechzelle, die in den Mucus s.o. ragen. In der Gesamtheit verfügt der Mensch über etwa zehn Millionen Riechsinneszellen (Klinke et al., 2003).

Die Axone der Riechsinneszellen liegen nicht gebündelt vor, sondern laufen durch Löcher im Knochen, dem Siebbein, in den *Bulbus olfactorius*. Dieser wird ebenfalls aus verschiedenen Zelltypen gebildet:

den Glomeruli, den Mitralzellen und den periglomerulären Zellen. Die Axone der Riechzellen enden in den Glomeruli, die zusammen mit den Mitralzellen über Synapsen in Kontakt stehen. Da mehr als 1.000 Axone der Riechsinneszellen auf die Dendriten einer einzigen Mitralzelle projizieren, handelt es sich hier um eine stark konvergente Verschaltung der Sinneszellen. Die periglomerulären Zellen verstärken während der Weiterschaltung durch Hemmung den Kontrast des Aktivierungsmusters (Schmidt et al., 2010). Trotz der eingeschränkten Anzahl der Rezeptortypen kann der Mensch etwa 10.000 verschiedene Gerüche unterscheiden. Dies liegt v.a. daran, dass die Rezeptoren relativ unspezifisch sind. Jeder Rezeptor kann unterschiedliche Duftmoleküle binden und jeder Duftstoff kann an unterschiedliche Rezeptoren binden, jedoch in unterschiedlicher Stärke. Jeder Duftstoff führt somit zu einem eigenen Aktivitätsmuster der Sinneszellen, die mehrere Glomeruli bei einem Duft unterschiedlich stimulieren. Die Anzahl möglicher Aktivitätsmuster ist schier unbegrenzt (Bear et al., 2009).

Durch das Binden eines Moleküls an der extrazellulären Seite eines Rezeptorproteins ändert sich dessen Konformation und es wird eine intrazelluläre Signalkaskade ausgelöst. Die Umwandlung des chemischen Reizes in ein elektrisches Signal wird als „Signaltransduktion“ bezeichnet. Die Konformationsänderung des Rezeptorproteins in der Membran führt intrazellulär zur Aktivierung eines G-Proteins, welches wiederum zur Aktivierung der Adenylatcyclase führt. Dieses Enzym katalysiert die Produktion von zyklischem Adenosinmonophosphat (cAMP) in der Zelle. Dieses cAMP fungiert als sekundärer Botenstoff und führt letztendlich zur Öffnung mehrerer cNG-Kanäle (cyclic nucleotide-gated) in der Membran. Durch diese strömen nun entlang des elektrochemischen Gradienten Natrium- und Calcium-Ionen in die Zelle. Durch den Einstrom wird zunächst das Rezeptorpotenzial verändert. Da dieser Prozess in den Zilien abläuft, wird dort noch kein Aktionspotenzial ausgebildet. Überschreitet das Rezeptorpotential eine Schwelle am Axonhügel einer Sinneszelle werden dort Aktionspotenziale generiert, die dann weiter ins zentrale Nervensystem fortgeleitet und verarbeitet werden.

Ein Geruch wird mit Emotionen und Erinnerungen verknüpft. Dabei muss die Hedonik, also die Wertung des Geruchs als „gut“ oder „schlecht“, durch Erfahrungen erlernt werden. Doch kann der Geruch auch als Erkennungsmerkmal dienen. So erkennt ein Baby den Duft seiner Mutter und auch wir selbst sind mit unserem Eigengeruch vertraut, welcher sogar genetisch determiniert ist (Schmidt et al., 2010).

Literaturquellen

- Andreas Engel (Hrsg.), Mark F. Bear, Barry W. Connors, Michael A. Paradiso: *Neurowissenschaften*, 3. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, 2009
- Josef Dudel, Randolf Menzel, Robert F. Schmidt, Robert F.: *Neurowissenschaften – Vom Molekül zur Kognition*, 2. Auflage, Springer-Verlag, 2001
- Reiner Klinke, Stefan Silbernagl: *Lehrbuch der Physiologie*, 4. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2011
- Robert F. Schmidt, Florian Lang, Manfred Heckmann: *Physiologie des Menschen*, 31. Auflage, Springer Verlag, Berlin u.a. 2011

5.5 Physiologische Grundlagen der visuellen Wahrnehmung

Nadine Badie

Betreuer: Maximilian Stietzel

Fällt Licht auf einen Gegenstand, wird ein Teil dessen reflektiert. Beim Eintritt des reflektierten Lichts ins Auge wird es zunächst vom dioptrischen Apparat, den lichtbrechenden Bestandteilen des Auges,

gebrochen. Im menschlichen Auge besteht dieser aus der Hornhaut, der vorderen Augenkammer, der Linse und dem Glaskörper. Als Resultat der Lichtbrechung entsteht auf der *Retina* (Netzhaut) ein verkleinertes, auf dem kopfstehendes Abbild des realen Gegenstandes.

Photorezeptoren und Sehpigmente

Bei näherer Betrachtung der *Retina* fällt auf, dass diese aus unterschiedlichen Nervenzellen aufgebaut ist. Das Licht muss zuerst die Schichten der Ganglien-, Amakrin-, Bipolar- und Horizontalzellen durchqueren, bevor es auf die Schicht der Photorezeptoren trifft. Auf Grund dieser Anordnung wird auch vom „inversen“ Auge gesprochen. Die menschliche Netzhaut enthält zwei Photorezeptortypen, die Stäbchen und die Zapfen, die sich in Form und Funktion unterscheiden. Stäbchen sind lichtempfindlicher als Zapfen, können jedoch keine Farben unterscheiden. Ihre Verteilung zeigt die höchste Dichte im parafovealen Bereich auf, weshalb beim skotopischen Sehen (Nachtsehen) die räumliche Auflösung dort am höchsten ist. Das Sehpigment der Stäbchen ist das Rhodopsin, welches sich aus dem Chromophor 11-cis-Retinal und dem integralen Membranprotein Opsin zusammensetzt (Campbell, 2009).

Die Zapfen, die für das Farb- und Scharfsehen verantwortlich sind, sind aufgrund ihrer geringeren Empfindlichkeit nur beim photopischen Sehen (Tagsehen) aktiv. Sie lassen sich anhand der verschiedenen Zapfenopsine und deren Empfindlichkeitsbereich in Blau-, Grün- und Rot-Zapfen einteilen. Die Zapfendichte ist in einer besonderen Region auf der *Retina*, der *Fovea centralis* (Sehgrube), am höchsten. Dadurch ist die Sehschärfe tagesüber dort am größten (vgl. Schmidt, 2000).

Der Sehvorgang (am Beispiel der Stäbchen)

Ist kein Licht vorhanden, so ist die Konzentration an cyclischen Guanosinmonophosphat (cGMP) im Außenbereich der Stäbchen hoch. Es kommt zum Einstrom von Natrium-Ionen durch spezifische Na^+ -Kanäle, deren Öffnung durch cGMP vermittelt wird. Gleichzeitig strömen K^+ -Ionen durch geöffnete K^+ -Kanäle aus dem Innensegment. Dieser Vorgang wird als Dunkelstrom bezeichnet. Die Ionengradienten für Natrium und Kalium werden aktiv durch die Natrium-Kalium-Pumpe aufrechterhalten. Das resultierende Membranpotential liegt bei ca. -40 mV und führt an der Synapse zur Ausschüttung des Neurotransmitters Glutamat.

Eintreffendes Licht leitet nun den Sehvorgang ein. Die Energie von nur einem Photon reicht aus, um das Retinal von der 11-cis in die all-trans-Form zu isomerisieren. Dies lässt das Rhodopsin zerfallen und aktiviert dieses. Es folgt eine Signalkaskade, bei der zuerst ein G-Protein namens Transducin aktiviert wird, was seinerseits das Enzym Phosphodiesterase aktiviert, welches das cGMP zu 5'-GMP hydrolysiert und es somit von den Natriumkanälen der Plasmamembran löst. Die Natriumkanäle schließen und es kommt zur Hyperpolarisation des Stäbchens auf ca. -70 mV. Ein einzelnes Photon kann dabei den Fluss von mehr als einer Millionen Na^+ -Ionen blockieren. Durch die Hyperpolarisation wird die Ausschüttung des Glutamats unterbrochen und löst die Signalübertragung zuerst in den äußeren Schichten der Retina und dann, über den Sehnerv, in den primären Sehkortex aus (vgl. Campbell, 2009).

Im praktischen Teil zur Einheit „Grundlagen der visuellen Wahrnehmung“ wurden Experimente zur Bestimmung des minimalen räumlichen und zeitlichen Auflösungsvermögens durchgeführt und anatomische Gegebenheiten der Augen untersucht.

Die Verteilung von Zapfen und Stäbchen auf der Retina wurde mit Hilfe von Perimetern bestimmt und anhand einfacher Punkt-Kreuz-Schema die Lage und der Durchmesser des blinden Flecks berechnet.

Literaturquellen

- Anselm Kratochwil, Renate Scheibe (Hrsg.): Neil A. Campbell et. al, *Biologie*, 8. Auflage, Person Studium, 2009
- Eric Kandel, James Schwartz, Thomas Jessell: *Neurowissenschaften. Eine Einführung*, Spektrum, 1995
- Robert F. Schmidt, Florian Lang, Manfred Heckmann: *Physiologie des Menschen*, 31. Auflage, Springer Verlag, Berlin u.a. 2011

5.6 Optische Täuschungen und Gestaltpsychologie

Lara Mayer

Betreuer: Maximilian Stietzel

Laterale Hemmung und rezeptive Felder

Für unsere Wahrnehmung ist es essentiell, Kanten als solche deutlich zu erkennen, da diese die Grenzflächen zwischen zwei Objekten markieren. Auf retinaler Ebene geschieht dies durch die laterale Hemmung. Horizontalzellen verschalten dabei verschiedene Photorezeptoren und hemmen diese untereinander entsprechend der Intensität des Lichtreizes. Dadurch erfolgt eine Kontrastverstärkung und wir erkennen, wie in Abbildung 1, die Kanten des Balkens deutlicher, auch wenn dies zu optischen Täuschungen führt (Kandel et al., 1995). Wir besitzen nur ca. eine Million Ganglienzellen, die jedoch mit 120 Millionen Photorezeptoren in Kontakt stehen. Es ist daher unumgänglich, dass diese durch entsprechende Verschaltung konvergiert sind. Die Informationen einer bestimmten Ganglienzelle stammen immer von genau denselben Photorezeptorzellen in einem ganz bestimmten Retinabereich, welchen man als rezeptives Feld bezeichnet. Es besteht aus einem kreisförmigen Zentrum, das von einem ebenfalls kreisförmigen Umfeld umringt wird. Man unterscheidet dabei zwei Typen. Zum einen On-Zentrum-Neuronen, die erregt werden, wenn das Zentrum belichtet wird, und zum anderen Off-Zentrum-Neuronen, die bei einer Belichtung des Zentrums gehemmt werden. Es erfolgt eine optimale Reaktion, wenn Zentrum und Umfeld unterschiedlich belichtet werden (Bear et al., 2009).



Abbildung 1

Zentrale Sehbahnen und Parallelverarbeitung

Axone retinaler Ganglienzellen bilden den *Nervus opticus*, welcher am blinden Fleck das Auge verlässt. Nasale Nervenfasern kreuzen sich am *Chiasma opticum*, sodass Informationen aus der rechten Gesichtshälfte in der linken Hemisphäre repräsentiert werden und umgekehrt. Gekreuzte Nerven verlaufen im *Tractus opticus* und erreichen den im *Thalamus* gelegenen *Corpus geniculatum laterale*, wo eine monosynaptische Übertragung von Sehnerven auf Schaltzellen erfolgt, deren Axone direkt in den *primären visuellen Cortex* (primäre Sehrinde) ziehen. Die Größe der zentralen Projektion im primären visuellen Cortex ist proportional zur retinalen Ganglienzelldichte, dies bezeichnet man auch als retinotopie Organisation (Campbell, 2009). Unser Sehsystem analysiert viele Aspekte eines visuellen Bildes, z.B. Farbe, Form und Bewegung. Diese werden im visuellen Cortex über verschiedene Bahnen parallel verarbeitet. Die Organisation beginnt allerdings schon in der Retina, bei der schon verschiedene Ganglienzelltypen auf unterschiedliche Aspekte der Wahrnehmung spezialisiert sind.

Gestaltpsychologie

Unsere Sinne streben nach Ordnung. Die grundlegenden Prinzipien werden durch Gruppierungsregeln beschrieben. Das Gesetz der Prägnanz besagt, dass wir überall bekannte, prägnante Formen suchen und sehen. Die Gesetze der Ähnlichkeit und der Nähe besagen, dass wir ähnliche bzw. nah beieinanderstehende Objekte immer als zusammengehörige Einheit wahrnehmen und von anderen Objekten abgrenzen. Dies wird aber meistens übertrumpft vom Gesetz der Geschlossenheit, nach dem wir Objekte als zusammengehörig erkennen, die prägnante geschlossene Formen bilden. Laut dem Gesetz der guten Fortführung ergänzt unser Gehirn Lücken oder unvollständige Bilder zu vollständigen, bekannten Objekten. Dass wir immer Dinge in Objekten suchen und sehen, die wir schon kennen, beschreibt das Gesetz der Erfahrung. Außerdem gilt das Prinzip, dass wir immer nur ein Objekt auf einmal fokussieren können, während die anderen automatisch in den Hintergrund rücken. Dieses Prinzip von Signal und Rauschen bzw. der selektiven Aufmerksamkeit ermöglicht es uns mit der immensen Menge an Sinnesindrücken zurechtzukommen. Anhand dieser Regeln erklärt sich auch, weshalb wir auf einem abstrakten Bild einen Dalmatiner wahrnehmen, obwohl lediglich schwarze und weiße Flächen dargestellt sind (<http://www.gib.uni-tuebingen.de/netzwerk/glossar/index.php?title=Datei:Dalmatiner.jpg>, 02.12.15; Kandel et al., 1995).

Im praktischen Teil zur Einheit „Gestaltpsychologie und optische Täuschungen“ haben wir anhand diverser Abbildungen die Gestaltregeln erörtert und verschiedene optische Täuschungen untersucht und deren physiologischen Ursachen geklärt.

Dabei ging es vor allem darum, unterschiedlichste optische Täuschungen auf die Phänomene der lateralen Hemmung und der rezeptiven Felder zurückzuführen.

Literaturquellen

- Anselm Kratochwil, Renate Scheibe (Hrsg.): Neil A. Campbell et. al, Biologie, 8. Auflage, Person Studium, 2009
- Eric Kandel, James Schwartz, Thomas Jessell: Neurowissenschaften. Eine Einführung. Spektrum, 1995.
- Andreas Engel (Hrsg.), Mark F. Bear, Barry W. Connors, Michael A. Paradiso: Neurowissenschaften, 3. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, 2009
- Abbildung 1: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1e/Gradient-optical-illusion.svg/220px-Gradient-optical-illusion.svg.png> (15.7.15)

5.7 Leistungsvermögen haptischer und thermosensorischer Wahrnehmung

Isabel Geiger
Betreuer: Jochen Graf

Die haptische Wahrnehmung (griech.: haptikos = greifbar) bezeichnet das aktive Erfühlen von Größe, Konturen, Oberflächentextur und Gewicht eines Objekts durch die Integration aller Hautsinne. Die Gesamtheit der haptischen Wahrnehmungen ermöglicht es, mechanische Reize, Temperaturreize und Schmerzen zu lokalisieren und zu bewerten (Schmidt et al., 2011). Die Haptik umfasst Wahrnehmungsaspekte der haptischen Sensitivität, der Propriozeption, der Kinästhesie, der Viszerozeption, der Nozizeption und der Thermorezeption.

Die Haut mit ihrer sensorischen Innervation erlangt bereits während der Embryonalentwicklung als erstes unserer Sinnesorgane ihre Funktionsfähigkeit. Durch die psychophysische Analyse der haptischen

Wahrnehmung lassen sich die Qualitäten Druck, Berührung und Vibration sowie die Abhängigkeit der subjektiven Empfindungsintensität von der Reizstärke charakterisieren. Die Erkennbarkeit räumlicher Details der Tastobjekte ist ungleichmäßig über den menschlichen Körper verteilt. Hierbei zeichnen sich die Finger und Mundregion durch eine besonders hohe Leistungsfähigkeit aus. Dieses besondere Leistungsvermögen entspricht der praktischen Bedeutung des Tastsinns bei der Erkennungsfunktion (bspw. orale Phase bei Babys).

Anhand von neurophysiologischen Experimenten an unbehaarter Haut bei Katze, Affe und Mensch lassen sich die für die haptische Wahrnehmung entscheidenden Mechanosensoren der haarlosen Haut in vier verschiedene Gruppen einteilen: die *SA-Sensoren* („slowly adapting“, *Merkel-Zellen* und *Ruffini-Körperchen*) erzeugen bei langdauernden Hautreizen ständig Aktionspotentiale in den afferenten Fasern (*SA-I-Sensoren* senkrecht zur Hautoberfläche; *SA-II-Sensoren* waagrecht); die *RA-Sensoren* („rapidly adapting“, *Meissner-Körperchen*) sprechen auf Geschwindigkeit der Hautdeformation an; die *PC-Sensoren* (*Vater-Pacini-Körperchen*) reagieren auf Beschleunigung. Die Wahrnehmung von Tastereignissen beruht auf einer ständigen, schnellen Auswertung aller Signale durch das ZNS. Die Psychophysik der Thermorezeption, auch als Temperatursinn bekannt, beinhaltet spezialisierte, separate Systeme für Kalt- und Warmrezeption. Da Kälte lebensbedrohender als Wärme ist, kommen Kaltpunkte häufiger als Warmpunkte vor und arbeiten auch deutlich schneller. Zusätzlich unterscheidet sich die Dichte der Sensoren je nach Körperregion.

Die Empfindlichkeit der Wahrnehmung von Warm- und Kaltreizen steigt mit der Geschwindigkeit der Temperaturänderung. Bei einer Indifferenztemperatur von ca. 31-36°C sind weder Warm- noch Kalttemperaturen wahrnehmbar, was als statische Temperaturempfindung bezeichnet wird. Bei Temperaturen über oder unter der Indifferenztemperatur lassen sich bei einer Beschleunigung von über 0,5°C/min jedoch dynamische Temperaturempfindungen messen.

Literaturquellen

- Robert F. Schmidt, Florian Lang, Manfred Heckmann: *Physiologie des Menschen*, 31. Auflage, Springer Verlag, Berlin u.a. 2011
- Werner Müller, Stephan Frings: *Tier- und Humanphysiologie // Eine Einführung*, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin u.a. 2004.
- Eric Kandel, James Schwartz, Thomas Jessell: *Neurowissenschaften. Eine Einführung*, Spektrum, 1995
- Jens Huppelsberg, Kerstin Walter: *Kurzlehrbuch Physiologie: 42 Tabellen*, 3. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2009
- Hans Peter Zenner, Eberhart Zrenner: *Physiologie der Sinne*, Spektrum Akademischer Verlag, 1994
- Christoph von Campenhausen: *Die Sinne des Menschen. Einführung in die Psychophysik der Wahrnehmung*, 2. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1993

5.8 Sinnesleistungen im Tierreich

Anna-Sophie Schmidt
Betreuerin: Julia Westendorff

Neben den uns bekannten klassischen Sinnen beim Menschen finden sich im Tierreich weitere außergewöhnliche Sinnesleistungen. Aufgrund von Selektionsdruck und der damit verbundenen Anpassung an die unterschiedlichsten ökologischen Nischen haben verschiedene Tierarten erstaunliche Fähigkeiten

entwickelt. Als verblüffende Konsequenz folgt, dass die Wahrnehmung ein und derselben Wirklichkeit von Lebewesen zu Lebewesen enorm voneinander abweichen kann. Die Hörleistung der Grille stellt eine Besonderheit unter den Insekten dar sowie der elektrische Sinn, den einige Fischarten entwickelt haben. Diese werden im Folgenden exemplarisch hier hervorgehoben.

