

6. Hessische Schülerakademie

01. August – 13. August 2010

– Schulpraktische Veranstaltung für Lehramtsstudierende –

Dokumentation

Herausgegeben von:

Cynthia Hog-Angeloni, Wolfgang Metzler
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>

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	5
2	Grußwort des Vizepräsidenten der Universität	6
3	Mathematikkurs	7
3.1	Mathematik in der Kunst	7
3.2	Punkte im Unendlichen	10
3.3	Der Satz von Brianchon	11
3.4	Kegelschnitte	12
3.5	Bunte Knoten - Einführung in die Knotentheorie	14
3.6	Seifert-Flächen, Knotengeschlecht und Primknoten	15
3.7	Gewirre und ihre Kettenbrüche	18
3.8	Unendliche Mengen	20
3.9	Rasieren für Fortgeschrittene - Mengenlehre um 1900	22
3.10	Formale Sprachen und formalisierte Beweise	24
4	Physikkurs	27
4.1	Impuls- und Energieerhaltung	27
4.2	Temperatur als mittlere kinetische Energie	29
4.3	Wärmekapazität und thermodynamische Freiheitsgrade	30
4.4	Reale Gase	33
4.5	Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck	35
4.6	Lichtbrechung	36
4.7	Lichtstreuung	38
4.8	Atmosphärische Elektrizität	39
4.9	Corioliskräfte	41
4.10	Deterministisches Chaos in der Physik und seine Anwendung auf das Wetter	42
5	Informatikkurs	45
5.1	Aufbereiten und Darstellen von Informationen	45
5.2	Darstellung dreidimensionaler Körper und geometrische Operationen: Raytracing	48
5.3	Auge, Farbempfindung und Umsetzung auf dem Computer	50
5.4	Erstellen von 3D-Bildern (Stereographie)	52
5.5	Psychologische Aspekte von Farben	54
5.6	Visualisierung großer Datenmengen und multivariater Daten	55

6	Geschichtskurs	58
6.1	Einleitende Sitzung	58
6.2	Geschichte und Geschichtsschreibung	59
6.3	Funktionen von Geschichte und Geschichtsschreibung	60
6.4	Historiker, ihr Arbeitsmaterial und ihre Arbeitsmethoden in der Theorie	61
6.5	Historiker, ihr Arbeitsmaterial und ihre Arbeitsmethoden in der Praxis	63
6.6	Subjektivität und Objektivität	64
6.7	Fakten und Interpretationen	65
6.8	Fakten, Interpretationen und Erklärungen	66
6.9	Verstehen und Richten	69
6.10	Periodisierung	70
6.11	Der Beruf des Historikers - Teil 1	71
6.12	Der Beruf des Historikers - Teil 2	72
6.13	Geschichtsphilosophie	73
6.14	Kontrafaktische Geschichtsschreibung	74
6.15	Abschließende Sitzung	75
7	Kursübergreifende Angebote	76
7.1	Chor	76
7.2	Kammermusik	76
7.3	Kontratanz	77
7.4	Englisches Theater	77
7.5	Bühnenbild	78
7.6	Italienisch	78
7.7	Akademiezeitung	79
7.8	Improvisations-Theater	79
7.9	HSAKA-Film	80
7.10	Slackline und Volleyball	80
7.11	Naturkunde	81
8	Interdisziplinäre Vorträge	82
8.1	Freiheit und Verantwortung - Neue Fragen durch die Hirnforschung?	82
8.2	Kontrafaktische Geschichtsschreibung	83
9	Vortrag zum Vorbereitungsseminar	84
10	Gästenachmittag	87
11	Pressebericht	88
12	Auszüge aus studentischen Abschlussberichten	89