Hörleistung der Grille

Die Grille gehört neben den Heuschrecken, Zikaden und den meisten Nachtfaltern zu den wenigen Insektenarten, die neben Substratschall auch Luftschall wahrnehmen können. Dazu dient ihr das sogenannte Tympanalorgan. Es beinhaltet je zwei Trommelfelle (*Tympana*), die als Druckgradientenempfänger fungieren und sich bei der Grille an den Vorderbeinen, genauer der *Tibia*, befinden. Ein *Tympanum* wird von ankommenden Schallwellen durch den veränderten Luftdruck in Schwingung versetzt, was wiederum die am *Tympanum* anliegenden Nervenzellen (*Scolopidien*) stimuliert. Die Axone der *Scolopidien* laufen zu einem Hörnerv zusammen, der die Information zu einem Nervenknoten des zentralen Nervensystems, dem *Prothoralganglion* leitet. Gleichzeitig werden die Schallwellen über eine spezielle luftgefüllte *akustische Trachee* zum anderen Tympanum geleitet. Die resultierende zeitliche Verzögerung der Erregung der dort gelegenen Sinneszellen ermöglicht der Grille das Richtungshören. Ein Grillenweibchen, dessen Tympanalorgan genau auf eine Frequenz von 5 kHz, der Frequenz des männlichen Lockgesangs, ausgerichtet ist, kann so seinen Partner exakt orten.

Der elektrische Sinn

Der elektrische Sinn, der einzig in der Tierwelt zu finden ist, wird vor allem von nachtaktiven oder in trüben, schlammigen Gewässern oder Stromschnellen lebenden Fischen genutzt. Es handelt sich um Elektroortung, die sowohl aktiv als auch passiv vorkommt. Voraussetzung ist die elektrische Spannung die durch physikalische Gegebenheiten in der Natur (Erdmagnetfeld), oder durch Muskelaktivität, wie bei jedem Lebewesen, zum Beispiel durch den Herzschlag, hervorgerufen wird. Diese Spannung kann sich in Form von elektrischen Feldern im leitenden Medium (Wasser) ausbreiten und durch speziell entwickelte Organe wahrgenommen werden.

Die passive Ortung, wie sie bei Haien, Rochen, Aalen, Welsen und Lungenfischen vorkommt, findet über die *Lorenzinschen Ampullen* statt. Es handelt sich um Epidermiseinstülpungen, die zum Außenmedium hin offen sind. Diese Ampullen sind von einer isolierenden Wand umgeben und mit einem elektrisch sehr leitfähigen Gel (*Mucus*) gefüllt. Am Boden der Ampullen sitzen die Elektrorezeptoren. Durch die Rezeptoren fließt ein konstanter Ruhestrom, der gleichmäßig Impulse an das Gehirn weiterleitet. Ein anderes Tier verändert die Impulsfrequenz aufgrund der von ihm ausgehenden Feldlinien, so dass es geortet werden kann.

Aktive elektrische Ortung findet man hauptsächlich bei schwach elektrischen Süßwasserfischen. Zur aktiven Elektroortung haben diese Fische besondere elektrische Organe entwickelt, die anders als bei stark elektrischen Fische wie dem Zitterrochen nur kleine konstante elektrische Ströme erzeugen. Das die Fische umgebende elektrische Feld verändert sich, sobald etwas in seine Reichweite gelangt. Die Feldlinien werden je nach Leitfähigkeit des Objektes entweder gebündelt (höhere Leitfähigkeit als Wasser) oder gestreut (geringere Leitfähigkeit). Die Änderungen können durch artspezifische Rezeptoren wie Mormyromasten und Knollenorgane wahrgenommen werden.

Die Sinnesleistungen einer Art sind immer in Abhängigkeit zu ihrem Lebensraum und den Lebensumständen zu betrachten. Das evolutionäre Ziel, das eigene Überleben und das der eigenen Art zu sichern, hat eine enorme Vielfalt an Sinnesleistungen im Tierreich hervorgebracht. Es herrscht ein ständiger Wettkampf darum, wer die besten Sinnesleistungen erbringt und so zum Beispiel die Beute aufspürt oder dem Feind entkommt. Die entstandenen artspezifischen Wahrnehmungen bleiben uns Menschen jedoch verborgen.

Literaturquellen

- Werner Müller, Stephan Frings: *Tier- und Humanphysiologie – Eine Einführung*, 4. Auflage, Springer Verlag, Berlin u.a. 2009.
- Stephan Frings, Frank Müller: *Biologie der Sinne – Vom Molekül zur Wahrnehmung*, Springer Spektrum, Berlin u.a. 2014.

5.9 Dopaminerges System

Leonie Brüggemann
Betreuerin: Samira Hoock

Dopamin ist ein Neurotransmitter, also ein chemischer Botenstoff zur Informationsweiterleitung im Zentralnervensystem, der Nervenzellen erregen oder hemmen kann. Die *Substantia nigra*, ein tief-schwarz gefärbter Teil des *Mesencephalons* (Mittelhirn), beinhaltet das größte Vorkommen an Dopamin in unserem Körper. Die Aufgaben, an denen Dopamin beteiligt ist, sind weit gefächert. Der *Nucleus accumbens* im ventrorostralen Bereich des *Striatums* hat enge dopaminerge Faserverbindungen zum limbischen System, dem Ort der emotionalen Bewertung. Dopamin ist damit auch für Lernvorgänge unablässig, da es das explorative Verhalten fördert und durch positive Emotionen Lernvorgänge einleitet. Über das *Striatum*, die Eingangsstruktur der Basalganglien, ermöglicht Dopamin die Bewegungsinitiation. Die Basalganglien sind ein eingängiges Beispiel für die komplexe Verschaltung innerhalb des Gehirns und das Zusammenspiel verschiedener Neurotransmitter. Sie sind Teil des Groß- bzw. Endhirns und bestehen aus dem *Striatum*, dem *Globus pallidus*, dem *Nucleus subthalamicus* und der *Substantia nigra*. Während das Kleinhirn vor allem die konkrete Bewegungsausführung kontrolliert und komplexe Bewegungsabläufe abrufbereit speichert, sorgen die Basalganglien für die Initiierung und Terminierung der Bewegungen (Trepel, 2011).

Die motorische Störung *Morbus Parkinson* ist eine Hypokinese, also eine Krankheit, die durch ein zu wenig an Bewegung gekennzeichnet ist. Ausgelöst wird Parkinson durch die Degeneration der dopaminergen Neuronen in der *Substantia nigra*. Der Grund für das Sterben genau dieser Neuronenpopulation ist Gegenstand aktueller Forschung und noch nicht hinreichend verstanden. Es wurde aber bereits gezeigt, dass bestimmte Pestizide, aber auch genetische Ursachen – wie eine gesteigerte Kopienanzahl des *alpha-Synuclein*-Gens – die Krankheit hervorrufen können. Am Gehirnschnitt verstorbener Parkinsonpatienten lässt sich das Ausmaß der neuronalen Degeneration auch histologisch nachvollziehen. Die Oxidationsprodukte des Dopamins sind für die schwarze Farbe der *Substantia nigra* verantwortlich, die sich bei Abwesenheit des Dopamins von tiefschwarz zu grau verfärbt. Die Symptome können bis auf den Ruhetremor direkt durch den Untergang der dopaminergen Neurone erklärt werden – Rigidität, Bewegungsarmut, erschwerte Bewegungsinitiation. Da der genaue Pathomechanismus bisher nicht geklärt ist, gibt es keine die Krankheit völlig heilende Therapie. Die Behandlung versucht vor allem das fehlende Dopamin zu ersetzen, entweder durch medikamentöse Verabreichung der bluthirnschrankengängigen Vorstufe *L-Dopa* oder durch gezielte Hemmung des Dopamin-Abbaus (*Monoaminoxidase-B-Hemmer*, *Catechol-O-Methyltransferase-Hemmer*). Außerdem kann durch die Modulation anderer Neurotransmitter eine Besserung der Symptome erzielt werden (*NMDA-Rezeptor-Antagonisten*, *Anticholinergika*). Eine andere Behandlungsmethode ist die Implantation eines Hirnschrittmachers in den *Nucleus subthalamicus*. Keine dieser Therapien behandelt aber die Grundursache oder verhindert die Degeneration weiterer dopaminärger Neuronen.

Literaturquellen

- Reiner Klinke, Hans-Christian Pape, Armin Kurtz, Stefan Silbernagl: *Physiologie*, 6. Auflage, Thieme Verlag, 2011
- Michael Schünke, Erik Schulte, Udo Schumacher: *PROMETHEUS Lernatlas der Anatomie. Kopf und Neuroanatomie*, Thieme Verlag, 2006
- Martin Trepel: *Neuroanatomie*, 5. Auflage, Urban & Fischer in Elsevier, 2011

5.10 Lernen auf neuronaler Ebene

Katharina Stolla
Betreuerin: Samira Hook

Wie funktioniert das Lernen auf der Ebene einzelner Nervenzellen? Unser Gehirn besteht aus annähernd 100 Millionen Nervenzellen, die über Synapsen miteinander in Kontakt stehen und somit ihre Erregung übertragen können. Die Hebb-Regel stellt dabei die neurophysiologische Grundlage für den zellulären Lernprozess dar. Demnach führt die gleichzeitige Aktivierung einer Nervenzelle bzw. eines Hirnareals durch zwei ankommende Erregungen zu einer Verstärkung der Verbindung zwischen den beteiligten Nervenzellen bzw. Hirnregionen („what fires together, wires together“) (Bear et al. 2009). Die Verknüpfungen zwischen den Nervenzellen werden als synaptische Plastizität bezeichnet und ändern sich täglich. Die langfristige Verstärkung zwischen neuronalen Verbindungen wird durch den Prozess der Langzeitpotenzierung beschrieben, an dem AMPA- und NMDA-Rezeptoren beteiligt sind. In Folge des negativen Ruhemembranpotenzials sind glutamaterge, metabotrope NMDA-Rezeptoren durch ein Mg^{2+} von außen versiegelt.

Die ionotropen AMPA-Rezeptoren öffnen sich hingegen durch die Bindung des Liganden Glutamat für Na^{+} - und Ca^{2+} -Ionen, wodurch die Membran depolarisiert. Folglich löst sich Mg^{2+} vom NMDA-Rezeptor. Durch die Aktivierung der NMDA-Rezeptoren, in Gegenwart von Glutamat, gelangen letztendlich Ca^{2+} -Ionen von außen ins Zellinnere und die Calcium-Konzentration im Intrazellularraum erhöht sich, wodurch Enzyme im Zellinneren aktiviert werden oder Botenstoffe von der Post- in die Präsynapse diffundieren. Die Botenstoffe induzieren in der Präsynapse eine erhöhte Ligandenausschüttung, die wiederum an der Postsynapse für ein verstärktes Signal sorgt.

Die Enzyme setzen weitere Signalkaskaden in Bewegung, die bis in den Zellkern wirken. So werden beispielsweise neue AMPA-Kanäle exprimiert und die synaptische Verbindung verstärkt sich langfristig.

Literaturquellen

- Reiner Klinke, Hans-Christian Pape, Armin Kurtz, Stefan Silbernagl: *Physiologie*, 6. Auflage, Thieme Verlag, 2011
- Michael Schünke, Erik Schulte, Udo Schumacher: *PROMETHEUS Lernatlas der Anatomie. Kopf und Neuroanatomie*, Thieme Verlag, 2006
- Martin Trepel: *Neuroanatomie*, 5. Auflage, Urban & Fischer in Elsevier, 2011
- Andreas Engel (Hrsg.), Mark F. Bear, Barry W. Connors, Michael A. Paradiso: *Neurowissenschaften*, 3. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, 2009

6 Geschichtskurs

Die Wahrheit in der Geschichte

Die Frage nach der Wahrheit gilt in der Geschichtswissenschaft gemeinhin als hoffnungslos naiv: Das sei etwas für Philosophen oder Theologen, nicht aber für ernsthafte Historiker! Aber ist das wirklich so?

Wir trotzten dem Mainstream und begaben uns unerschrocken auf die Suche nach der Wahrheit in der Geschichte, um sie unter verschiedenen Aspekten kennenzulernen: Ist „wahr“ gleich „richtig“? Ist ein Original „wahrer“ als eine Kopie? Kann eine Fiktion wahr sein? Oder sogar eine Fälschung? Muss die Wahrheit korrekt sein?

Der Weg zur Wahrheit führte uns ins Mittelalter ebenso wie ins 19. Jahrhundert, ins Museum wie ins Kino. Wir spürten Verschwörungstheoretikern und Fälschern nach, bereisten unser Gehirn und die Wikipedia, besuchten Hexen und Heilige. Als Begleiter dienten uns u.a. Leopold von Ranke, Aleida Assmann und Johannes Fried, aber auch Guido Knopp, Andy Warhol und Ridley Scott.

Letztere Namen deuten schon an, dass wir uns auch auf Pfaden außerhalb der Geschichtswissenschaft bewegt haben, z.B. in Philosophie und Kunst, Medien- und Literaturwissenschaft – Pfade, die uns dann aber doch immer wieder zu den Grundlagen und Kernfragen des historischen Arbeitens zurückführten.

Und wer jetzt glaubt, dass sich die Frage nach der Wahrheit am Ende als bloßes rhetorisches Mittel erwies und ohne Antwort blieb – der kennt die Wahrheit eben (noch) nicht...

Kursleitung

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

6.1 Original und Kopie

oder: Zur Dekonstruktion von Originalitätsvorstellungen

Tim Weber und Moritz Gleditzsch

Wir sehen Leonardo Da Vincis weltbekannte und unschätzbar wertvolle Mona Lisa – allerdings nur ein Foto des Gemäldes aus einer Tageszeitung. Dieses Foto ist nur eine Kopie des Originals, demnach materiell völlig wertlos. Nimmt sich nun aber ein New Yorker Künstler dieses Bildes an und stellt eine Kopie der Kopie des Originals her, hat diese plötzlich einen Wert von 4 Millionen Euro. Dann bezeichnet selbiger Künstler dies sogar als Kunst – und hat Recht damit. Kann Kopie kreative Kunst sein? Ist das Werk Andy Warhols nun Original oder Kopie?

In unserem Kurs haben wir uns die Charakteristika der Kopie als Kunstform bei Warhol und die theoretischen Konzepte, die ihr Fundament bilden, auf Grundlage eines Kapitels aus Romana Rebbelmunds „Appropriation Art. Die Kopie als Kunstform“ erarbeitet.

Die zwei bedeutendsten Einflüsse Warhols bildeten Concept Art und Op Art. Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde vor dem Hintergrund der Erfahrung der Instrumentalisierung gegenständlicher Kunst durch totalitäre Regimes (z.B. im Sozialistischen Realismus) allein eine abstrakte, an die klassische Moderne anknüpfende Kunst wertgeschätzt und forciert. Diese Entwicklung hin zur Abstraktion kulminierte in den 1960er Jahren in der Concept Art. Namensgebend sind das künstlerische Konzept oder die Idee, die im Schaffensprozess im Vordergrund stehen sollten, wie Sol LeWitt, ein Exponent dieser neuen Kunstströmung, in seinen „Sentences on Conceptual Art“ erläutert. Ideen allein könnten schon

als Kunstwerke gelten, ohne dass sie sich notwendigerweise in der physischen Form eines klassischen Mediums wie eines Gemäldes oder einer Skulptur manifestieren müssten. Geschehe dies dann doch, so müsse auch im vollendeten Kunstwerk die Idee des Künstlers stets präsent sein. Ideen können in Schriftstücken, Anleitungen oder Skizzen festgehalten und vermittelt werden. Somit tritt der Prozess der handwerklichen Fertigung des Werkes zugunsten der reinen Idee in den Hintergrund.

Ein anderer wichtiger Vorläufer der Pop Art ist Victor Vasarely als Vertreter der Op Art, der auf innovative maschinelle Verfahren zurückgriff, um seine Kunstwerke zu vervielfältigen. Allerdings handelt es sich bei den Produkten dieser Verfahren nicht um materiell weniger wertvolle Kopien eines bestimmten Originals, das eigentlich alleiniges Ziel des künstlerischen Schaffens ist, sondern um dem Ursprungswerk in jeder Hinsicht gleichwertige Reproduktionen. Um dies zu verdeutlichen, ersetzte er den Begriff des Originals durch den des Prototyps, da mit ersterem stets Einzigartigkeit und Abgeschlossenheit des Werks assoziiert werde, während seine Alternative direkt auf die Reproduzierbarkeit verweise und die Unterschiedslosigkeit betone. Die Etablierung des Begriffs des Prototyps ist zugleich die Geburtsstunde des Multiple. Künstler wie Joseph Beuys ließen Werke ohne Original in beliebiger Anzahl herstellen, setzten den Gedanken des Prototyps also praktisch um.

Die Pop Art der 1960er Jahre und besonders Warhol als einer ihrer wichtigsten Repräsentanten vereinten Elemente der beiden parallel existierenden Kunstrichtungen. Er nutzte Vasarelys Ideen insofern, dass er selbst mithilfe des Siebdruckverfahrens Kopien von Vorlagen anfertigte, die aber selbst schon Reproduktionen waren. Somit kopierte Warhol ebensowenig Originale wie er selbst solche schuf, da in der Kette der „Wiederholung ohne Ursprung“ alle Werke, egal ob Original, Kopie oder Reproduktion der Kopie, gleichwertig sind. Die Konzeptkunst wiederum integrierte er in sein künstlerisches Schaffen, indem er die handwerkliche Fertigung eines Kunstwerks durch maschinelle Produktionsverfahren wie den Siebdruck ersetzte und diese sogar von Angestellten ausführen ließ. So trat der Herstellungsprozess bei Warhol völlig in den Hintergrund.

Das Aufzeigen der Verbindung zwischen diesen drei Kunstströmungen ist notwendig, da die Pop Art den beiden anderen erwähnten Kunstrichtungen mit ihren Sujets diametral entgegengesetzt scheint. Sie bricht mit der Abstraktion und macht den Gegenstand in der Kunst wieder möglich, da ihre Begründer Realien des Alltags in ihren Kunstwerken darstellten. Bei Warhol handelte es sich hierbei um Suppendosen, Dollarnoten, Geschehnisse aus der Tagespresse oder gar Bilder von Verkehrstoten. Doch was intendierte Warhol hiermit? Und wo ist die Verbindung zur „Wahrheit in der Geschichte“, unserem Kursthema?

Warhol adaptierte mit dem Siebdruckverfahren, das auch heute noch in der Textilindustrie Verwendung findet, die Produktionsweise der Großindustrie. Bei Warhol wie in den Fabriken wird ein Produkt, sei es Gebrauchsgegenstand oder ein Kunstwerk, von einem emotional unbeteiligten Angestellten hergestellt. So übte Warhol Kritik am um sich greifenden Warencharakter von Kunst in der US-amerikanischen Nachkriegszeit. Darüber hinaus wurde die Mehrzahl seiner Werke unabhängig vom dargestellten Objekt in der gleichen Weise gestaltet, nämlich mit greller Farbgebung und gleich mehrfach auf nur einem Bildträger. Auf diese Weise imitierte er die zeitgenössische Populärkultur mit ihren aufmerksamkeitsheischenden Darstellungen und konfrontierte den Betrachter mit dem eigenen, unkritischen Konsumverhalten.

Warhol entmystifizierte die Rolle des Künstlers als handwerklich arbeitenden Schöpfer und versuchte, sich der Rolle des Künstlers gänzlich zu entziehen. Des Weiteren gelang es ihm, Kopien anzufertigen, die weitaus wertvoller als ihr Original sind. Warhol hob damit die Dichotomie zwischen Original und Kopie auf und führte die damit einhergehenden konträren Assoziationen wie echt/unecht, kostbar/materiell wertlos oder kreative Kunst/Plagiat ad absurdum. Dies war der erste der tradierten Antagonismen, die wir im Rahmen unseres Kurses dekonstruierten.

Quellen und Literatur

- Romana REBELMUND: *Appropriation Art. Die Kopie als Kunstform im 20. Jahrhundert*, Frankfurt am Main u.a. 1999, S.83-98

6.2 Echt und falsch

oder: Zur Dekonstruktion von Echtheitsvorstellungen

Armin Dashti und Isabella Heil

Im März dieses Jahres kursierten bei dem sogenannten „Varoufakis-Stinkefinger-Skandal“ mehrere scheinbar gegensätzliche Videos in den Medien: Das erste hatte Günther Jauch in seiner Talkshow der breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Es zeigt den damaligen griechischen Finanzminister Yanis Varoufakis, wie er als Redner am 14. oder 15. Mai 2013 in Zagreb beim *Subversive Festival* symbolisch gegen Deutschland den Mittelfinger hebt. Die differierenden Videos hatte Jan Böhmermann wenige Tage später in seinem „Neo Magazin Royale“ in ZDF Neo veröffentlicht. In seinen Kurzfilmen ist immer wieder die gleiche Sequenz, jedoch mit entscheidenden Abwandlungen, zu sehen: Mal reckt Varoufakis den Zeigefinger, mal gar keinen Finger, nie aber den Mittelfinger. Daraufhin beherrschte die mediale Öffentlichkeit nur die eine Frage, ob das Stinkefingervideo echt oder gefälscht sei.

Unter eben diesen Schlagworten „echt und falsch“ eröffneten wir unsere Sitzung, um uns in deren Verlauf aber immer mehr von einer strengen Gegensätzlichkeit (Dichotomie) der beiden Begriffe und damit auch einer unterkomplexen Antwort zu distanzieren. Zunächst stellten wir uns mit einer Galerie mehrerer nahezu identischer Bilderpaare die Aufgabe, jeweils eine der beiden Abbildungen als „falsch“ zu bewerten. Anschließend wurde unser intuitives Urteil durch eine Chronologie der Geschichte der Fotofälschung herausgefordert:

In einer ersten Phase, die bis etwa 1880 andauerte, kamen sehr begrenzte Bildbearbeitungsverfahren zum Einsatz, die dem Ausgleich der technischen Defizite in der Frühphase der Fotografie dienten. Nach der Aufnahme retuschierte man die Bilder mittels fotografischer Montagen, um beispielsweise zu kurze Belichtungszeiten von bewegten Objekten auszugleichen. Diese „Retusche“ erfüllt die Kriterien, welche man in Definitionen von fotografischer Fälschung finden kann, wenngleich diese „Fälschungen“ oft auf eine Steigerung der mimetischen Funktion der Bilder zielten. Neben dieser technischen Bearbeitung des Bildes konnte eine Verfälschung auch außerhalb der Fotografie durch Kontextualisierung geschehen, beispielsweise beim *Kriegsrat von Sewastopol*, den Roger Fenton 1855 angeblich während des Krimkriegs aufnahm. Laut Bildtitel zeigt das Foto die entscheidende Konferenz der Oberbefehlshaber am Morgen vor dem entscheidenden Angriff; bei dem abgebildeten Motiv handelt es sich jedoch um ein Kommandeurstreffen.

Eine zweite Phase der fotografischen Fälschung begann, als man das Potential der Retusche beispielsweise zum Zweck der Dramatisierung entdeckte. Eine erste bewusst verfälschende Nachbearbeitung nahm Eugène Appert an seiner Fotografie *Massacre des Dominicains d'Arcueil* (1871) vor. Fast alle auf diesem Bild abgebildeten Personen wurden nach der Aufnahme hineinmontiert. Apperts tendenziöse Nachbearbeitung ist das erste nachweisbare Beispiel von Geschichtsklitterung in Form einer Fotografie. Eine dritte Möglichkeit der Fotofälschung durch Inszenierung des Motivs vor der Aufnahme fand durch das Einführen von Halbtonbildern in der Presse in den 1890er Jahren Verbreitung. Diese waren einfach und günstig herzustellen (und dabei leicht zu manipulieren), sodass die Fotografie die Pressezeichnungen verdrängte. Diese Inszenierungspraxis machte es schwer, zwischen leicht veränderten und tatsächlich massiv neu kreierte Fotos zu unterscheiden – ein Wendepunkt in der Geschichte der Fotografie war erreicht.

Die vierte, aktuelle Phase der fotografischen Fälschungen durch die digitale Revolution ermöglicht mithilfe von Bildbearbeitungsprogrammen ein weitaus größeres Ausmaß an Fälschungsmöglichkeiten. Durch ihre Omnipräsenz besitzen die Bilder heute gleichfalls ein unvorstellbares Maß an Macht und Einfluss.

Nach dieser Konfrontation mit den Techniken der Fotofälschung folgte ein zweiter Durchgang durch die Fotogalerie, bevor das Bilderrätsel aufgelöst wurde: Zu unserer eigenen Überraschung hatte der Großteil von uns die Fälschungen anhand von unnatürlich wirkenden Farben, ungewöhnlichen Seitenverhältnissen oder der Veränderung einzelner Elemente erkannt. Nach diesen technischen Beobachtungen erörterten wir den historischen Kontext der Bilder und wandten uns damit der verfälschenden Kontextualisierung zu; anhand eines Texts zum Varoufakis-Skandal diskutierten wir, wie problematisch mit dieser Aufnahme umgegangen worden war, die man zwar unverändert beließ, aber in einen tendenziösen Zusammenhang setzte.

Horst Fuhrmanns Vortrag *Über die Wahrheit der Fälscher* brachte neue Aspekte in unsere Debatte. An einer anderen historischen Quellengattung, den mittelalterlichen Urkunden, erörtert Fuhrmann, dass ihre Fälschungen mehrere Kategorien, wie „formal falsch/richtig“ und „(un)geeignet sein“, erfüllen können. Seine Differenzierung ließ uns die dichotomischen Alternativen echt und falsch zugunsten eines mehrdimensionalen Konzepts aufgeben. Diese Überlegungen bezogen wir abschließend noch einmal auf den Varoufakis-Skandal: Wie verhält es sich mit Böhmermanns Manipulationen an dem Video? Sind sie etwa doch „Fälschungen“? Nach dem tagelangen Rätseln um die Echtheit des Videos hatte die Medienlandschaft in dem Begriff der Satire für Jan Böhmermanns Videomontage plötzlich eine neue sprachliche Kategorie jenseits der scheinbaren Gegensätze echt und falsch gefunden – so wie auch wir weitere Dimensionen angenommen haben. Am Ende unserer Betrachtungen und am Ende des Varoufakis-Skandals steht also nicht die Frage, was echt und falsch ist, sondern die Erkenntnis, dass Echtheit eine Frage der technischen Möglichkeiten und noch vielmehr der Definition und des (historischen) Kontextes ist.

Quellen und Literatur

- Harald STAUN: Die Lüge der echten Bilder, *FAZ Online* (22. März 2015), <http://www.faz.net/-gqz-81976> [01.08.2015]
- Böhmermann-Beitrag zu Varoufakis war Satire, *ZEIT ONLINE* (19. März 2015), www.zeit.de/kultur/film/2015-03/zdf-jan-boehmermann-yanis-varoufakis-stinkefinger-guenther-jauch [01.08.2015]
- Horst FUHRMANN: Von der Wahrheit der Fälscher, in: *Fälschungen im Mittelalter. Internationaler Kongress der Monumenta Germaniae Historica, München, 16.-19. September 1986, Bd. 1*, Hannover 1988, S.83-98
- Hans Walter HÜTTER (Hg.): *X für U – Bilder, die lügen. Begleitbuch zur Ausstellung, Stiftung Haus der Geschichte der Bundesrepublik Deutschland*, Bonn 2003
- Ulrich KELLER: Fotofälschung, in: *Handbuch der politischen Ikonographie, Bd. 1*, München 2011, S. 360-365

6.3 Das Übersetzerproblem am Beispiel des historischen Spielfilms

Eva Lange und Nina Quandt

Historienfilme zählen in unserer stark durch Bildmedien beeinflussten Zeit zu einem der wichtigsten Instrumente der historischen Bildung. Die Visualisierung historischer Ereignisse ermöglicht mit prächtig inszenierten Bildern und actionreichen Szenen neben einem spannenden Filmerlebnis auch das Abgreifen von geschichtlichem Wissen. Fällt auf Grund dessen den Filmemachern die Aufgabe zu, historische Fakten akkurat abzubilden?

Die grundlegenden Erwartungen an das Genre Historienfilm sind sehr unterschiedlich. Im Kurs wurde von unserem konkreten Filmbeispiel „Königreich der Himmel“ (Ridley Scott, 2005) z.B. erwartet, dass Personen, Motive, Handlungen und Ereignisse *authentisch* dargestellt werden. Unterhaltsamkeit und Multiperspektivität seien genauso wichtig wie eine lehrreiche Erfahrung. Nach Scotts gefeiertem „Gladiator“ wurde sein zweiter Historienfilm von Filmkritikern sehr unterschiedlich aufgenommen, was ihn für eine genauere Betrachtung interessant machte.

Viele Rezensenten zerrissen „Königreich der Himmel“ geradezu in der Luft. Die Wiedergabe der historischen Fakten sei mangelhaft und ungenügend. Scott habe sich „an der Historie verhoben“, zeige „kaum Interesse“ an den Kreuzzügen und den gesellschaftlich-politischen Umwälzungen jener Zeit (Nicodemus). Befürworter des Films hingegen waren der Meinung, dass der Film viele historische Details sehr genau abbilde und damit auch ein Gefühl der dargestellten Zeit vermittele. Begeisterung ernteten vor allem die „prächtig inszenierten Bilder“ und der „Erzählteppich voll bewegender Konflikte“ (video.de). Doch die Umsetzung des Genres Historienfilm sei nicht gelungen, so Kritiker. Das Werk Scotts habe das „Pathos eines Kriegsfilms“ und sei gleichzeitig ein „langweiliges Ritter-Abenteuer“ (Schock).

Kurz zum Inhalt des Films: Der junge französische Schmied Balian zieht nach dem Selbstmord seiner Frau mit seinem Vater ins Heilige Land, damit er dort um die Tilgung ihrer Sünde bitten kann. Er erbt den Fürstentitel seines Vaters und muss nun die Baronie Ibelin in einer Zeit politischer Unruhen schützen. Viele gottesfürchtige Krieger und religiöse Eiferer versuchen das friedliche Zusammenleben der Religionen durch Überfälle und Intrigen ins Wanken zu bringen. Der leprakranke König Jerusalems, Balduin IV., der den Frieden sichern will, versagt schließlich vor der Übermacht der Glaubenskrieger. Als er stirbt, lässt sich eine Schlacht um Jerusalem nicht mehr verhindern. Nun ist es Balian's Aufgabe, das Volk Jerusalems zu schützen.

Ist das, was wir im Film erzählt bekommen, nun also authentische Geschichte?

Wenn ein Regisseur es sich zur Aufgabe macht, Historie in einen Film zu übersetzen, wird er mit einem alten Problem konfrontiert: Wort-für-Wort-Übersetzung oder sinngemäße Übersetzung? Der Regisseur kann Geschichte Wort-für-Wort (wir nannten das: akkurat) wiedergeben. Dies führt allerdings häufig zu Verständnisproblemen beim Zuschauer, da sich Normen, Werte und Botschaften im Laufe der Zeit verändert haben. Die Alternative hierzu kann eine sinngemäße (wir nennen es: authentische) Übersetzung sein, bei der die Historie an die Erwartungen des Zuschauers angepasst wird. So wird die Historie zwar nicht akkurat wiedergeben, der Zuschauer hat aber die Chance, die dargestellten Motive und Handlungen nachvollziehen zu können. Am Beispiel des Filmcharakters Balian von Ibelin und dessen Vater ist die authentische Übertragung Scotts besonders gut zu erkennen:

Laut der Geschichtsschreibung ging Barisan, Vater von Balian, als Landadliger aus Norditalien nach Jerusalem und errangt die Baronie Ibelin, die größte und einflussreichste im Königreich Jerusalem. Als

enger Berater des Königs genoss Barisan von Ibelin ein hohes Ansehen bei Hofe. Sein Sohn Balian, geboren in Jerusalem, wurde vom Vater zum guten Ritter erzogen. Nach dem Tod des Vaters trat Balian in dessen Fußstapfen, wurde zum „Verteidiger Jerusalems“ und Beschützer des Volkes.

Scott komprimiert also zwei Generationen in eine und macht den sozialen Aufstieg im Film noch bemerkenswerter: vom einfachen Schmied zum Baron und engen Vertrauten des Königs, schließlich sogar zum Verhandlungspartner Saladins, dem mächtigsten Mann der Welt. Ein solcher Aufstieg wäre damals innerhalb einer Generation undenkbar gewesen. Der Balian im Film begegnet seinem Vater das erste Mal als junger Mann und begleitet ihn ins Heilige Land. Auf der Reise bildet der Vater Balian zwar im Eilverfahren im Schwertkampf aus, vererbt ihm die Baronie Ibelin und schlägt ihn auf dem Totenbett zum Ritter, doch die moralische und körperliche Ausbildung zum Ritter gelingt erst im Wachsen an den Aufgaben, denen er sich im Heiligen Land gegenüber sieht. Die Vorlage für den Vater *Godfrey* stellt die historische Figur *Gottfried von Bouillon* dar. Dieser ist als führender Kreuzritter des ersten Kreuzzuges in die Geschichte eingegangen, als er nach erfolgreicher Einnahme Jerusalems die Königskrone mit den Worten ausschlägt, er werde keine Krone an dem Ort tragen, an dem Jesus die Dornenkrone getragen hat. Dies lässt ihn als beispielhaft moralischen und idealistischen Ritter in die Geschichte eingehen.

Scott verändert die Historie also, um dem Zuschauer die Ausmaße des Erfolgs Balian und dessen Vaters deutlich vor Augen zu führen. Er übersetzt die Geschichte des 12. in die des 21. Jahrhunderts. „Königreich der Himmel“ ist also nicht nur ein prächtig inszenierter Spielfilm, er ist auch eine gelungene authentische Übersetzung der Geschichte. Die Frage, wie *wahr* die Vater/Sohn-Beziehung von Scott erzählt wird, greift also zu kurz. Wie wir festgestellt haben, scheint es zwei Wahrheiten zu geben: die historisch authentische und die, die der Filmregisseur dem Publikum verkauft, nachdem er sie für die breite Masse übersetzt hat. Der Vorwurf gegen Scott, er habe die historischen Fakten nicht akkurat dargestellt, ist zwar richtig, täuscht aber darüber hinweg, dass die Übersetzungsleistung den authentischen Kontext oft genug „korrekt“ wiedergibt.

Quellen und Literatur

- *Königreich der Himmel* [orig. *Kingdom of Heaven*] (2005, Regie: Ridley Scott, 144 Min.)
- *Königreich der Himmel*, <http://www.video.de/videofilm/koenigreich-der-himmel-dvd-leih/87067> [18.09.2015]
- Katja NICODEMUS: Die Schlacht um Buxtehude, *ZEIT ONLINE* (04. Mai 2005), http://www.zeit.de/2005/19/Ridley_Scott [18.09.2015]
- Flemming SCHOCK: Give Me a War, <http://www.filmspiegel.de/filme/filme.php?id=2620> [18.09.2015]

6.4 Offenbarte Wahrheiten

Über Heiligenviten und das mittelalterliche Wahrheitsverständnis

Stefan Zheng und Julia Wirth

Die Drachen in Heiligenviten sind wahr! Dieser Satz ist für Leser im 21. Jh. sicherlich irritierend – und dennoch ist er nach dem mittelalterlichen Wahrheitsverständnis nachvollziehbar. Heiligenviten waren im Mittelalter weit verbreitete Texte, die vom Leben und Wirken von Heiligen berichten. Oft enthalten sie Erzählungen von Wundern, wie z. B. von der Tötung eines Drachen. Derartige Geschichten

erscheinen heute wenig realistisch – im Mittelalter glaubte jedoch ein Großteil der Menschen an den Wahrheitsgehalt von Wundern, ohne jemals selbst ein Wunder erfahren zu haben. Nur durch ein grundlegend verschiedenes Verständnis von Wahrheit (und Geschichtsschreibung) war dieser Glaube an Wunder möglich.

Um eine Erklärung für diesen Umstand zu finden, haben wir uns im Kurs zunächst mit dem Wahrheitsverständnis von mittelalterlichen Geschichtsschreibern beschäftigt, das in Kontrast zu einigen neuzeitlichen Annahmen über die Konstruktion von Wahrheit gesetzt wurde. Im Mittelalter wurde Geschichtswissenschaft nach heutigen Maßstäben weder objektiv noch quellenfundiert betrieben. Die Historiker des Mittelalters nahmen an, dass der Begründer und Lenker der Geschichte Gott sei. Sie gingen von einer engen Beziehung zwischen dem Irdischen und dem Transzendenten aus, die sie beide als real annahmen. Eine Unterscheidung zwischen Fakten und Fiktionen nach heutigem Maßstab war daher nicht Teil des mittelalterlichen Wahrheitsverständnisses. Ereignisse auf der Erde wurden als Zeichen und Offenbarung Gottes gedeutet, der heilend, belohnend, aber auch strafend in die Geschichte eingriff. Vorbildwirkung hatte bei der Interpretation dieser Ereignisse immer die Bibel, die den Anfang der Geschichtsschreibung bildete und deren Geschichten als exempla weiterhin Aktualität besaßen, mit deren Hilfe Gottes Wirken und damit die absolute und immer gültige Wahrheit der göttlichen Ordnung hinter jedem historischen Ereignis in der Welt deutlich gemacht und entschlüsselt wurden.

Erklärtes Ziel der mittelalterlichen Geschichtsschreibung war es somit, durch die Offenlegung von Gottes Wirken in der Welt die Menschen zu einem gottgefälligen Leben zu erziehen. Sie sollten aus der Geschichte lernen und die darin handelnden Personen sollten Vorbilder zur Nachahmung oder abschreckende Beispiele darstellen. Mittelalterliche Geschichtsschreiber folgten somit weniger dem allein „irdischen“ Verlauf der Geschichte, sondern sahen ihre Aufgabe in der Interpretation der „eigentlichen“ Wahrheit und ihrer Vermittlung an die Menschen.