13 Teilnehmende	90
13.1 Leitung	90
13.2 Studierende	90
13.3 Schülerinnen und Schüler	90
13.4 Mitwirkende Gäste	90

1 Vorwort

Die Hessischen Schülerakademien unterscheiden sich von manchen anderen Akademien dadurch, dass sie zugleich als Schulpraktika für Lehramtsstudierende durchgeführt werden, ferner, weil von derselben Schule mehrere SchülerInnen teilnehmen dürfen und dies nicht nur jeweils einmal. Dies sichert inhaltliche und persönliche Kontinuität, obwohl wir darauf achten, dass hinreichend viele Neulinge eine Chance zur Teilnahme erhalten. Etwa die Hälfte der SchülerInnen möchte sich nach einer Akademie sofort für die nächste anmelden, und auch unter den Studierenden steigt der Anteil an „Wiederholern“, die den Praktikumsschein schon erworben haben. Eine solche Begeisterung ist kein schlechtes Zeichen für eine universitäre Lehrveranstaltung. Wir weisen diesbezüglich auf den abschließenden Berichtsauszug von Benedikt Weygandt in Abschnitt 12 hin. Ein anderes Charakteristikum unserer hessischen Akademien ist die besondere Arbeitsatmosphäre auf Burg Fürsteneck. In seinem Grußwort erwähnt sie Prof. Dr. Manfred Schubert-Zsilavec als Hauptindruck bei einem eintägigen Besuch, und Julia Ruff beschreibt sie in ihrem Abschlussbericht ausführlich. Die Möglichkeit zu hektikfreier Konzentration schafft wichtige eigenständige Modelle der Curriculumentwicklung für Schule und Lehrer(aus)bildung. In schulische und universitäre Veranstaltungen lassen sich solche Impulse mitnehmen; und Cynthia Hog-Angeloni, eine der Unterzeichnenden, ist für ihre entsprechende Tätigkeit in Fürsteneck und an der Universität Mainz kürzlich durch den Verein „MINT Zukunft schaffen“ unter der Schirmherrschaft von Bundeskanzlerin Angela Merkel geehrt worden.

An persönlichen Nachrichten sei ferner erwähnt, dass Prof. Dr. Christoph Berger Waldenegg mit dem Abschluss der Akademie 2010 seine Mitwirkung bei den Hessischen Schülerakademien beenden möchte. Durch seine Kursarbeit und die Beiträge zu interdisziplinären Abendprogrammen hat er sie wesentlich mitgeprägt; und wir danken ihm dafür ganz herzlich.

Eine traurige Nachricht ist, dass Prof. Dr. Josef Esser, der im vergangenen Jahr schwer erkrankt war, inzwischen verstorben ist. Er war von Anbeginn der Akademien dabei. Wir werden an ihn immer wieder gern denken.

Während diese Dokumentation entsteht, verdichtet sich die Gewissheit, dass zusätzlich zu der Schülerakademie für die Oberstufe, die wiederum am Ende der Sommerferien liegt, 2011 in den hessischen Herbstferien in Fürsteneck eine Akademie für SchülerInnen der Klassen 7-9 stattfinden kann. Sie wird insbesondere ein „Heim“ sein für diejenigen, die wir bisher aus Altersgründen abweisen mussten, oder - wenn sie doch zugelassen wurden - noch nicht am richtigen Platz waren. Wir freuen uns über diese Entwicklung, die überdies zeigt, dass das Konzept der Hessischen Schülerakademien in Fürsteneck auch bzw. gerade in Zeiten knapper Finanzen unverzichtbar ist.

Allen Teilnehmenden an der Akademie 2010, unseren Förderern und allen, die zu der vorliegenden Dokumentation beigetragen haben, danken wir herzlich.

Frankfurt/Main, im November 2010

Cynthia Hog-Angeloni, Wolfgang Metzler und Birthe Anne Wiegand

2 Grußwort des Vizepräsidenten der Universität



Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main
Der Vizepräsident

Der Vizepräsident

Prof. Dr. Manfred Schubert-Zsilavec

Telefon +49 (0)69 798 22476
Telefax +49 (0)69 798 28971

www.uni-frankfurt.de

Grußwort für die Hessische Schüler-Akademie 2010.

In diesem Sommer findet die Hessische Schülerakademie zum sechsten Male statt in einer inzwischen bewährten Kooperation zwischen der Johann Wolfgang Goethe-Universität, der Hessischen Heimvolkshochschule Burg Fürsteneck und dem Amt für Lehrerbildung. Für die Studierenden ist sie eine spezielle Form des Schulpraktikums, welches bereits im Frühjahr eines Jahres mit einem Vorbereitungseminar beginnt, anschließende Korrespondenz zur Ausarbeitung von Referaten umfasst und sich mit der zugehörigen Nachbereitung und Dokumentation fast bis zum Jahresende erstreckt.

Im vergangenen Sommer konnte ich mich durch einen Besuch in Fürsteneck während der Akademie selbst von dem gelungenen Konzept der wissenschaftlichen und musischen Arbeit mit Schülerinnen und Schüler überzeugen und war sehr beeindruckt. Gerade diese Verbindung, die weit über eine rein fachliche Bildung hinausgeht, halte ich für die Entwicklung besonderer Begabungen für wichtig. Deutlich spürbar war dabei die arbeitsintensive, aber auch heitere Atmosphäre auf der Burg. Die Schülerakademie trägt dazu bei, dass sich die Goethe-Universität, die einen großen Teil der Lehrenden stellt, als in der Lehre engagierte Universität zeigt. Sie hat dabei die Gelegenheit, gute Studierende zu werben. Zukünftige LehrerInnen lernen die Ansprüche begabter SchülerInnen kennen und bringen diese Erfahrung in das Studium ein. Die Reform der Lehrerausbildung benötigt solche Impulse.

Auch andere Bereiche der Kooperation zwischen Universitäten, Aus- und Weiterbildung können durch Aufenthalte auf der Burg in Planung und Praxis gefördert werden. Man kann dabei etwa an Modelle zur konzeptionellen Vertiefung integrativer Bildung, z. B. Fragen der Kreativitätsentwicklung in wissenschaftlicher und künstlerischer Tätigkeit denken. Die Mitgliedschaft der Universität im Trägerverein der Burg bietet dafür den geeigneten Rahmen.

Allen Teilnehmenden der Schülerakademie 2010 wünsche ich, dass sie die genannte arbeitsintensive, aber auch heitere Burgatmosphäre in diesem Jahr ebenfalls in vollem Umfang erfahren.

Ich wünsche der Akademie einen guten Verlauf.

Prof. Dr. Manfred Schubert-Zsilavec

3 Mathematikurs

Mathematik nach dem Abitur

Anhand ausgewählter Themen wollten wir uns einen Einblick in universitäre Mathematik verschaffen, beispielsweise:

- Die Malerei in der Renaissance hat sich zuerst damit beschäftigt, was sich verändert, bzw. was erhalten bleibt, wenn eine Figur projiziert wird; daraus ergab sich die sogenannte *Projektive Geometrie*, ein auch für Anwendungen wichtiges Gebiet.
- In der *Knotentheorie* wird mathematisch präzise erfasst, was es bedeutet, geometrische Objekte wie z.B. Knoten ineinander zu verformen. Ist es möglich, eine vollständige Liste all solcher Typen von Knoten zu erstellen?
- Kann man mit *unendlichen Mengen* wie mit endlichen rechnen? Welche Rechengesetze gelten? Was muss man beachten, um sich dabei nicht in (begriffliche) Widersprüche zu verwickeln?

Wir benutzten dabei unter anderem:

1. Richard Courant und Herbert Robbins: *Was ist Mathematik?* Springer-Verlag.
2. Martin Aigner und Günter Ziegler: *Das Buch der Beweise*, Springer-Verlag.
3. Charles Livingston: *Knotentheorie für Einsteiger*, Vieweg-Verlag.

Kursleitung

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

Dr. Wolfgang Metzler, Professor für Mathematik an der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt, ausübender Musiker

3.1 Mathematik in der Kunst

Annika Walter
Betreuerin: Julia Ruff

Es gibt wohl wenige Wissenschaften, die als so wirklichkeitsfern gelten wie die Mathematik. Oft begegnet man dem Vorwurf, die Mathematik stände nur für sich selbst, ihre Ergebnisse seien nur für die Mathematiker interessant, und meist sogar nicht einmal für alle, sondern nur für einige wenige. Dass gerade diese Lehre die Grundlage nicht allein für Natur- sondern im besonderen Maße auch für Geisteswissenschaften legt, ist vielen nicht bewusst.