Dieses auf eine göttliche Wahrheit zentrierte Wahrheitsverständnis des Mittelalters wird in Heiligenviten ganz besonders deutlich, in denen dieser Zweck durch die schematische stilistische Gestaltung noch untermalt wird. Eine der bekanntesten Sammlungen von Heiligenlegenden stellte der Dominikaner und Genueser Erzbischof Jacobus de Voragine (ca. 1228-1298) zusammen. In seiner „Legenda Aurea“ sammelte er sowohl Texte über die wichtigsten Kirchenfeste als auch Heiligenviten, die er in der Reihenfolge des Kirchenjahres anordnete. In ihrer Gestaltung bediente er sich größtenteils des prototypischen Schemas einer Vitenerzählung, das wir anhand der Vita des Heiligen Dominikus beispielhaft analysierten und auf seine Funktion hin untersuchten.

Die Vita beginnt mit einer Beschreibung der Kindheit und Jugend des Heiligen. Typisch für diesen Teil der Erzählung ist es, dass sich der Heilige meist bereits in jungem Alter durch bestimmte, meist besonders asketische Charaktereigenschaften oder sogar das Vollbringen erster Wunder von anderen Kindern unterscheidet. In diesem Fall ist bereits seine Geburt von Zeichen begleitet, seine Rolle ist von Beginn an von Gott vorbestimmt. Dieses Charakteristikum setzt sich in seinem weiteren Leben fort. Obwohl auch von der Ordensgründung der Dominikaner berichtet wird, ist das vorherrschende Motiv das eines Lebens für Gott, gekennzeichnet durch Askese und eine vollständige Ablehnung aller nur auf das Diesseits konzentrierten Tätigkeiten, die lediglich eine Ablenkung von seinem Dienst an Gott darstellen. Es ist weiterhin gekennzeichnet durch Wunder, die oft an die Wunder Jesu erinnern und somit ein Ausdruck für Gottes aktives Eingreifen in der Welt und die Vorbildwirkung Jesu sind. In einem letzten Teil wird von postmortalen Wundern berichtet, die in Verbindung mit Dominikus' Reliquien stehen.

Es war also Gott, der in der Darstellung der Vitenautoren das Leben der Heiligen lenkte und bestimmte, die wiederum ihre Verbindung zu Gott durch ein beispielhaftes Verhalten zu stärken suchten. Diese Grundaussage und das damit verbundene Schema spielten eine wichtige Rolle für die herausragende Bedeutung der Heiligenviten im Mittelalter. Ihr ständiges Wiederkehren erzeugte eine Erwartungshal-

tung beim Leser, die weniger auf die im heutigen Sinne historisch korrekten Lebensdaten des Heiligen oder auch die tatsächliche Existenz von Drachen und Wundern ausgerichtet war als vielmehr auf die Botschaft, den Symbolcharakter und die dahinter liegende „eigentliche Wahrheit“, die in seinem Leben steckte. Hier war es also nicht nur der Historiker oder Vitenautor, der diese Wahrheit offenlegte, sondern auch der Leser selbst, der die Viten gerade durch das auf Gottes Wirken ausgerichtete Wahrheitssystem des Mittelalters in einer bestimmten Art und Weise interpretierte und eben durch die Gleichartigkeit des Schemas immer wieder aufs Neue die Inspiration und Berührung finden konnte, die er suchte und erwartete.

Quellen und Literatur

- Jacobus DE VORAGINE: *Legenda Aurea. Heiligenlegenden*, übers. v. Jacques Laager, Zürich 1990
- Verena EPP: Von Spurensuchern und Zeichendeutern. Zum Selbstverständnis mittelalterlicher Geschichtsschreiber, in: Johannes Laudage (Hg.), *Von Fakten und Fiktionen. Mittelalterliche Geschichtsdarstellungen und ihre kritische Aufarbeitung*, Köln u.a. 2003, S.43-62
- „Hagiografie“, <http://de.wikipedia.org/wiki/Hagiographie> [17.04.2015]

6.5 Faktizität und Fiktionalität

bei Hayden White

Anastasia Reiß und Dalila Truchan

In der heutigen Gesellschaft verfallen wir häufig der Illusion, dass sich der Roman und ein Geschichtswerk grundlegend voneinander unterscheiden. Die klassische Unterscheidung ist, dass der Roman sich mit vorgestellten Ereignissen, mit Gefühlen und Atmosphäre, die mit schöner und zusammenhängender Sprache erzählt werden, beschäftigt. Der Historiker beschäftigt sich mit Ereignissen, die tatsächlich beobachtbar sind, und versucht diese in möglichst fachlicher und objektiver Sprache wiederzugeben.

In unserer Sitzung verglichen wir zwei zunächst unbekannte Textstellen, die jeweils auf ihre eigene Art und Weise denselben Abschnitt aus Nietzsches Leben und seiner Beziehung zu Lou Salomé darstellten. Eine der beiden Textausschnitte stammte aus dem Roman „Und Nietzsche weinte“ von Irvin Yalom, die andere aus einer Biographie Nietzsches von Rüdiger Safranski. Auf den ersten Blick scheint die Zuordnung leicht. Der Romantext beschreibt die emotionale Innenwelt Nietzsches intensiv und persönlich, der historische Text baut Distanz auf und ist sehr sachlich geschrieben. Diese Annahme stellte sich jedoch als falsch heraus – in unserem Fall verhielt es sich sogar genau andersherum.

Es zeigt sich, dass wir zwar eindeutige Vorstellungen von den unterschiedlichen Merkmalen eines Romans und eines historischen Werks haben, mit Hayden White können wir aber erkennen, dass diese Vorstellung von Unterschiedlichkeit tatsächlich eine historisch gewachsene ist. Bis etwa zur Französischen Revolution galt die Geschichtsschreibung als Teil der Rhetorik und somit als literarische Kunst mit fiktionalem Charakter. Unterschieden wurde zwischen dem Studium der Geschichte und dem Schreiben von Geschichte. Das Erfassen der „Wahrheit“, so war man überzeugt, konnte nur durch Fiktion gelingen, nur fiktionale Darstellungsverfahren konnten diese Wahrheit dem Leser darbieten. Die Wahrheit wurde also nicht – wie heute oft üblich – mit Fakten gleichgesetzt, sondern mit einer Kombination von Tatsachen und Sprache.

Im 19. Jh. veränderte sich dieses Verständnis: Wahrheit wurde geradezu zum Gegenteil von Fiktion genannt und mit dem Faktischen gleichgesetzt. Im Gegensatz zum 18. Jh. galt Fiktion nun als Hindernis

für das Erfassen von Wahrheit. Für die Historiker war der Traum von einem faktengetreuen Diskurs geboren, der mit der Zeit den wahren Sinn der Geschichte offenbaren sollte. Es setzte sich die Annahme durch, Geschichte könne zu Erkenntnissen wie jener der Naturwissenschaften führen; unterschiedliche Deutungen historischer Ereignisse seien nur die Folge von unzureichendem Faktenmaterial oder ideologischen Vorurteilen. Im 19. Jh. wurde damit eindeutig unterschieden zwischen der Geschichte als Studium des Wirklichen und der Fiktion als Studium des nur Vorstellbaren.

Grund für diese Entwicklung in der Geschichtswissenschaft war eine starke Abneigung gegenüber allen Formen des Mythos – und zwar in Folge der politischen und gesellschaftlichen Umbrüche jener Zeit. Die Fiktion in der Geschichtsschreibung habe Mythen entstehen lassen, die zu falschen Leitbildern wurden. Die politisch Linke und Rechte gab diesem mythischen Denken die Schuld für die Ausartungen bzw. Fehlschläge der Revolutionen, die das 19. Jh. prägten. Das selbstbewusste Bürgertum entwickelte daraufhin ein neues Wahrheitsverständnis und machte die Fiktion zum Feind der Geschichtsschreibung. Von nun an sollte jede Spur von Fiktion aus dem historischen Diskurs getilgt werden.

Nach diesem Wahrheitsverständnis, das letztlich bis heute Aktualität besitzt, schafft – vereinfacht gesagt – der Romanautor ein Abbild der Wirklichkeit, indem er mit sprachlichen Mitteln Kohärenz in seiner Erzählung produziert. Er muss diese Kohärenz erst schaffen, da er sich mit fiktiven Ereignissen beschäftigt. Der Historiker hingegen schafft ein Abbild der Wirklichkeit, indem die Ereignisse seiner Erzählung in Korrespondenz mit realen Ereignissen stehen. Die Kohärenz entstehe dabei quasi von selbst. Die moderne Literaturwissenschaft würde diesem Modell zu Recht widersprechen: Der Romanautor schafft nicht nur Kohärenz, seine Ereignisse korrespondieren auch immer mit bestimmten Bereichen der menschlichen Erfahrung, denn erst durch die Bezugnahme auf unsere Erfahrungen werden fiktive Ereignisse für uns nachvollziehbar.

White weist darauf hin, dass aber auch jeder Historiker (und das gilt ebenso für die des 19. Jhs.) nicht bloß Korrespondenz erzeugt, sondern seiner Erzählung mit sprachlichen Mitteln Kohärenz verschafft. Die Ereignisse einer historischen Darstellung korrespondieren nicht nur mit realen, außertextuellen Ereignissen, sie müssen auch in sich plausibel und zusammenhängend dargestellt werden. Literarische wie historiographische Texte arbeiten also mit denselben Mitteln und müssen beide eine Prüfung auf Korrespondenz ebenso wie auf Kohärenz bestehen, um für den Leser überzeugend, also „wahr“ zu erscheinen.

Auch rein formal, auf sprachlicher Ebene, lassen sich Romane und Geschichtsdarstellungen oft kaum unterscheiden. Die traditionelle Annahme vieler Historiker, dass die Sprache ein neutrales und objektives Darstellungsmittel sei und man somit den Prozess des Schreibens vollkommen in den Hintergrund rücken könne, ist nicht haltbar. Die Fakten können nicht für sich selbst sprechen, erst durch ihr Auswählen, Ordnen und Zusammensetzen entsteht eine sprechende Erzählung. Dies gilt sowohl für den Romanautor als auch für den Historiker. Durch unterschiedliches Ordnen und Gewichten der Fakten können Ereignisse innerhalb einer Ereignisfolge verschiedene Funktionen erhalten, es entstehen folglich unterschiedliche Bedeutungen in den Geschichtswerken. Mit White gesagt: Es gibt also genauso viele unterschiedliche Formen der Geschichtsschreibung wie es unterschiedliche Formen der Fiktion gibt.

Quellen und Literatur

- Rüdiger SAFRANSKI: *Nietzsche. Biographie seines Denkens*, Frankfurt am Main 2002
- Irvin D. YALOM: *Und Nietzsche weinte*, München 2009
- Hayden WHITE: *Auch Klio dichtet oder die Fiktion Faktischen. Studien zur Tropologie des historischen Diskurses*, Stuttgart 1991, S.145-160 [Kap. 5: Die Fiktionen der Darstellung des Faktischen]

6.6 Realismus und Verismus

oder: Zur mimetischen und nicht-mimetischen Wahrheit in Kunst und Literatur

Katharina E. Kraus und Isabella Heil

Der Begriff des *Realismus* scheint auf den ersten Blick selbsterklärend zu sein. Das allgemein vorherrschende Verständnis würde wohl eine Abbildung der Wirklichkeit beinhalten. Inwiefern aber sind der Realismus und der Verismus in Literatur und Bildender Kunst tatsächlich mimetische Bestrebungen?

Der Poetische oder Bürgerliche Realismus ist ein geläufiger literarischer Epochenbegriff für die zweite Hälfte des 19. Jhs. Theodor Fontane schlägt in seinem von uns in dieser Sitzung besprochenen Aufsatz *Unsere lyrische und epische Poesie seit 1848* selbst eine Definition des von ihm freudig begrüßten Realismus vor. Zunächst definiert er *ex negativo*, was der Realismus nicht ist – nämlich „ein nacktes Wiedergeben alltäglichen Lebens, am wenigsten seines Elends und seiner Schattenseiten“. Laut Fontane handelt es sich positiv gesprochen um die „Widerspiegelung alles wirklichen Lebens“, die sich nicht das Handgreifliche, sondern das „Wahre“ zum Ziel gesetzt habe. Dieses „Wahre“ des Bürgerlichen Realismus entsteht thematisch durch ein künstlerisches Läutern der Realität, indem alles Negative (wie beispielsweise soziale Missstände) getilgt und die bürgerliche Lebenswelt fokussiert wird. So erfolgt im Realismus eben keine totale Mimesis, sondern eine allegorische Aufladung (Märchen, Mythen, christliche Metaphorik) des Dargestellten.

Die Bezeichnung *Verismus* ist zunächst ebenfalls literaturgeschichtlich und auf die italienische Literatur des 19. Jh. begrenzt. Erst vor wenigen Monaten aber verwendete das Liebieghaus in Frankfurt das Adjektiv veristisch (von lat. *verus*; wahr, echt) im Untertitel der Ausstellung „Die große Illusion“, um mimetisch wirkende Skulpturen zur überschreiben. Bereits etabliert ist in der Bildenden Kunst der Begriff des Realismus (von lat. *res*; Sache) für eine Strömung des 19. Jhs. Doch hier drängen sich für die beiden Begriffe die Fragen auf, *wie realistisch ist der Realismus und was ist Wahres am Verismus?*

Eine der im Liebieghaus ausgestellten Skulpturen haben wir in unserer Sitzung genauer analysiert. Sie stammt von dem Künstler Sam Jinks und ist eindeutig hyperrealistisch oder fotorealistisch gestaltet, weil sie zwei Menschen in Größe und Aussehen exakt nachzubilden scheint. Gleichzeitig steht sie in der (ikonographischen) Tradition des Vesperbilds:

Das Andachtsbild erlebte seine Blütezeit besonders im 14. und 15. Jh. und bildet den Oberbegriff u.a. für das Vesperbild. Es werden Szenen oder Momente verbildlicht, welche an die Empathie des Betrachters appellieren. Bezüglich seiner Bedeutung bewegt sich das Andachtsbild zwischen einem Repräsentations- und einem erzählenden Bild. Bei jedem Vesperbild handelt es sich um ein Bild oder eine Statue der trauernden Muttergottes mit ihrem toten Sohn, einer isolierten Zweiergruppe. Das Vesperbild vergegenwärtigt als „unhistorisches, archetypisches Bild“ eine innere Phantasievorstellung. Der Begriff der Pietá wird oft (und auch von uns) als Synonym für die Bezeichnung Vesperbild verwendet. Er bedeutet „Barmherzigkeit“ und „Mitleid“ und beschreibt somit eher die Gefühle, die durch das Betrachten beim Rezipienten ausgelöst werden.

Die jeweilige Interpretation des Vesperbilds äußert sich im Aufkommen verschiedener Typen. So herrschte Mitte des 14. Jh. der *Schmerzenstypus* vor, dessen Darstellung auf das Leid und Opfer Christi ausgelegt war. Später verschob sich der interpretatorische Schwerpunkt mit der *lächelnden Pietá* auf die Erlösung als eigentlichem Sinn der Passion. Im Zuge des *Weichen Stils* (1380-1420) wurde der Ausdruck der Marter in der Darstellung zurückgedrängt und auf das innere Bejahen des Todesopfers verwiesen. Um 1500 tauchten der *Humilitas*- und der *Gnadenstuhltypus* auf.

Trotz aller Unterschiede zwischen den einzelnen Typen lassen sich ikonographische Traditionslinien herausarbeiten. Ikonographische Grundtypen sind die Sitzmadonna, die stets mit einem langen Gewand und daher einem Faltenwurf im unteren Drittel der Skulptur verbunden ist, die Schmerzensmutter

und der Gekreuzigte. An der ikonographischen Tradition lässt sich zeigen, dass die Vesperbilder nicht die Wirklichkeit nachahmten. Stattdessen wurde die Darstellungsweise dem jeweiligen Interpretationsschwerpunkt angeglichen. So entstand Michelangelos sogenannte römische *Pietà* (1498) nicht als Porträt einer jungen Frau mit ihrem toten Sohn auf dem Schoß, sondern die ikonographische Darstellung als Sitzmadonna und lächelnde *Pietà* eröffnet die Interpretation von Erlösungshoffnung.

Sam Jinks übersetzte den Bildgehalt 2014 in einen anderen Kontext, wobei er die Positionierung und Modellierung einer „klassischen“ *Pietà* imitierte. Es wurden Materialien wie Echthaar verwendet, das Altersverhältnis und auch das Geschlecht des Trauernden wurden vertauscht. Trotz scheinbar perfekter Mimesis liegt der Fokus unverkennbar auf dem Zitat der Sitzmadonna, wenn man die Skulpturengruppe beispielsweise mit Michelangelos römischer *Pietà* vergleicht: Von der Kopfneigung und der Fingerhaltung über die Positionierung und Nacktheit des Leichnams bis zu dem Faltenwurf im unteren Drittel der Skulptur und der entsprechenden Proportionierung hin ist ersichtlich, dass hier der trauernde Mann die Rolle der Sitzmadonna, der tote Vater die des Jesus in der ikonographischen Tradition des Vesperbilds einnimmt.

Wie in der Literatur bedient sich eine realistische Strömung in der Bildenden Kunst also parallel zu ihren mimetischen Bestrebungen auch der Allegorie und der Intertextualität. Der Anspruch nach „Wahrem“ erschöpft sich nicht in einer unverfälschten Wiedergabe der Realität, die ohnehin ein niemals erreichbares Ideal ist. Der Realismus nach Fontane und die Bestrebung in der Bildenden Kunst, die Wirklichkeit abzubilden, haben also eines gemeinsam: dass sie von Vorneherein zum Scheitern verurteilt sind, was ein genaues Abbilden anbelangt.

Quellen und Literatur

- Theodor FONTANE: Unsere lyrische und epische Poesie seit 1848, in: *Deutsche Annalen zur Kenntnis der Gegenwart und Erinnerung an die Vergangenheit, Bd. 1*, 1853, S. 353-377 [ND 140-148]
- Sam JINKS, *Untitled (Pietà)*, 2014, <http://erhard-metz.de/2014/10/13/liebieghaus-praesentiert-die-grosse-illusion-veristische-skulpturen-und-ihre-techniken-folge-2/>
- Jutta FINKE: *Das Vesperbild in der süddeutschen Plastik des 17. und 18. Jahrhunderts*, München 1985
- Peter HAWEL: *Die Pietà. Eine Blüte der Kunst*, Würzburg 1985

6.7 Wie wahr sind Erinnerungen?

Miriam Mayer und Julia Wirth

„Erinnerungen sind ein Raum in uns. Ich glaube, dass alle unsere Erfahrungen und Erlebnisse dort liegen und dass wir durch ein kleines Ereignis daran erinnert werden können“, schreibt der norwegische Autor Karl Ove Knausgård in seiner Bestseller-Autobiografie. Doch so einfach ist es nicht mit den Erinnerungen. Sie sind vielmehr höchst unzuverlässig, da unser Gedächtnis sie im Zusammenspiel mit einer großen Anzahl interner und externer Faktoren stets neu konstruiert. Diese Konstruktion findet auf drei Ebenen statt: Von unserer Wahrnehmung, die der Erinnerung vorausgeht, über den Versuch, unsere Erinnerungen abzurufen und zu fassen, bis zu deren Kommunikation.

Erinnerung und Gedächtnis sind Begriffe, die wir oft beiläufig gebrauchen, ohne uns ihrer genauen Bedeutung bewusst zu sein. Laut populärwissenschaftlicher Definitionen (z.B. „Spektrum der Wissenschaft“) ist das Gedächtnis unsere Fähigkeit, individuell erworbene Informationen abrufbar zu speichern, die Erinnerung wiederum die Reaktivierung dieser Informationen. Wesentlich differenzierter

unterscheidet z.B. der Neurowissenschaftler und Psychologe Larry Squire neben bewussten Erinnerungen aus der eigenen Lebensgeschichte und reinem Faktenwissen auch automatisierte Handlungen, die wir uns durch einen Lernprozess in der Vergangenheit angeeignet haben, als Formen von Gedächtnis. Doch selbst dieser Ansatz kann die Komplexität von Gedächtnis- und Erinnerungsprozessen nur unzureichend abbilden.

Diese Problematik wird bereits auf der Ebene der Wahrnehmung deutlich: Unser Gehirn filtert automatisch Sinneseindrücke heraus, die einen Signalcharakter besitzen und die wir dann unbewusst oder bewusst wahrnehmen. Diese Informationen werden tagsüber aktiv weiterverarbeitet – also vergessen oder gespeichert – und im Schlaf je nach Relevanz und emotionaler Betroffenheit weiter gefiltert. Was wir wahrnehmen, hängt außerdem stark von unseren auf Erfahrung beruhenden Erwartungen ab. Neben einer ständigen Interpretation unserer Sinneseindrücke durch diese sind sie Kriterium und determinierender Faktor für die Kontextualisierung gespeicherter Informationen. Unser Gehirn erstellt auf diese Weise ein kohärentes Netz aus Erinnerungen, das allerdings dynamisch und fehlbar ist. Und so verändert auch jeder Versuch des Abrufs unserer Erinnerungen diese, da wir sie, um sie für uns fassbar zu machen, nicht nur in kausale Zusammenhänge bringen und ordnen, sondern sie auch immer wieder im Licht der gegenwärtigen Situation interpretieren und anpassen müssen. Erst recht geschieht dies bei jeder Kommunikation der Erinnerung an Andere: Das liegt zum einen an der Unmöglichkeit der Übersetzung einer ganzheitlichen Erinnerung in die Sprache, zum anderen an der Anpassung der Erinnerung an den öffentlichen sozialen und kulturellen Raum, in dem sie wiedergegeben wird.

Trotz dieser Probleme besteht eine allgemeine Vorstellung darüber, wann Erinnerungen als „authentisch“, also nach Reinhard Koselleck als wahr und zuverlässig, empfunden werden, was wir auch in unserer Sitzung anhand eines Experiments nachweisen konnten. Kriterien für zuverlässige Erinnerungen waren hierbei die sinnliche Präsenz einer Erinnerung sowie ihre Unmittelbarkeit. Aleida Assmann hingegen problematisiert diese Verknüpfung von Wahrheit mit dem Authentizitätsbegriff in ihrem Aufsatz „Wie wahr sind Erinnerungen?“. „Authentizität [sei] heute zu einem Thema geworden, das unter dem Aspekt der Darstellungstechniken und Inszenierungsformen diskutiert werde“ (113). In der Sitzung haben wir uns aus daher auf die Produktion von Authentizität von Erinnerungen in verschiedenen Darstellungsformen und Medien konzentriert.

Im Genre der Dokumentation empfinden wir die Schilderungen der darin auftretenden Augenzeugen gerade aufgrund ihrer persönlichen Betroffenheit, der Emotionalität sowie der scheinbaren Unmittelbarkeit der Vermittlung als authentisch, ohne jedoch ein sicheres Urteil über die faktische Korrektheit ihrer Aussagen treffen zu können. Ähnlich funktioniert die Produktion von Authentizität auch in Knausgård's Autobiografie – durch detaillierte Schilderung von Ereignissen und Gefühlen –, obwohl eine solch detaillierte *Erinnerung* aufgrund oben genannter Faktoren nicht möglich ist.

Authentizität kann auch auf andere Art und Weise erzeugt werden. Dave Eggers' Autobiografie erweckt mit einer distanzierten und reflektierten Darstellung von Erinnerungen im Wissen über ihren konstruktiven und fiktionalen Charakter gerade durch den offenen Umgang mit den Grenzen menschlicher Wahrnehmung den Eindruck einer authentischen Darstellung. In der Graphic Novel „Maus“ von Art Spiegelman wird Authentizität dagegen durch abstrahierte, symbolische und zugleich mittels Aufzeichnungen gestützte Darstellung von Erinnerungen erzeugt. Das Thema des Holocaust wird aktualisiert und angepasst, wodurch nachfolgenden Generationen ein Zugang zu diesem Thema ermöglicht und ihre „historische Imagination“ (Assmann, 121) erweitert wird – Authentizität entsteht hier also im Wechselspiel mit dem Rezipienten. Ähnliches finden wir auch in Erich Maria Remarques Roman „Im Westen nichts Neues“. Ohne selbst viele Fronterfahrungen gemacht zu haben, beschrieb Remarque den Ersten Weltkrieg in einer Art und Weise, mit der sich seine Zeitgenossen identifizieren konnten. Die Authentizität liegt hier im Aufgreifen eines gewissen Zeitgefühls, durch das er ein adäquates, also der allgemeinen Erwartung entsprechendes Bild des Krieges zeichnen konnte, das den Erfahrungen

einer ganzen Generation Ausdruck verlieh und so nicht nur Ausdruck kollektiven Gedächtnisses wurde, sondern dieses auch für die Zukunft konsolidierte.

Unser Gedächtnis hat also einen konstruktiven Charakter, den wir auf drei aufeinander aufbauenden Ebenen beobachten können: Wahrnehmung, Abrufbarkeit und Kommunikation. Durch verschiedene Darstellungen dieser Erinnerung wird Authentizität auf vielseitige Art und Weise – je nach Kontext, Inszenierung und Wechselwirkung mit dem Rezipienten – produziert und wahrgenommen.

Quellen und Literatur

- Aleida ASSMANN: Wie wahr sind Erinnerungen?, in: Harald Welzer (Hg.), *Das soziale Gedächtnis*, Hamburg 2001, S. 103-122
- Michael JUNGERT: *Personen und ihre Vergangenheit. Gedächtnis, Erinnerung und personale Identität* (Quellen und Studien zur Philosophie 117), Berlin 2013, S. 22-51
- Rüdiger VAAS: Gedächtnis, in: Spektrum Lexikon der Neurowissenschaft, <http://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/gedaechtnis/4050> [07.10.2015]

6.8 Wahrheit, Wahrnehmung, Wirklichkeit (I)

Putnam, Nagel und die neurowissenschaftlichen Grundlagen

Daria Schelp und Dalila Truchan

Die Erkenntnistheorie in der Philosophie beschäftigt sich mit Wissen und mit diesem gehen auch die Untersuchung der Begriffe Wahrheit und Rechtfertigung einher. Doch dabei bleibt es nicht, denn auch die Methoden und Verfahren, mit denen Menschen ihre Überzeugungen bilden, sind Gegenstand der Erkenntnistheorie.

Eine der grundlegendsten Quellen, um Wissen über die Welt zu erlangen, sind die menschlichen Sinneswahrnehmungen, und auf diese sind wir im ersten Teil unserer Sitzung näher eingegangen. Sinneswahrnehmungen entstehen durch eine kausale Einwirkung auf unsere Sinnesorgane. In der klassischen Unterteilung sind dies unsere fünf Sinne (Sehen, Hören, Riechen, Schmecken und Tasten). Doch es gibt darüber hinaus noch viele weitere Wahrnehmungsarten, wie beispielsweise das Körpergefühl, zu dem es kein entsprechendes Sinnesorgan gibt. Außerdem ist es sehr wahrscheinlich, dass vielerlei Wahrnehmungen bisher unentdeckt sind. Auf einer neurowissenschaftlichen Grundlage kann Wahrnehmung „als ein komplexer Prozess der Informationsgewinnung durch die Verarbeitung von Reizen“ definiert werden. „Die Reizverarbeitung erfolgt nach subjektiven Kriterien – jeder nimmt sie (aufgrund individueller Erfahrungen und vorheriger Lernprozesse) individuell wahr“ (Grundmann). Sinneswahrnehmungen durchlaufen mehrere Stufen, bevor sie uns bewusst werden. Vereinfacht gesagt, werden die Rezeptoren unserer Sinnesorgane durch Reize erregt und diese werden zur weiteren Verarbeitung über die Nerven an unsere Hirnrinde geleitet. Nur die dort ankommenden Informationen werden im Gehirn zu einer Wahrnehmung, die dort bewusst wird. Diese wahrgenommenen Informationen werden geordnet und dann mit unseren Erfahrungen abgeglichen und bewertet. Von unserer Umwelt empfangen unsere Sinnesorgane eine unendliche Menge an Informationen, was eine ständige Überforderung für uns bedeuten würde. Deswegen gelangen nicht alle Informationen aus unserer Umwelt zur Verarbeitung in unser Gehirn. Vieles wird von unserem Gehirn als unbedeutend bewertet und „automatisch aussortiert“. Dieser wichtige Filter unseres Gehirns ist wiederum stark von unserer Aufmerksamkeit abhängig – und damit ist unsere Wahrnehmung von unserer aktuellen Interessenslage gelenkt und geprägt. Wir setzen uns selbst unsere Schwerpunkte, und so werden nur relevante Reize verarbeitet.

Im Alltag verlassen wir uns auf unsere Sinne und darauf, dass diese sich unmittelbar auf unsere Außenwelt beziehen. Doch die Neurowissenschaft zeigt, dass unsere Wahrnehmung stark gefiltert ist. Unsere Sinne sind nicht fehlerfrei und unterliegen Täuschungen, Illusionen und Halluzinationen. Dies ist nicht nur physiologisch begründet. Wie oben beschrieben ist unsere bewusste Wahrnehmung abhängig von unseren Erfahrungen und damit subjektabhängig, dadurch wird unsere Wahrnehmung wiederum fehleranfällig. „Ungenauere oder irreführende Informationen werden – z.T. aufgrund vorheriger Lernprozesse – fehlerhaft ausgewertet. Eine wahrgenommene Situation wird aufgrund des vorhandenen Wissens versucht einzusortieren. Für eine Einsortierung muss die wahrgenommene Information für einen Menschen eine Bedeutung haben, die durch Vorkenntnisse, Erfahrungen, Einstellungen oder Bedürfnisse geprägt sind“ (Grundmann). In unserer Sitzung haben wir Sinnestäuschungen näher betrachtet. Zum Beispiel haben wir uns mit dem Vexierbild des Hasen und der Ente beschäftigt, auf dem man beide Tiere einzeln entdecken, aber beide niemals gleichzeitig sehen kann. Als weitere Sinnestäuschung war die Müller-Lyer-Illusion für uns interessant, in der zwei übereinanderliegende gleichlange Linien, einmal mit Pfeilen nach innen und einmal mit Pfeilen nach außen an den Enden, gezeigt werden. Es entsteht der Eindruck, dass die erste Linie kürzer als die zweite wäre, obwohl beide gleichlang sind. Der Seheindruck verhält sich bei den meisten trotzdem weiterhin so, auch wenn man weiß, dass beide Linien gleich lang sind.

Seit der Antike ist immer angezweifelt worden, dass unsere Sinneserfahrungen ein Kriterium sind, welche uns ein direktes Wissen über unsere Außenwelt geben können, da sie uns immer wieder täuschen können. Durch neurowissenschaftliche Erkenntnisse erhärtet sich diese These. Diesen Irrtums- und Täuschungsmöglichkeiten folgt der erkenntnistheoretische Skeptizismus, um zu zeigen, dass unser Wissen über die Welt in vielerlei Hinsicht zumindest falsch sein könnte. Meistens konstruieren Skeptiker Fälle, in denen wir davon ausgehen, dass wir die Welt richtig oder wahr erfassen, obwohl wir dabei einer Täuschung erliegen oder uns irren. Doch gehen diese konstruierten Szenarien über unser normales Verständnis von Täuschung hinaus. Die oben erwähnten Sinnestäuschungen verstören uns nicht im Umgang mit unserer Umwelt oder lassen uns generell an der Möglichkeit der Erkenntnis über die Außenwelt zweifeln. Selbst wenn wir einer Täuschung unterliegen, ist es möglich, zum Beispiel durch die Neurobiologie, zu erklären, wie diese Täuschungen zustande kommen. Es handelt sich hierbei um gewöhnliche Täuschungsmöglichkeiten. Skeptische Täuschungsszenarien sind dagegen global und bildeten den zweiten Baustein unserer Sitzung.

Quellen und Literatur

- Experimente: <http://homepage.univie.ac.at/margarete.halmetschlager/LVX/wahrnehmung.html> [23.09.2015]
- Thomas GRUNDMANN: *Analytische Einführung in die Erkenntnistheorie*, Berlin 2008, https://www.uni-due.de/edit/lp/common/einf_wahrnehmung.htm [23.09.2015]

6.9 Wahrheit, Wahrnehmung, Wirklichkeit (II)

Putnam, Nagel und die Matrix

Adalie Ament und Dalila Truchan

Im ersten Schritt des erkenntnistheoretischen Skeptizismus haben wir zeigen können, dass unsere Sinneswahrnehmungen kein geeignetes Mittel sind, um Wissen über die Außenwelt zu erlangen, weil wir uns nicht sicher sein können, dass unser Wissen der Wahrheit entspricht. Während sie gerade diesen

Text lesen, wöhnen Sie sich im wachen Zustand. Aber können Sie sich da sicher sein? Wäre es nicht auch möglich, dass Sie gerade noch träumen? Das Traumargument ist ein skeptischer Ansatz in der neuzeitlichen Philosophie, das zum Beispiel von René Descartes angeführt wurde, der den methodischen Zweifel auf alle Erkenntnismöglichkeiten anwandte, die uns in einen Irrtum führen könnten.

In unserer Sitzung haben wir uns besonders dem Aspekt des Traumes zugewandt. Unser Gehirn funktioniert im Traumzustand anders als im Wachzustand: Wir haben keine Kontrolle. Wir befinden uns in einem Zustand, der sich mit dem Einfluss von Medikamenten oder Drogen vergleichen lässt: Die Reizzufuhr ist blockiert; unsere Aufmerksamkeit ist beeinträchtigt; unsere Erinnerungen sind durcheinander; Selbstreflexion, Logik und Denken sind geschwächt; wir sind emotions- und instinktgeleitet. Echtes Träumen bedeutet tiefgreifende Veränderungen im kognitiven System, die uns unser kritisches Urteilsvermögen rauben. Daher erscheinen uns Träume real – und zwar so real wie das Leben außerhalb des Traumes. Doch wie kann man sich dann sicher sein, dass man nicht gerade träumt? Der Volksmund sagt, man solle sich kneifen. Spüre man den Kniff, so sei man wach. Allerdings stellt sich nun das Problem, dass wir uns nicht sicher sein können, ob wir uns wirklich kneifen oder ob wir nur träumen, dass wir uns kneifen. Somit hat die Wirkung des Kniffs keinerlei Aussage und das Argument ist zirkulär, da es voraussetzt, dass wir uns wirklich kneifen. Daraus erschließt sich, dass man nicht wissen kann, ob man gerade träumt oder wach ist, da es keinerlei Mittel gibt, um es zu überprüfen.

Das Traumargument nutzt nun diese Erkenntnis, um unser Wissen skeptisch zu betrachten. Im Wesentlichen umfasst es zwei Prämissen. Erstens: Um aufgrund von Sinneserfahrung Wissen über die Außenwelt erwerben zu können, muss ich zuvor und davon unabhängig wissen, dass ich gerade nicht träume. Zweitens: Ich kann vor und unabhängig von jeder Sinneserfahrung nicht wissen, dass ich gerade nicht träume. Die zweite Prämisse deckt sich mit unserer vorherigen Erkenntnis. Betrachtet man nun die erste Prämisse im Zusammenhang mit der zweiten, so ergibt sich, dass wir keinerlei Wissen über unsere Außenwelt aufgrund von Sinneserfahrung erwerben können.

Das Traumargument bildet die Grundlage für zahlreiche philosophische Ansätze und Diskussionen, darunter auch das Gedankenexperiment „Gehirne im Tank“ von Hilary Putnam. Man stelle sich vor, böse Wissenschaftler hätten sich Ihres Körpers bemächtigt, Ihr Gehirn entnommen und in einen Tank mit Nährlösung gegeben. Dann hätten sie einen Computer mit den entsprechenden Nervenenden Ihres Gehirns verbunden, welcher diese dann durch elektrische Impulse stimuliert und ihnen vorgaukelt, Sie wären noch ein ganz normaler Mensch und nicht nur ein bloßes Gehirn im Tank. Das Gehirn macht keinen Unterschied, ob die Welt um einen herum existiert oder nicht, denn einzig die elektrischen Impulse steuern das Denken. Wir konnten in unsere Sitzung aufzeigen, dass unsere Beziehung zur Außenwelt äußerst fragil ist. Die Erkenntnis, dass wir unserer Wahrnehmung nicht trauen können, macht für uns jedoch letztendlich keinen Unterschied im Alltag und erscheint wenig relevant, da uns jegliche Möglichkeit zur Überprüfung fehlt. Anders ist dies auf politischer oder ethischer Ebene zu bewerten: Hier macht es einen Unterschied, ob wir Gehirne im Tank sind oder nicht. Die Vorstellung, nach der unser Dasein, unsere Gefühle und unsere Wahrnehmung ohne eigene Kontrolle fremdgesteuert werden, ist beängstigend – ein vollständiger Kontroll- und Machtverlust. In unserer Sitzung haben wir uns also gefragt, ob es eine Möglichkeit gibt zu überprüfen, ob wir Gehirne im Tank sind.

Das Gedankenexperiment ist eine der Vorlagen für den Film „Matrix“. Die Matrix ist eine von Maschinen simulierte Welt, welche die darin befindlichen Menschen unter Kontrolle halten soll. Der Protagonist Neo wird aus der Matrix befreit und lernt, die Logik der Matrix zu untergraben. Dies gelingt, indem er sich bewusst macht, dass die Matrix nur ein „Traum“ ist, der lediglich den Anschein der Wirklichkeit erweckt. Allerdings ist die Matrix wesentlich komplexer als ein einfacher Traum oder Putnams Computersimulation. In der Matrix befinden sich verschiedene Individuen, die sich untereinander verständigen und zusammen neue Strukturen schaffen können. Der Träumer befindet sich sozusagen nicht alleine in seiner Traumwelt, sondern träumt mit anderen zusammen. Dennoch bleibt die Matrix

ein Traumwelt, denn physikalische Gesetze sind außer Kraft gesetzt, nicht oder falsch simuliert. Die Matrix zeigt uns also einen Fall von Überprüfbarkeit.

Bei der Rückkehr in die Matrix gelingt es Neo trotz der Erkenntnis ihres Scheinweltcharakters nicht, sich sofort an diese und ihre Regeln anzupassen – erst muss ein Lernprozess stattfinden. Neo sieht sich einem völligen Korrespondenzbruch zur Außenwelt gegenüber, den er erst überwinden muss, um sich in dieser „neuen“ Welt zurechtzufinden. Erwartungen werden also immer wieder neu generiert und man lernt, sich innerhalb der neuen Erfahrungen auch neu und „angepasst“ zu verhalten. Eine neue Kohärenz und Korrespondenz zur Matrix wird hergestellt, und erst dies lässt Neo die neue Welt beherrschen. Die unwahre Welt der Matrix wird dadurch wahr.