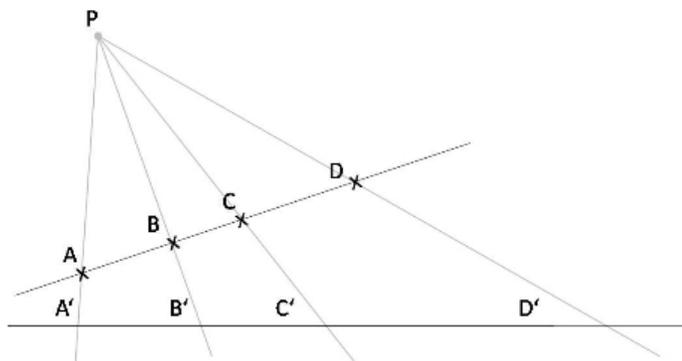
In der Renaissance galt das Ideal einer umfassenden Bildung. Stellvertretend für diesen Anspruch, sich mit möglichst vielen Gebieten zu beschäftigen, steht heute Leonardo da Vinci, der sich nicht nur der Kunst, Malerei und Bildhauerei, sondern weiterhin auch der Philosophie, der Architektur, dem Ingenieurwesen, den Naturwissenschaften, der Musik und der Mathematik annahm. Obwohl heute meist für seine unnachahmlichen Kunstwerke berühmt, stammt von da Vinci der Ausspruch: „Non mi legga chi non e matematico.“ [ital.: „Lasst niemanden meine Werke lesen, der kein Mathematiker ist.“]

Tatsächlich finden sich in der Kunst wichtige Anwendungen mathematischer Errungenschaften. Teils stammen diese aus jahrhundertealten Überlieferungen, teils sind sie jedoch auch aktuellen Entdeckungen zuzuschreiben. Ein besonderes Problem der Kunst stellte lange Zeit die Perspektive dar. Wie sollte man ein dreidimensionales Gebilde adäquat auf zwei Dimensionen reduziert darstellen? Hier

entwickelte man die Idee, auf antike Mathematik zurückzugreifen. Die Grundlage für perspektivische Malerei wurde bereits 300 v.Chr. in Griechenland gelegt. Der Mathematiker Euklid von Alexandria legte in seinen Werken „Stoicheia“ [griech.: „Die Elemente“] und „Optika“ [griech.: „Optik“] dar, wie sich optische Verzerrungen auf mathematischem und zeichnerischem Wege bestimmen lassen. Zwar waren diese Schriften keinesfalls, wie lange Zeit angenommen, mathematisch vollkommen korrekt, jedoch gelten sie auch heute noch als Meisterwerk der Logik.

Ein besonderes Mittel, welches in der darstellenden Kunst Anwendung findet, ist das der Projektion. In der Geometrie stellt diese sogar einen eigenständigen Bereich dar, den der „projektiven Geometrie“. Im Gegensatz zur klassischen euklidischen Geometrie der Ebene und des Raumes, befasst sich die projektive Geometrie mit beliebigen Transformationen, welche Punkte, Geraden, Ebenen und Körper auf ebensolche abbildet, projiziert. Für Geometrien sind insbesondere die Invarianten bezeichnend, welche je nach Abbildungstyp (Kongruenz- oder Ähnlichkeitsabbildungen, Parallel- bzw. Zentralprojektion) differieren. In der projektiven Geometrie stellen weder Längen, noch Winkel oder Längen-, bzw. Flächenverhältnisse Invarianten dar, hingegen bleibt das Doppelverhältnis bei allen erlaubten Transformationen unverändert.