Quellen und Literatur

- *Matrix* [orig. *The Matrix*] (1999, Regie: The Wachowski Brothers, 136 Min.)
- Olaf MÜLLER: Das Gehirn im Tank, in: *Die Zeit* (02.08.1996)
- Andy CLARK: The Twisted Matrix. Dream, Simulation, or Hybrid, in: Christopher Grau (Hg.): *Philosophers Explore the Matrix*, New York 2005, S.177-197
- Christopher GRAU: Bad Dreams, Evil Demons, and the Experience Machine: Philosophy and the Matrix, in: Grau (Hg.), *Philosophers Explore the Matrix*, S.10-23
- Thomas GRUNDMANN: *Analytische Einführung in die Erkenntnistheorie*, Berlin 2008
- Thomas NAGEL: *Was bedeutet das alles? Eine ganz kurze Einführung in die Philosophie*, Stuttgart 2008
- Hilary PUTNAM: *Vernunft, Wahrheit und Geschichte*, Frankfurt 1982

6.10 Wahrheitsproduktion und Diskurs

nach Foucault

Philipp Petrynowski und Nina Quandt

Wozu sollten sich Historiker mit Foucault beschäftigen? Der französische Poststrukturalist Michel Foucault starb 1984, hatte seine produktivste Schaffensphase in den 1960er und 70er Jahren, und doch werden seine analytischen Ansätze erst seit den späten 90ern für vielfältige wissenschaftliche Disziplinen aufgegriffen und fruchtbar gemacht: von Linguisten ebenso wie von den unterschiedlichen Strömungen der Humanwissenschaften. Neben Primärtexten Foucaults haben wir uns im Kurs deshalb nicht nur philosophische Sekundärtexte zu Nutzen gemacht, sondern uns auch über Veröffentlichungen des Bochumer Sprach- und Kulturwissenschaftlers Siegfried Jäger an das komplexe analytische Geflecht Foucaults herangewagt, welches als „Diskursanalyse“ Geschichte schreiben sollte.

Für Foucault standen stets gesellschaftliche Randgruppen und scheinbar marginale Phänomene im Mittelpunkt seiner Betrachtung, so trugen seine Bücher provokante Titel wie „Die Anormalen“, „Verbrechen und Strafe“ oder „Sexualität und Macht“. Diese Studien dienten uns als hilfreicher Fundus für Beispiele dessen, was wir umkreisend zu beschreiben versuchten: die Methodik, nach der Foucault Diskurse analysierte, um etwas über die Welt auszusagen. Sein Vorgehen wurde sehr unterschiedlich interpretiert, und auch Foucault selbst hat die Begriffe seiner Methodologie im Laufe seines Schaffens immer wieder verändert, was uns in unserer Arbeit so manches Mal irritierte und auch herausforderte.

Foucault beschrieb Diskurse als „Fluß von Wissen durch die Zeit“ (Diskurse, 18) und umschrieb sie als gesellschaftliche Wissensvorräte. Neu, ja gar revolutionär, waren seine Beschreibungen, wie diese

Diskurse, die häufig a priori und ohne, dass sich das Individuum dessen bewusst wäre, auf die Wirklichkeit eines jeden Individuums Macht ausüben – wie sie Wahrheit generieren. Foucault stellte Wahrheit als den realen Zusammenhang unseres Daseins heraus und machte es sich zur Zielsetzung, sich an der kritischen Geschichte des Denkens zu versuchen. Er beschrieb dies in einem seiner analytischen Hauptwerke *Dits et Ecrits* als eine „Geschichte des Auftauchens von Wahrheitsspielen, eine Geschichte des ‚Wahrsagens‘, worunter man die Formen verstehen muss, nach denen sich diejenigen Diskurse ordnen, welche über bestimmte Dinge Wahres und Falsches aussagen.“ (Diskurse, 21). Für einen Historiker ist es von immanenter Bedeutung, sich der Frage zu widmen, was „jeweils gültiges Wissen [...] ist, wie jeweils gültiges Wissen zustande kommt, wie es weiter gegeben wird, welche Funktion es für die Konstituierung von Subjekten und die Gestaltung von Gesellschaft hat und welche Auswirkungen dieses Wissen für die gesamte gesellschaftliche Entwicklung“ (Jäger, 1) einnimmt.

Um diese Kernarbeit der Diskursanalyse nachvollziehen zu können, haben wir uns den Begriff Diskurs erarbeitet und ihn in das diskursive Feld, welches Foucault „Dispositiv“ nennt, eingebettet. Dieses Dispositiv, das auch als Netzwerk oder Formation bezeichnet werden kann und von denen es nicht ein einziges, sondern unzählige innerhalb jeder Gesellschaft gibt, trägt alles Gesagte und Ungesagte in sich, drückt sich darin aus, was uns in unserem Denken und Handeln bestimmt. Seine diskursiven und nichtdiskursiven Praxen bilden ein „heterogenes Ensemble aus Diskursen, Institutionen, Gesetzen, wissenschaftlichen wie philosophischen und alltagssprachlichen Aussagen und moralischen [...] Lehrsätzen (Dispositive, 139). Jäger nennt dies treffend die „Verschränktheit eines diskursiven Gewimmels“ (5) und macht deutlich, von welcher Wichtigkeit kulturelle Stereotypen und Kollektivsymboliken hierfür sind. So sagt zum Beispiel der Satz „Flüchtlingstsunamis überschwemmen die Mittelmeerstrände Europas – Wie viel Einwanderung kann Deutschland noch tragen?“ eine eindeutige politische Positionierung aus, ohne dies sprachlich direkt zu tun. Das Einbringen des Wortes „Tsunami“ trägt eine negative Konnotation in sich, weckt unterschwellig angstmachende Gefühle und unterstellt eine Bedrohung. Gleichzeitig wird der Blick auf die eigenen Schutzbedürfnisse gerichtet und eine eigene emotionale Beteiligung suggeriert. Hierdurch wird eine Abwertung von Flüchtlingen erzielt, der Satz übt also Macht aus.

Eine Aussage wie die zitierte wirkt in dieser Form aber nur innerhalb unseres eigenen Kontexts. Ein Satz über flüchtende Deutsche und Skandinavien nach Amerika vor der Unabhängigkeitserklärung wurde von Zeitgenossen ganz anders formuliert, was uns zu einem weiteren, für den Historiker wichtigen Aspekt der Diskursanalyse bringt: Diskurse tragen den Wandel von Wertigkeiten, Wertungen und Zulässigkeiten dessen in sich, was zu einer bestimmten Zeit in einer bestimmten Gesellschaft gesagt werden darf, und sagen hierdurch viel über Konventionen, Machtverhältnisse und die geltende Wahrheit aus. Dass auch unsere eigenen „Wahrheiten“ also stets von anderen abgelöst werden können und sich Diskurse nie gänzlich verfestigen, sondern vielmehr in einem steten Fluss durch die Zeit sind, ist wichtige Grundannahme jeglicher kritischer Analyse von menschlichem Zusammenleben. Foucault betont, dass wir selbst uns nie außerhalb unserer Diskurse befinden können. Wir sind vielmehr in sie hineingeboren und befinden uns im ständigen Austarieren und Aushandeln unserer Position im Flechtwerk der Dispositive. Seine eigene Rolle darin stets kritisch zu hinterfragen, Wahrheiten nicht als gegeben hinzunehmen und wach und kritisch gegenüber den Machtverhältnissen innerhalb der Diskurse zu sein, ist nicht nur Aufgabe eines jeden kritischen Menschen in unserer Gesellschaft, sondern auch eine immer neue Herausforderung der Geistes- und Gesellschaftswissenschaften, so also auch für den Historiker. Hierfür liefert uns Foucault begriffliches Rüstzeug und Ansätze für eine methodische Analyse.

Quellen und Literatur

- Michel FOUCAULT: *Dispositive der Macht. Über Sexualität, Wissen und Wahrheit*, Berlin 1978
- Michel FOUCAULT: *Die Macht der Diskurse*, Frankfurt am Main 1991

- Siegfried JÄGER: *Theoretische und methodische Aspekte einer Kritischen Diskurs- und Dispositionanalyse*, Duisburg 2006, http://www.diss-duisburg.de/Internetbibliothek/Artikel/Aspekte_einer_Kritischen_Diskursanalyse.htm [18.09.2015]
- Ulrich Johannes SCHNEIDER: Foucaults Analyse der Wahrheitsproduktion, in: Günter Abel (Hg.): *Französische Nachkriegsphilosophie. Autoren und Positionen*, Berlin 2001, S.299-313

6.11 Gefälschte Geschichte und die Sicherung der wissenschaftlichen Wahrheit

Philipp Heering und Moritz Gleditzsch

Der britische Historiker Norman Cohn führte in den 1970er Jahren (und überarbeitet in den 90ern) in seinem Werk „Europe’s Inner Demons“ eine Reihe von Unstimmigkeiten in der Überlieferung der Hexenprozesse zusammen, die ihn zu einer deutlichen Kritik an der gängigen Geschichtsschreibung über die angebliche Hexenverfolgung durch die päpstliche Inquisition im Mittelalter bewegte. Cohn zeigte die Fehlerketten auf, die bei der Überlieferung der angeblichen Hexenverfolgungen in Geschichtsschreibung und Geschichtswissenschaft auszumachen sind. So sind zum Beispiel die im 13. Jh. für die Städte Toulouse und Carcassone überlieferten Massenverbrennungen historisch nicht belegbar. Die immer wieder zitierten Quellen dieser Überlieferung waren nämlich schlicht erfunden.

Die angeblichen Quellen lassen sich auf den französischen Romanautor Étienne-Léon de Lamothe-Langon (1786-1864) zurückführen. Ihm wird nachgesagt, er sei ein Graphoman gewesen, also eine Person, die das zwanghafte Bedürfnis zu schreiben verspürt. Mit acht Jahren war er weitgehend auf sich allein gestellt, da sein Vater, ein Adliger, in der zweiten Phase der Französischen Revolution hingerichtet wurde. Lamothe-Langon wurde zum Autodidakten in der Bücherei seines Vaters, eine formale Ausbildung in der für das Arbeiten als Historiker notwendigen Paläographie erhielt er nie. Mit 16 begann er mit dem Schreiben erster Texte; mit 25 startete er eine ambitionierte Beamtenlaufbahn, von der er zunächst gut leben konnte. Karriere und Beamtenstelle waren jedoch eng mit dem napoleonischen Regime verknüpft, und als dieses fiel, versuchte Lamothe-Langon vergeblich, seinen Posten zu behalten. So begann er als „Vollzeitautor“ zu arbeiten – und wurde einer der produktivsten Schriftsteller Frankreichs! Insgesamt veröffentlichte er mindestens 65 Romane, viele „Historien“ und 20 Memoiren; genaue Zahlen sind schwierig, was an der hohen Zahl seiner Pseudonyme liegt. Die Memoiren stechen heraus, da ein Autor natürlich nur *ein einziges* solches autobiographisches Werk veröffentlichen kann, nämlich das seines eigenen Lebens. Lamothe-Langon fälschte jedoch mindestens 20, darunter die von prominenten Persönlichkeiten wie der Madame du Barry, einer Mätresse Ludwigs XV. Schon allein diese Fälschungen sollten Lamothe-Langon als Historiker unglaubwürdig machen. Interessant ist auch der Blick auf die Techniken, die er zur Steigerung seiner Glaubwürdigkeit anwandte: Die Erzählungen seiner Memoiren sicherten sich durch geschickte Querverweise untereinander ab. Lamothe-Langon errichtete so seine ganz eigenen, sich gegenseitig stützenden Wahrheitskonstrukte.

Sein wohl bedeutendstes „historisches“ Werk ist die *Histoire de l’Inquisition en France*, die er 1829 veröffentlichte. Er gab an, sie mit dem Wissen aus „bisher unveröffentlichten Quellen“ geschrieben zu haben, die er „Jahrzehnte lang gesichtet habe“, und zwar in den „Kirchenarchiven von Toulouse“, wo er sie mit einer „Sondergenehmigung des Erzbischofs“ eingesehen hätte. Heute ist klar, dass es diese Archive niemals gab und dass Lamothe-Langon auch zur falschen Zeit für eine solche Recherche in der Gegend von Toulouse verweilte. Außerdem veröffentlichte er im Erscheinungsjahr 1829 drei weitere „Historien“! Aus all dem lässt sich leicht schließen, dass seine Geschichtsschreibung auf keinen Fall wissenschaftlichen Standards gerecht wird, weder unseren noch jenen seiner Zeit.

Lamothe-Langons Quellenfunde waren also erfunden. Dennoch haben viele folgende Wissenschaftler sie ernst genommen. Dass die deutschen Historiker Gottlieb Wilhelm Soldan und Joseph Hansen der Täuschung aufgesessen sind, hatte weitreichende Folgen: Insbesondere Hansens Quelleneditionen galten den Historikern des 20. Jhs. als verlässliches Fundament der eigenen Arbeit. Der Mythos einer inquisitorischen, also kirchlich-obrigkeitlichen Hexenverfolgung im Mittelalter wurde so weiter tradiert. Obwohl sich die Wissenschaft inzwischen schon lang vom Bild der „mittelalterlichen Hexenverfolgung“ abgewandt hat, bleibt der Mythos weiter lebendig und findet sich bis heute in populärwissenschaftlichen und popkulturellen Medienprodukten wieder.

Die Frage bleibt, wie es überhaupt dazu kommen konnte, dass eine „falsche“ Geschichte als zuverlässig angenommen wurde, obwohl der Zugriff auf die Originalquellen fehlte. Hier muss man sich vor Augen führen, dass Quellen schnell verloren gehen können, etwa durch Kriege o.ä. Dann ist der Historiker auf sog. Sekundärüberlieferungen angewiesen, also indirekte Übermittlungen (z.B. als Kopien, Kompilationen oder Berichte). Historische Aussagen ohne direkten Quellenbezug sind also nicht per se fragwürdig, sondern trauriger Alltag des Historikers. Um Zuverlässigkeit zu erreichen, reicht folglich der Griff zu den Quellen allein nicht aus – es braucht weitere Sicherungssysteme.

Hier konnten wir lernen, dass die Geschichtswissenschaft offenbar ähnlich wie die Wikipedia funktioniert. Für das Onlinelexikon ist nicht die „Korrektheit“ der dargestellten Information das Wichtigste, sondern deren Überprüfbarkeit. Informationen werden aufgenommen, wenn sie belegbar sind, also z.B. in einer wissenschaftlichen Publikation veröffentlicht wurden. Dieses System gründet auf Nachprüfbarkeit, nicht auf Nachprüfung. Überprüft wird nach der Veröffentlichung, und zwar durch die Leser. Bei der Geschichtsschreibung ist es fast das Gleiche. Der einzelne Historiker kann nicht immer jede einzelne Spur bis zu den Quellen zurückverfolgen, dafür fehlen Zeit und Ressourcen. Er muss sich darauf verlassen, dass seine Vorgänger ordentlich gearbeitet haben. Wie bei der Wikipedia nimmt er etwas als zuverlässig an, wenn es in einer wissenschaftlichen Abhandlung veröffentlicht wurde. Die Prüfung erfolgt dabei während oder nach der Publikation durch „peers“, also andere Wissenschaftler. Auch dieses „peer review“ funktioniert nicht immer. Das System, nach dem unsere Wissenschaft funktioniert, ist also nicht perfekt – und darum produziert es ab und zu „falsche Wahrheiten“.

Quellen und Literatur

- Norman COHN: *Europe's Inner Demons. The Demonization of Christians in Medieval Christendom*, Chicago 1993, S.181-201
- „Étienne-Léon de Lamothe-Langon“, https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89tienne-L/%C3%A9on_de_Lamothe-Langon [29.09.2015]
- Simon L. GARFINKEL: Wikipedia und die Bedeutung der Wahrheit, in: *Technology Review* (09.12.2008), <http://www.heise.de/tr/artikel/Wikipedia-und-die-Bedeutung-der-Wahrheit-275872.html> (29.09.2015)

6.12 Die ganze Wahrheit

Peter Gorzolla

Was also ist nun die Wahrheit in der Geschichte?

Die Antwort auf diese Frage gestaltet sich schwierig, weil es schon *die Frage* ist, die ein Problem in sich trägt: begriffliche Ungenauigkeit. Gemeint ist damit nicht, dass die „richtige“, wissenschaftliche Definition von „Wahrheit“ fehlt, sondern dass der vor-wissenschaftliche Begriff der Wahrheit überladen ist von Bedeutungen, Konnotationen und Assoziationen. Koselleck u.a. haben darauf hingewiesen, dass die (wissenschaftliche) Sprache des Historikers eine große Nähe zur (vor-wissenschaftlichen) Sprache der Gesellschaft hat. In anderen Wissenschaften (insbesondere natürlich in den Naturwissenschaften) ist die Fachsprache deutlicher von der Alltagssprache unterschieden und abstrahiert, bis hin zu Systemen symbolischer Logik wie in der Mathematik. Definitionen fallen dadurch leichter, weil Prämissen, Bedingungen und Regeln klarer formuliert – oder sogar einfach gesetzt – werden können. Die Sprache der Geschichtswissenschaft erscheint im Vergleich dazu hoffnungslos ungenau. (Dass daraus auch Kommunikationsschwierigkeiten zwischen den Wissenschaften entstehen, ist klar – wir konnten das bei einer Begegnung der TeilnehmerInnen aus dem Geschichte- und dem Mathematik-Kurs beobachten, die dabei die Aufgabe hatten, sich über ihr unterschiedliches Verständnis von „Wahrheit“ auszutauschen.)

Was jedoch oft genug wie eine Schwäche erscheint, ist zugleich auch eine der großen Stärken historischen Arbeitens: Beiträge in historischer Fachsprache können viel unmittelbarer in gesellschaftliche Diskurse hineinwirken, ohne erst „übersetzt“ werden zu müssen. Das heißt natürlich noch lange nicht, dass diese Beiträge von Laien dann automatisch richtig verstanden werden! Aber vielleicht ist das der Grund, warum Geschichte ein selbstverständlicher Bestandteil gesellschaftlicher Diskurse ist, während dies beispielsweise für die Ökonomie nur eingeschränkt, für die Mathematik praktisch gar nicht gilt – obwohl niemand bestreiten kann, dass diese beiden Felder ebenso wirkmächtig unseren Alltag bestimmen.

Um wissenschaftlich mit dem Begriff der historischen Wahrheit arbeiten zu können, müssen also zunächst seine vor-wissenschaftlichen Bedeutungen, Konnotationen und Assoziationen identifiziert werden. Unsere erste Aufgabe im Kurs bestand folglich darin, einen allzu *simplem* Begriff der Wahrheit zu dekonstruieren. Dabei galt es, zwei wesentliche Erkenntnisse zu gewinnen:

Erstens ist der Begriff der Wahrheit in einem Begriffsfeld mit gegenseitigen Überlagerungen situiert, das mit „wahr“ zugleich Bedeutungen wie „echt“, „original“, „faktisch“, „empirisch“, „mimetisch“, „wertvoll“, „glaubwürdig“ oder (geschichtsspezifisch) „zeitlich näher dran“ und „nicht intentional“ verbindet.

Zweitens weist der Gebrauch des Begriffs eine klare dichotomische Unterscheidung von „wahr/unwahr“ (und entsprechend „echt/falsch“, „original/kopiert“, „faktisch/fiktional“ etc.) auf.

Ausgewählte Beispiele aus anderen wissenschaftlichen Disziplinen halfen uns bei dieser Dekonstruktionsarbeit und zeigten auf, dass eine historische Betrachtung der Wahrheit einerseits nach mehreren „Dimensionen“ ausdifferenziert geschehen sollte und man andererseits eher von einer Linie oder einem Spektrum als von einer dichotomischen Scheidung zwischen „wahr“ und „unwahr“ ausgehen muss.

Auf dieser Grundlage erschlossen wir uns eine Reihe von wichtigen Einschränkungen der historischen Erkenntnisfähigkeit: die Unzuverlässigkeit unserer Erinnerungen und unseres Wahrnehmungsapparats,

die Grenzen der Überprüfbarkeit von Quellen und Darstellungen, die Beeinflussungen unserer um Objektivität bemühten Arbeit durch Sprache und Gesellschaft. Je klarer sich dabei die grundsätzliche Unmöglichkeit einer historisch „wahren“ Aussage nach dem *simplem* Begriffsverständnis herausstellte, desto deutlicher wurde auch die Vielfalt „wahrer“ Aussagemöglichkeiten unter differenzierten Gesichtspunkten. Die Frage nach der Wahrheit in der Geschichte scheint nicht am Mangel, sondern an einem Überangebot an Antworten zu scheitern!

Also keine Antwort möglich auf eine unterkomplexe Frage? Der Ausschreibungstext des Kurses hat eine Antwort versprochen; und tatsächlich kann man sich auch als HistorikerIn an eine solche wagen. Was die von uns behandelten „Wahrheitsangebote“ nämlich verbindet, ist nicht nur ihr Konstruktionscharakter oder der Umstand, dass sie Produkte gesellschaftlicher Diskurse sind. Wenn Wahrheiten nicht einfach *sind*, sondern *gemacht werden*, dann stellt sich dem/der HistorikerIn nicht nur die Frage nach ihren Entstehungsbedingungen, sondern auch nach ihrer Funktion. Und hier wird schnell deutlich, dass Wahrheiten *Sinn* generieren sollen, dass nur als „wahr“ anerkannt wird, was Sinn ergibt. Auch die vielen und oft genug widersprüchlichen Wahrheiten in der Geschichte müssen Kohärenz *und* Korrespondenz aufweisen. Nur dann können sie Weltaneignung (z.B. durch Welterklärung) unterstützen, individuelle Handlungsoptionen begründen oder zur Selbstvergewisserung kollektiver Identitäten beitragen.

Ergibt das Sinn? Hoffentlich – denn es ist die Wahrheit.

7 Musisch-kulturelle Kurse

Das musisch-kulturelle Angebot war wie auch in den vorangegangenen Jahren auf der Oberstufenakademie 2015 sehr vielfältig. Einige der Kurse waren schon in der Ausschreibung enthalten, die übrigen ergaben sich durch Angebote während des Vorbereitungsseminars.

7.1 Fotografie

Leitung: Alexander Dick

Bericht: Tim Weber

Eine Premiere im Spektrum des musisch-kulturellen Angebots im Rahmen der HSAKA ist der Fotografie-Kurs, der 11 Jugendlichen erstmals die Möglichkeit bot, technische Grundlagen der Fotografie zu erlernen, bereits vorhandenes Wissen zu vertiefen und sich selbst intensiv an der Kamera auszuprobieren. Betreut wurden die Schüler hierbei von Alexander Dick, einem erfahrenen Hobbyfotografen. Er vermittelte den Teilnehmern kompetent und verständlich, welche technischen Möglichkeiten ihr Fotoapparat bietet und wie sich ISO-Werte, Verschlusszeit oder Blendeneinstellung auf das Foto auswirken. Darüber hinaus beschäftigten sich die Jugendlichen mit elektronischen Bildbearbeitungsprogrammen und erhielten Gelegenheit, diese an eigenen Bildern zu erproben. Ein Großteil der Kurszeit stand den Oberstufenschülern zur Verfügung, um auf dem Gelände der Burg Fürsteneck selbstständig nach Motiven zu suchen und sie auf Film zu bannen. So sind zahlreiche Fotos aus den Bereichen Architektur, Landschaft, Stilleben, Tiere, Menschen, Makros oder experimentelle Fotografie entstanden, die im Rahmen des Gästenachmittags am 3. September 2015 den Besuchern präsentiert wurden.

7.2 Musikalische Improvisation

Leitung und Bericht: Volker Kehl

Im MukK musikalische Improvisation haben wir versucht, Alltagsgegenständen ungewöhnliche Klänge zu entlocken (Teppich, Heizung oder Papierkorb). Dies haben wir in verschiedenen Übungen eingebaut und versucht, beim Improvisieren gegenseitig auf uns und unsere Mitspieler zu achten und uns gegenseitig Raum zu lassen. Manchmal haben wir ganz frei angefangen zu spielen oder mit einer bestimmten Vorlage gearbeitet, z.B. einem Gedicht oder einem Ort. Zusammen mit ein paar Leuten aus dem Theater-Impro-MukK haben wir ein paar kleine Filme in der Kapelle und auf dem Außengelände der Burg Fürsteneck gedreht und zusammen improvisiert vertont. Für den Präsentationsabend haben wir uns nichts vorbereitet – unsere MukK heißt ja auch *musikalische Improvisation*.

7.3 English Theatre

Leitung und Arrangement: Ingrid Metzler

Bericht: Theresa Kumpitsch, Freya Moßig

This year's play, *Temptation*, takes place on Mrs Emily Howard's little farm outside of Banbury. Mrs Howard loves her farm and is widely known for her bazaars and the charitable and social events she arranges in her village. She lost her husband in an accident three years ago and married Charles Baldwin, private secretary to Lord Cornbury. On one of her tea invitations Mrs Howard faints and

is brought to hospital by Dr. Manders, her family doctor. He finds out that Mrs Howard's tea had been poisoned. Dr. Manders is not only a good doctor but also a brilliant detective. He discovers that Charles Baldwin had tried to poison his wife.

Not only did we have a lot of fun in our workshop „English Theatre“, we also could suggest our own ideas about colloquial usage and idiomatic alterations. We discussed subject-matters and improved our ability of play-acting. Ingrid Metzler encouraged us to improvise if we got lost in our speech. We thank Ingrid Metzler for her enthusiasm and patience during rehearsals.

7.4 Italienisch

Leitung: Fabian Angeloni
Bericht: Antonia Kölbl

Ziel des Italienisch-Mukks unter der Anleitung von Fabian Angeloni war es, den acht Teilnehmerinnen und Teilnehmern Einblicke in die Sprache und Gepflogenheiten Italiens zu verschaffen. Dabei stand im Vordergrund, ein Gefühl für Grammatik, Aussprache und Mentalität zu entwickeln. Der Kurs übte sich unter anderem darin, sich gegenseitig auf Italienisch vorzustellen, ein Hotelzimmer zu buchen, eine Bestellung im Restaurant aufzugeben, zu zählen und Preise zu benennen, Rezepte zu lesen sowie Wegbeschreibungen zu geben. Dass der Großteil der Kursteilnehmer schon Vorkenntnisse in anderen romanischen Sprachen mitbrachte, erwies sich einerseits als hilfreich, andererseits aber auch als Herausforderung. Grund dafür waren die Differenzen in Grammatik und Aussprache. Einhergehend mit den sprachlichen Kenntnissen wurden im Kurs Mentalitätsunterschiede zwischen der deutschen und italienischen Kultur erörtert. Zur Sprache kamen neben der Ess- und Trinkkultur – hervorzuheben ist hierbei besonders die italienische Kaffeekultur – die Art und Weise der Begrüßung sowie die adäquate Anrede von Berufsträgern.

7.5 Kontratanz

Leitung: Julia Zaenker
Bericht: Lena Buchwald, Lea Bach, Armin Dashti

Kontratanz ist ein ca. 300 Jahre alter englischer Volkstanz, der auf Burg Fürsteneck eine lange Tradition hat und dort bis heute gerne getanzt wird. Mit 16 Schülerinnen und Schülern, die alle unterschiedliche Erfahrungen und Vorkenntnisse mitbrachten, wurden in den ersten Tagen zunächst einfache Gassentänze wie „Sweet Rosie Red“, „Blaue Bohnen“ und „Auf Abendländischen Bahnhöfen“ erlernt. Außerdem wurden die Grundfiguren wie Platzwechsel, Treffen und Drehen, Armen und Streifen vorgestellt. Im Folgenden haben wir „Newcastle“, einen komplexeren Tanz im Carré, und weitere anspruchsvolle Gassentänze wie „Jamaica“ und „Lilli Burlero“ kennengelernt. Dabei haben sich das Raum-, Rhythmus- und Körpergefühl jedes Einzelnen sowie die Dynamik der ganzen Gruppe verbessert. Abschließend möchten wir Schülerinnen und Schüler uns bei Julia bedanken, die uns in ihrem ersten Kurs viele Tänze und Figuren erfolgreich und mit viel Freude beigebracht hat. Neben der Tanzleitung hat sie die Gruppe musikalisch mit Klarinette und Saxofon begleitet und wurde dabei von Rüdiger Kling an der Posaune und Isabella Heil bei der Tanzanleitung unterstützt.

7.6 Kammermusik

Leitung: Antonia Kölbl
Bericht: Elina Dilger, Clarissa Durek

Ein Kammermusik-Ensemble besteht in der Regel aus zwei bis neun Spielern. Für Kammermusik im engeren Sinne ist wesentlich, dass sie nicht dirigiert wird, sodass die Spieler eigenverantwortlich zusammenfinden. Der Begriff grenzt die Musik für kleinere Instrumental-Ensembles von der Musik für große Orchester ab, wobei der Übergang fließend ist. Die Besetzung des Kammermusikurses unter Leitung von Antonia Kölbl war folgende:

- Antonia Kölbl – B-Klarinette, Sopranblockflöte
- Julia Zaenker – B-Klarinette
- Elina Dilger – B-Klarinette, Es-Saxophon
- Julia Wirth – Violine
- Lea Bach – Cello, Klavier
- Rüdiger Kling – Posaune, Trompete, Tuba
- Clarissa Durek – Schlagzeug / Perkussion
- Armin Dashti – Schlagzeug / Perkussion
- Antonius Nies – Klavier

Zusammen haben wir die Stücke „Pirates of the Caribbean“ von Klaus Badelt, „Born to Be Wild“ von Mars Bonfire, „Walz No. 2“ von Dimitri Shostakovich, „La donna è mobile“ von Giuseppe Verdi, das Kontratanzstück „Newcastle“ arrangiert von Antonia Kölbl, sowie „Yankee Doodle“ und „Cha-Cha Cubano“ arrangiert bzw. komponiert von James Rae erarbeitet.

Zum effizienten Erlernen der Stücke haben wir uns häufig in zwei Gruppen (Melodie- und Rhythmusinstrumente) geteilt und besonders auf Dynamik, Rhythmik und Intonation geachtet. Des Weiteren haben wir das Stück „Pirates of the Caribbean“ um zwei Soli von und für Antonius Nies erweitert.

7.7 Chor

Leitung: Wolfgang Metzler
Bericht: Freya Moßig

Ein Plenumschor ist bei unseren Akademien Tradition. Einige „Klassiker“ wie „Rock my Soul“ oder der Kanon „Erde mein Körper“ vereinen alljährlich Laien und Profisänger. Stimmungsvolle, moderne Cluster mit Obertönen, zu denen Sprachausschnitte eines Gedichts von Hilde Domin in Form einer Improvisation hinzutreten, wurden neben „Summertime“ von George Gershwin und „Hit the Road, Jack“ gesungen. Dadurch können auch ungeübte TeilnehmerInnen ihre Stimme in einer großen Gruppe ausprobieren. Zudem übernahmen Instrumentalisten die Begleitung und improvisierten Soli.

Für besonders Interessierte bot der Studiochor die Möglichkeit, mit unterschiedlichsten Erfahrungen, zum Beispiel aus Schulchören, traditionsreichen Gesangsvereinen, Musical-Ensembles oder begeistertem Chart-Mitsingen, zusammen zu kommen. Nach gemeinsamer Absprache suchten die Teilnehmer verschiedene Stücke aus wie den raffinierten Quartkanon „Töne lindernder Klang“ von Brahms, das erquickende „Viva La Musica“ von Eröd und den Schlusschor aus der Oper Julius Caesar von Händel. Wir haben nach Noten einen Renaissancekanon von Michael Praetorius gesungen. Im Programm wechselten sich drei- und vierstimmige Stücke ab und boten ungeübten SängerInnen die Möglichkeit, aufeinander zu achten und die Tonhöhe und den Rhythmus zu halten. Der Chor diskutierte Interpretationsalternativen, verschiedene Aufstellungsarten wie das Singen im Kreis und trug durch eigene Impulse zu der individuellen Stimmentfaltung bei. Trotz der kleinen Gruppe mit stark variierenden Vorerfahrungen entstand ein homogenes Ergebnis, das viel Spaß und neue Erfahrungen mit sich brachte.

7.8 Naturkunde

Leitung: Wolf Aßmus
Bericht: Alexander Dick



Mit dabei waren Sheila, Wolf, Alex, Konstantin, Eva, Ilda, Jakob, Sarah, Philipp, Dalila, Anastasia, Johanna, Nina, Felix, Philipp und Isabella.

7.9 Theaterimprovisation

Leitung und Bericht: Volker Kehl

Spontanität und kreative Ideen standen bei dem Muck Theaterimprovisation im Vordergrund. Dabei haben wir uns in nahe und ferne Welten begeben, Gefühle verschiedenster Art zugelassen und Charaktere gespielt, die uns immer wieder begegnen und trotzdem irgendwie fremd sind. Wie haben als Übersetzer bei Krisengesprächen vermittelt, gereimte Konversationen geführt, uns als König oder Untertan ausgegeben oder uns den alltäglichen Problemen eines Dienstags hingegeben. Während den vielen Spielen und Übungen haben wir die Theorie des Improtheaters näher kennengelernt und wurden mit zunehmender Akademiedauer immer sicherer. Die vielseitige Art der Theaterimprovisation – sei es eine Traumreise oder eine hektische Szene – hat uns eine Menge über uns selbst verraten und uns dabei bestärkt, Gefühle vermitteln zu können.

Wir waren sehr wild und sehr ruhig, traurig und erfreut, laut und leise. Nur eins war dabei immer gleich. Vor uns war keiner sicher – auch wir nicht.

7.10 Bühnenbild

Leitung: Birthe Anne Wiegand
Bericht: Céline Klein

Wie jedes Jahr erstellte der Kurs „Bühnenbild“ die Kulisse für das Englische Theater. Wir arbeiteten in Teams an den verschiedenen Stücken, zum Beispiel entstand ein riesengroßes Landschaftsbild, das gleich auf zwei Stellwände gehängt werden musste, eine Innenansicht eines Raumes mit tollen Lichteffekten sowieso zahlreiche aufwendige Requisiten. Außerdem hatten wir dieses Jahr erstmalig genug Zeit, um auch andere Aufträge anzunehmen, zum Beispiel eine lebensgroße Palme für den Biologiekurs oder rote Hüte für den Geschichte-Kurs.

Wir haben es dieses Jahr geschafft, Nachtschichten größtenteils zu vermeiden, und waren sowohl mit dem Ergebnis als auch erstmalig mit dem Zeitmanagement sehr zufrieden.

7.11 Journalismus

Leitung: Fabian Angeloni
Bericht: Stefan Tauchnitz

Wie funktioniert eine Reportage und was genau soll in eine Nachricht? Mit solchen Fragen beschäftigten wir uns im Journalismus-MukK. In einem stetigen Wechsel von praktischen Schreibphasen und theoretischer Betrachtung der zu schreibenden Texte erarbeiteten wir über die Tage die Grundlagen vieler Textformen. In den von uns selber geschriebenen Texten befassten wir uns immer mit Themen, welche in direktem Zusammenhang zu unserem Leben auf der Burg und zur HSAKA standen. Bei den unterschiedlichen Textarten wurden immer andere Aspekte des Schreibens gefordert. So mussten wir beim Schreiben einer Nachricht darauf achten, uns möglichst kurz zu fassen und nur die puren Fakten zu berichten. Im Gegensatz dazu durften wir uns bei unserer Reportage kreativ mit einem Thema wie einem Mukk genauer auseinandersetzen. Gegen Ende führten wir ein Interview zur Person, bei dem wir mit einem anderen Teilnehmer oder einem Betreuer über einen Aspekt ihres Lebens sprachen. Es war sehr interessant, mehr über die Personen, mit denen wir für fast zwei Wochen zusammen lebten und arbeiteten, zu erfahren. All unsere Artikel wurden im Laufe der Zeit von Fabian kontrolliert und ausführlich erläutert, so dass wir aus unseren Fehlern lernen konnten. Insgesamt war es zwar eine pausenlastiger, aber sehr interessanter Mukk, den ich sehr genossen habe.

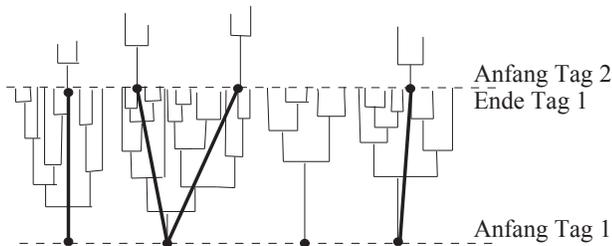
8 Abendvortrag

Zufall in der Populationsgenetik

Prof. Dr. Anton Wakolbinger

Zufall und Wahrscheinlichkeiten kommen ins Spiel in der mathematischen Modellierung sogenannter *evolutionärer Kräfte* wie *Reproduktion, Mutation und Selektion*. Anstelle einer gelehrten Abhandlung über diese Begriffe wollen wir sie an einem Beispiel aus der *experimentellen Evolution* illustrieren, einem relativ jungen Gebiet der Evolutionsbiologie.

Seit mehr als 25 Jahren ist im Labor von Richard Lenski an der Michigan State University ein – mittlerweile berühmtes – Experiment im Gange, bei dem sich ein Vorgang täglich wiederholt: am Anfang des Tages hat man eine Anzahl von $N \approx 5 \cdot 10^6$ Bakterien (*E. coli*) in einer frischen Nährlösung. Die Bakterien vermehren sich durch Zellteilung, am Ende des Tages sind es ca. $5 \cdot 10^8$, bestehend aus N zufällig großen Familien von der mittleren Größe $\gamma = 100$ Bakterien pro Familie. Dann ist die Nährlösung aufgebraucht, und die Bakterien vermehren sich für den Rest des Tages nicht mehr.



Von einem Tag zum nächsten werden aus den $\sim 100 \cdot N$ Bakterien N zufällig ausgewählt, und das Spiel wiederholt sich am nächsten Tag neu. Dadurch ergibt sich eine „zufällige Genealogie“. Unsere Skizze stellt sie für einen Tag (und den Beginn des nächsten) sinnbildlich dar, $N = 4$ und $\gamma = 10$.

Im Lenski-Experiment wurde beobachtet, dass die „Reproduktionsrate untermittags“ über die Zeit zunahm: Die tägliche Vermehrung um den Faktor 100 wurde im Lauf der Zeit in immer weniger Stunden erreicht. War r_0 die anfängliche Reproduktionsrate (vor gut 25 Jahren) und ist r die aktuelle, so bezeichnet $f = r/r_0$ die heutige *relative Fitness*.

Unbestritten ist, dass diese Zunahme der Fitness mit günstigen Mutationen im Erbmateriale der Bakterien einhergeht: Diejenigen Bakterienfamilien, die sich aufgrund solcher Mutationen schneller vermehren können, haben einen *selektiven Vorteil*, und zwar im buchstäblichen Sinn: die Wahrscheinlichkeit, dass einer ihrer Repräsentanten am Ende des Tages für den nächsten Tag ausgewählt wird, ist erhöht. Eingermaßen komplizierte Modelle in der Literatur¹ erklären einen parabelförmigen zeitlichen Verlauf der Fitnesskurve, z. B. $f(y) = \sqrt{1 + ky}$, oder allgemeiner $f(y) = (1 + ky)^\alpha$. Dieser Verlauf passt recht gut zu den gemessenen Werten. (Eine Spezialität des Lenski-Experiments ist es übrigens, dass man die relativen Fitnesswerte früherer Generationen reproduzieren kann: In regelmäßigen Generationsabständen wurden Bakterien am Ende des Tages „eingefroren“; diese stehen für neue Experimente bereit.)