Für die Definition dieses Verhältnisses betrachten wir eine Gerade g , auf welcher wir vier Punkte festlegen. Ein Projektionszentrum P wird festgelegt, von dem aus Geraden durch die vier Punkte gezogen werden. Auf einer Geraden h , die nicht parallel zu g ist, werden die vier projizierten Punkte A' , B' , C' und D' abgetragen.



Das Doppelverhältnis ist nun definiert als:

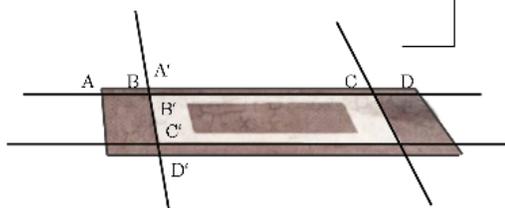
$$(ABCD) = \frac{\overline{CA}}{\overline{CB}} \bigg/ \frac{\overline{DA}}{\overline{DB}}$$

Dieses bleibt auch bei Zentralprojektionen invariant; der Beweis lässt sich elementar mithilfe der Flächeninhalte entsprechender Dreiecke führen. Legt man nun eine positive und negative Richtung auf der Geraden fest, erhält man für die Doppelverhältnisse Werte verschiedener Vorzeichen. Hervorzuheben ist hier der Wert $(ABCD) = -1$, da hier die Strecke \overline{AB} von C und D innerlich und äußerlich im gleichen Verhältnis geteilt wird. Man bezeichnet dies als harmonische Teilung. Verschiebt man den Punkt D auf der Geraden immer weiter, nähert sich $\overline{DA}/\overline{DB}$ dem Wert 1 an, sodass gilt:

$$\lim_{D \rightarrow \infty} = \frac{\overline{CA}}{\overline{CB}} =_{def} (ABCD)$$

Besondere Bedeutung hat diese Eigenschaft der Projektionen für die perspektivische Malerei. Die Entstehung mathematisch fundierter Darstellung geht bis ins 3. Jh. v. Chr. zurück, in welcher durch Euklids „Elemente“, sowie seine „Optika“ die Grundsteine für die mathematische Kunst, bzw. die künstlerische Mathematik, gelegt wurden.

In einem Gemälde Raffaels, der „Philosophenschule“, finden sich zahlreiche sehr gut erkennbare Beispiele für Perspektive in der Malerei:



Schon auf dem Fußbodenmosaik lassen sich interessante Teil- und Doppelverhältnisse beobachten: So finden sich hier die Streckenverhältnisse $\overline{CA}/\overline{CB}$ und $\overline{DA}/\overline{DB}$, welche auf dem Originalfußboden identisch sind zu den Teilverhältnissen $\overline{C'A'}/\overline{C'B'}$ bzw. $\overline{D'A'}/\overline{D'B'}$. Nach der Projektion auf die Leinwand von einem nicht auf derselben liegenden Punkt P aus gilt das nur noch für die Doppelverhältnisse: $(ABCD) = (A'B'C'D')$.

Quellen

- Richard Courant, Herbert Robbins: *Was ist Mathematik?*, Springer-Verlag, 1961
- <http://www.math.dartmouth.edu/~matc/math5.geometry/descrip.html>
- <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/eserv/eth:25629/eth-25629-03.pdf>