In einem Kooperationsprojekt² haben wir uns auf die Suche nach einem möglichst einfachen Evolutionsmodell gemacht, das (i) mathematisch rigoros zu analysieren ist, (ii) die Spezifik des Lenski-Experiments abbildet und (iii) das Abflachen der Fitnesskurve erklärt.

Unser Modell nimmt an, dass von Tag zu Tag mit sehr kleiner Wahrscheinlichkeit μ irgendwo in der Population eine *günstige Mutation* auftritt. *Günstig* soll dabei heißen: Die Bakterien, die diese Mutation tragen (d.h. die Nachkommen des Mutanten) reproduzieren untermittags ein wenig schneller, und zwar

¹siehe z. B. M.J.Wiser, N. Ribeck, R.E.Lenski, Long-Term dynamics of adaptation in asexual populations, *Science* 2013

²A. González Casanova, N. Kurt, A. Wakolbinger, L. Yuan, An individual-based model for the Lenski experiment, and the deceleration of the relative fitness, arxiv:1505.01751 [math.PR], 2015

mit Rate $r + \rho$ statt mit Rate r . Mit großer Wahrscheinlichkeit verschwinden die Nachkommen des Mutanten bald wieder aus der Population, nämlich dann, wenn am Ende eines Tages dann doch niemand von ihnen für den nächsten Tag ausgewählt wird. Mit kleiner Wahrscheinlichkeit jedoch setzen sich die Nachkommen des Mutanten schließlich in der Population durch – man sagt dafür: Die Mutation *fixiert* in der Population. Wie schon angedeutet, ist das Chancenverhältnis für die Auswahl von Nachkommen eines Mutanten gegenüber der Auswahl von Nachkommen eines Individuums, das die Mutation nicht trägt, (leicht) größer als 1, weil die Mutantennachkommen untermals ja schneller reproduzieren. Dieser *Selektionsvorteil* s errechnet sich aus dem Verhältnis der beiden Wachstumsfaktoren $e^{(r+\rho)t}$ und e^{rt} über die Definition (*) $e^{(r+\rho)t}/e^{rt} =: 1 + s$.

Dabei ist t die Dauer des aktuellen “Lenski-Tages”. Aus der Bedingung $e^{rt} = \gamma (= 100)$ ergibt sich (**) $t = \frac{\ln 100}{r}$, und damit die einfache Beobachtung, dass ein Lenski-Tag um so kürzer ist, je größer die aktuelle Reproduktionsrate r ist. Je kürzer aber ein Lenski-Tag ist, um so kleiner ist der Wachstumsvorsprung, den die Mutanten herausholen können! In der Tat ergibt sich (mit der Näherung $e^\varepsilon \approx 1 + \varepsilon$) aus (*) und (**) die Beziehung $s = \rho \frac{\ln 100}{r} = \rho \frac{4.6}{r}$.

Unter Verwendung klassischer Ideen von Fisher und Haldane (aus der Pionierzeit der mathematischen Populationsgenetik um 1930) zum Zusammenhang von Selektionsvorteil und Fixierungswahrscheinlichkeit und gestützt auf Methoden aus der moderneren Theorie der stochastischen Prozesse konnten wir in der zitierten Arbeit folgendes Resultat beweisen (das wir hier ohne Angabe weiterer technischer Voraussetzungen formulieren):

Satz (*Ein Gesetz der großen Zahlen auf passender Zeitskala*) *Wenn günstige Mutationen mit kleiner Wahrscheinlichkeit μ auftreten und zu kleinem Reproduktionsratenzuwachs ρ führen, ist die relative Fitnesskurve $f = \frac{r}{r_0}$ auf einer Zeitskala y mit $\frac{1}{\rho^2 \mu}$ Lenski-Tagen als Zeiteinheit im Grenzwert $N \rightarrow \infty$, $\mu \rightarrow 0$, $\rho \rightarrow 0$ gegeben durch die Lösung der Differentialgleichung*

$$\frac{d}{dy} f(y) = \frac{1}{f(y)} \frac{4.65}{r_0^2}, \quad f(0) = 1.$$

Das Wachstum der Fitnesskurve ist in unserem einfachen Modell also umgekehrt proportional zu deren Wert, und die Lösung der Differentialgleichung ist nichts anderes als die schon oben erwähnte Funktion $f(y) = \sqrt{1 + ky}$, mit $k = 2 \cdot 4.65/r_0^2$.

Wie so oft in der Mathematik will und kann dieses einfache Modell nicht die Welt (hier: die Welt des Lenski-Experiments) erklären, sondern nur einen bescheidenen Beitrag liefern zur Erkenntnis, welche Gesichtspunkte bei der mathematischen Modellierung und Analyse des Experiments von Anfang an *auch noch* mit berücksichtigt werden sollten. Und es ist für Mathematiker einfach auch spannend, Modelle mit einem angemessenen Schwierigkeitsgrad, die – wenn auch stark idealisiert – etwas mit der realen Welt zu tun haben, rigoros zu analysieren, um so mehr, wenn dabei etwas Diskussionswürdiges herauskommt!

9 Gästenachmittag

Programm des Gästenachmittags

15 Uhr

Gemeinsames Kaffeetrinken

16 Uhr

Begrüßung, Grußworte

Plenumschor

Präsentationen

Biologie: Vom Sinn der Sinne beim Menschen

Geschichte: Die Wahrheit in der Geschichte

Mathematik: Simulation zur stochastischen Intuition

Physik: Funktionswerkstoffe und ihre festkörperphysikalischen Grundlagen

Chorwerkstatt

Kammermusik

Kontratanz

Musikalische Improvisation

Naturkunde

Theaterimprovisation

18:30 – 20:00 Uhr

Gemeinsames Abendessen

20:00 Uhr

English Theatre „Temptation“

Im Anschluss fand ein geselliger Ausklang des Tages statt.

Im Raum „Marstall“ gegenüber der Halle war eine Ausstellung zu besichtigen:

Ergebnisse des Journalistikworkshops

mukK Fotowerkstatt

Italienisch-mukK

Akademie-Fotoshow

10 Pressebericht

Hartmut Zimmermann, Hünfelder Zeitung
05.09.2015

Erkennen, sehen – und übersehen

Oberstufen-Schülerakademie auf Burg Fürsteneck

FÜRSTENECK

78 hochbegabte junge Menschen, ein altehrwürdiges Gemäuer und 14 Tage Zeit: Die Heimvolkshochschule Burg Fürsteneck bei Eiterfeld war in diesem Jahr zum elften Mal Gastgeber einer Oberstufen-Schülerakademie. Am Donnerstag stellten die jungen Leute Ergebnisse ihrer Arbeit vor.

Von unserem Redaktionsmitglied
HARTMUT ZIMMERMANN

Kurse in vier Fachrichtungen – Biologie, Geschichte, Mathematik und Physik – waren im Angebot gewesen. Die einzelnen Fachgruppen wurden jeweils von Studierenden oder Doktoranden aus den einzelnen Disziplinen betreut, denn das Hessische Landesschulamt und die Frankfurter Goethe-Universität unterstützen das Projekt durch die Entsendung entsprechender geeigneter Nachwuchskräfte.

Zum Grundcharakter der Fürstenecker Akademien gehört es, dass zwar im fachlichen Bereich auf hohem Niveau und mit wissenschaftlichem Anspruch gearbeitet wird, dass aber auch musische und kreative Angebote ihren Platz und ihre Bedeutung haben. Das erlebten die Teilnehmer der Akademie und nicht zuletzt die Eltern der „Schüler-Akademiker“ bei der Präsentation. Denn erst einmal wurde gesungen. Und zwar nicht nur



Sechs per Zufur gesammelte Stichworte – das reicht für jede Menge Theater. Das zeigten die Fürstenecker Akademieteilnehmer.
Foto: Hartmut Zimmermann

von den Akademieteilnehmern, sondern von allen Versammelten. Einfache Kanons erklangen, ein Kammermusik-Ensemble steuerte Instrumentalwerke bei. Zudem erlebten die Zuschauer, wie spannend improvisiertes Theater sein kann. Ein ganz besonderes Hörerlebnis bot der „Studiochor“ bei einer Darstellung eines Hilde-Domin-Texts, der in sich immer wieder umformende Vokal-Cluster hinein gesprochen wurde.

Da war es thematisch gar nicht mehr so weit zur Präsentation des Physik-Kurses. Denn

der hatte sich mit den „festkörperlichen Grundlagen von Funktionswerkstoffen“ befasst und dabei sein Augenmerk nicht zuletzt auf den Wandel der Kristallstrukturen gelegt.

Auf die Suche nach der „Wahrheit in der Geschichte“ hatten sich die jungen Historiker aufgemacht – und dabei dem altehrwürdigen Fachkollegen Leopold Ranke ebenso über die Schulter geschaut wie dem TV-Historiker Guido Knopp.

Die Mathematikerinnen und Mathematiker zeigten Ungewöhnliches zum Themenbe-

reich „Simulation zur stochastischen Intuition“.

Unter dem Titel „Vom Sinn der Sinne beim Menschen“ machten die Biologie-Spezialisten gleich ihr Präsentationspublikum zum „Versuchskaninchen“: Sie stellten ein von ihnen durchgeführtes Experiment im Video vor – und wiesen ganz nebenbei, wie viele Details der Mensch dank der überlebenswichtigen Gabe zur selektiven Wahrnehmung übersieht.

WEB burg-fuersteneck.de

11 Auszüge aus studentischen Abschlussberichten

[D]ie Burg ist ein Ort, an dem man sich ausprobieren kann, an dem ein anderes Arbeiten möglich und der Umgang miteinander entschieden anders ist, als man es aus dem universitären oder schulischem Alltag kennt. (Dalila)

Meine positive Grundeinstellung zum Lehrerberuf hat sich durch diese Praxiserfahrung weiter verstärkt. Der Umgang mit motivierten, wissbegierigen und neugierigen Schülerinnen und Schülern 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. (Julia We.)

Ich kann rundheraus versichern, dass ich für keinen anderen universitären Kontext so viel gelesen, gearbeitet und organisiert habe. Jedoch habe ich auch in keinem meiner Seminare oder anderen Bildungsangeboten, an denen ich teilgenommen habe, so viel gelernt und so tiefgreifende Erfahrungen machen dürfen, die mir in vielfältiger Weise geholfen haben, zahlreiche Horizonte zu erweitern. (Nina)

Die Gewöhnung an eine Art des Teamteachings ist sehr wichtig, da dies möglicherweise ein wichtiger Teil meines späteren Berufsfeldes sein wird. In diesem Feld konnte ich mich besonders ausprobieren und es war mir möglich, mich in der kursinternen pädagogischen Besprechung zu reflektieren[.] (Hanna)

Ich habe gemerkt, wie ich an den Aufgaben des Kurses gewachsen bin und ich meine (Lehrer-)Persönlichkeit weiterentwickeln konnte. Ich hatte stets das Gefühl, als kompetente Person wertgeschätzt zu werden und fühle mich deshalb bestärkt, den richtigen Studiengang gewählt zu haben[.] (Max)

Als Student fühlte ich mich während der Fachvorträge meiner zu betreuenden Schülerinnen wie ein Dozent. Ich sah es als meine Aufgabe, sie mental zu unterstützen und zu ermutigen. Außerdem war es mir wichtig, Flüchtigkeitsfehler aufzuspüren und zu berichtigen. Zusammen mit meinen Schülerinnen bildeten wir ein Team, dessen Produkt von einem Teammitglied – der Schülerin – vorgestellt wurde. (Victoria)

[D]ie Arbeit mit den SchülerInnen [...] war [...] bereichernd [...], weil man auf der Schülerakademie die Gelegenheit bekommt, Schüler und Schülerinnen innerhalb von Jahren wachsen zu sehen und zu beobachten, wie die HSAKA aktiv dazu beiträgt, ihre Leidenschaft für naturwissenschaftliche und geisteswissenschaftliche Inhalte zu befeuern und zu vertiefen, wie sie sich aber auch Aspekten der Kunst, der Musik und der Kreativität öffnen und sich von ihrer „Inselbegabung“ oder ihrem monofachlichen Interesse verabschieden bzw. innerhalb ihres Interessenspektrums neue Farbakzente zulassen. (Nina)

Auf der Akademie wurde mir sehr deutlich bewusst, wie begeistert und konzentriert SuS arbeiten können, wenn man ihnen das richtige Material und den richtigen Rahmen bietet. (Kirsten)

So war ich ab der ersten Präsentation voller Begeisterung für unsere Schülerinnen und Schüler. [...] Es hatte sich außerdem eine Atmosphäre entwickelt, in welcher jeder ohne Angst partizipieren konnte. Verständnisfragen wurden nicht einfach abgetan, sondern mit höchstmöglichem Einsatz von den Schülerinnen und Schülern beantwortet. (Julia We.)

Die Hierarchien auf Burg sind flach und der Austausch zwischen allen Gruppen geschieht auf Augenhöhe, ob nun Lehrender, Studierender, Schülerinnen oder Schüler. Es geht nicht um Noten und es herrscht kein Konkurrenzkampf. Alle Teilnehmenden tun das, was sie tun, aus ehrlichem Interesse und mit Leidenschaft. Nachfragen ist erlaubt und sogar erwünscht. (Theresa)

Die Teilnahme an der Hessischen Schülerakademie war für mich eine sehr bereichernde Zeit. [...] Das Lernen und Austauschen von Wissen auf hohem Niveau war mir in solch einem Rahmen absolut neu: in einer ungezwungenen Lernatmosphäre, in der sich aus wirklich eigenem Interesse und mit Spaß und Freude an der Thematik, mit Fragestellung auf vielfältige Weise auseinandergesetzt wird. (Ilda)

Die Atmosphäre, die auf der Burg entsteht, ist einfach unvergleichlich. Gleichzeitig wird auf diesem engen Raum und in begrenzter Zeit an so vielen unterschiedlichen Themen gearbeitet und das nicht nur in einem Themenfeld, sondern in einem riesigen Bereich. Es wird die Welt der Geistes- und Naturwissenschaften erforscht, eine Fremdsprache erlernt, gesungen, getanzt, Theater gespielt und vieles mehr. Es entsteht ein unglaublich produktives Arbeitsklima. (Gregor)

Interessant sind die Schülerreaktionen auf dieses Konzept [der ganzheitlichen Bildung]. Denn während einige in ihren Regelschulen im Unterricht eine ihnen angemessene Förderung und teilweise sogar das Gefühl ernstgenommen zu werden vermissen, fühlen sie sich auf der Burg deutlich wohler und arbeiten gerne in den Kursen mit. Sie suchen geradezu die Angebote und nutzen ihre rare Freizeit, um mit dem Musizieren, Tanzen oder Feilen am Vortrag weiterzumachen. (Rüdiger)

Die interdisziplinären Angebote charakterisieren die HSAKA und stellen eine Bereicherung neben der internen Kursarbeit dar. (Ilda)

Dass auf der Burg fast nichts unmöglich scheint, erwies sich hier [im Kammermusik-Kurs] in besonderer Weise. Abends darauf angesprochen, dass wir eine Tuba bräuchten, gab Fabian Angeloni diese Anfrage direkt an das Burgsekretariat weiter, welches bereits am Vormittag darauf mit der Nachricht aufwarten konnte, ein solches Instrument organisiert zu haben. Dies erweiterte das Klangspektrum signifikant und sorgte zudem für eine erfreuliche Überraschung. (Rüdiger)

12 Teilnehmende

Leitung und musisch-kulturelles Angebot

	Fabian	Angeloni	Italienisch/Journalismus/Leitungsassistentz
Prof. Dr.	Wolf	Aßmus	Physik
	Ingrid	Baumann-Metzler	Englisches Theater
PD	Dr. George	Bruls	Physik
	Dr. Christan	Dietz	Biologie
	Dr. Peter	Gozzolla	Geschichte/Gesamtleitung
	Dr. Cynthia	Hog-Angeloni	Mathematik/Gesamtleitung
	Volker	Kehl	Musik. Improvisation/Improvisationstheater
	Dr. Guido	Klees	Biologie
	Antonia	Kölble	Kammermusik
Prof. Dr.	Wolfgang	Metzler	Chor
	Benedikt	Weygandt	Mathematik
	Birthe Anne	Wiegand	Mathematik/Bühnenbild/Leitungsassistentz
	Julia	Zaenker	Kontratanz

Studentisches Team in den Fachkursen

Gregor	Angeloni	Physik	Victoria	Möller	Mathematik
Alexander	Dick	Physik	Laura	Pauly	Biologie
Jan	Fotakis	Physik	Nina	Quandt	Geschichte
Moritz	Gleditzsch	Geschichte	Ilda	Sokolovic	Mathematik
Jochen	Graf	Biologie	Maximilian	Stietzel	Biologie
Isabella	Heil	Geschichte	Dalila	Truchan	Geschichte
Samira	Hook	Biologie	Kirsten	Utermann	Biologie
Sonja	Kliehm	Mathematik	Julia	Westendorff	Biologie
Rüdiger	Kling	Mathematik	Julia	Wirth	Geschichte
Hanna	Klingler	Biologie	Sarah	Zimmermann	Mathematik
Theresa	Kumpitsch	Mathematik			

Schülerinnen und Schüler

Adalie	Ament	Geschichte	Jakob	Lohr	Physik
Lea	Bach	Mathematik	Lara	Mayer	Biologie
Nadine	Badie	Biologie	Miriam	Mayer	Geschichte
Leonie	Brüggemann	Biologie	Freya	Moßig	Mathematik
Lena	Buchwald	Mathematik	Farida	Negm	Physik
Armin	Dashti	Geschichte	Antonius	Nies	Mathematik
Elina	Dilger	Mathematik	Philipp	Petrynowski	Geschichte
Clarissa	Durek	Mathematik	Anastasia	Reiß	Geschichte
Sonja	Farr	Physik	Daria	Schelp	Geschichte
Isabel	Geiger	Biologie	Anna-Sophie	Schmidt	Biologie
Tim	Griesbach	Physik	Johanna	Schmidt	Mathematik
Antonia	Grogro	Mathematik	Konstantin	Skudler	Physik
Tanja	Groß	Physik	Katharina	Stolla	Biologie
Benedikt	Hartmann	Biologie	Stefan	Tauchnitz	Physik
Philipp	Heering	Geschichte	Leon	Vack	Physik
Eliana	Höll	Biologie	Erik	Walter	Mathematik
Paula	Kilp	Physik	Viktor	Warkentin	Biologie
Céline	Klein	Mathematik	Tim	Weber	Geschichte
Katharina	Kraus	Geschichte	Max	Wiegand	Mathematik
Eva	Lange	Geschichte	Stefan	Zheng	Geschichte
Thilo	Leitzbach	Biologie	Felix	Zinn	Physik

Wir danken unseren Förderern

HESSEN



Hessisches
Kultusministerium

GOETHE
UNIVERSITÄT
FRANKFURT AM MAIN



BURG FÜRSTENECK

Hessische Heimvolkshochschule
Akademie für berufliche

und musisch-kulturelle Weiterbildung

Landesschulamt
und Lehrkräfteakademie