3.2 Punkte im Unendlichen

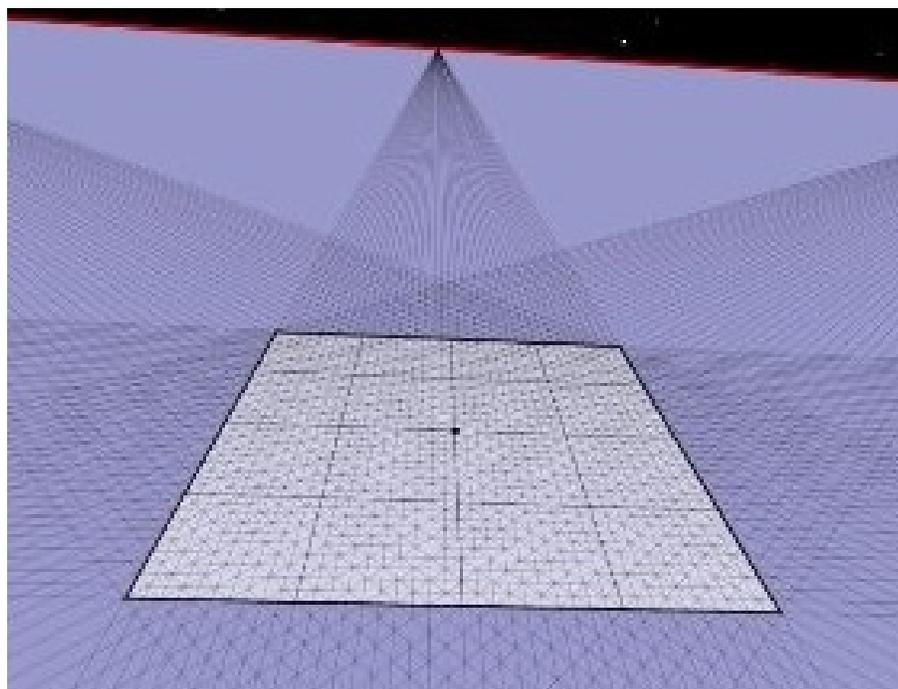
Markus Hantschick
Betreuer: Christian Englisch

„Parallelen schneiden sich im Unendlichen“ - Diese Redewendung ist vielen bekannt, doch erklären können ihn nur sehr wenige. Zunächst einmal benötigt man eine geeigneten Ebene, in dem diese parallelen Geraden verlaufen sollen. Hierzu nimmt man die uns bekannte euklidische Ebene \mathbb{R}^2 . Diese reicht jedoch noch nicht ganz aus, da in ihr keine Punkte definiert sind, die „unendlich weit weg“ liegen! Diese werden aber benötigt, immerhin soll ja der Schnittpunkt der parallelen Geraden „im Unendlichen liegen“. Daher wird für jede Schar paralleler Geraden, die in der Ebene existiert, ein gemeinsamer *Fernpunkt* hinzugefügt - der Punkt, in dem sich diese parallelen Geraden eben schneiden sollen. Jede Gerade hat nur *einen* Fernpunkt, nicht etwa zu jeder Seite hin einen, man identifiziert also die Fernpunkte, die in beide Richtungen der Geraden liegen.

In dieser neu definierten Ebene, der *projektiven Ebene*, haben nun je zwei Geraden immer *genau einen Schnittpunkt*. Sind sie parallel, so ist dies der Fernpunkt - sind sie es nicht, bleibt die bekannte Bedeutung des Schnittpunkt erhalten.

Auf diese Art und Weise entsteht ein Kreis „um die Ebene“, bei dem jedoch jeweils gegenüberliegende Punkte identisch sind.

Das gleiche Prinzip kann man anwenden, um aus dem dreidimensionalen Raum \mathbb{R}^3 den *projektiven Raum* zu erzeugen. Dabei entstehen entsprechend aus Scharen paralleler Geraden Fernpunkte und aus Scharen paralleler Ebenen *Ferngeraden*.



Quellen

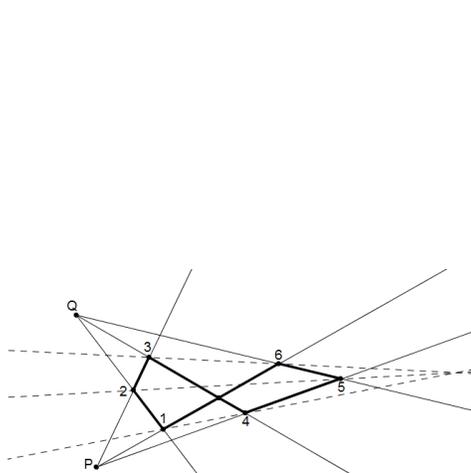
- Richard Courant, Herbert Robbins: *Was ist Mathematik?*, Springer-Verlag, 1961

3.3 Der Satz von Brianchon

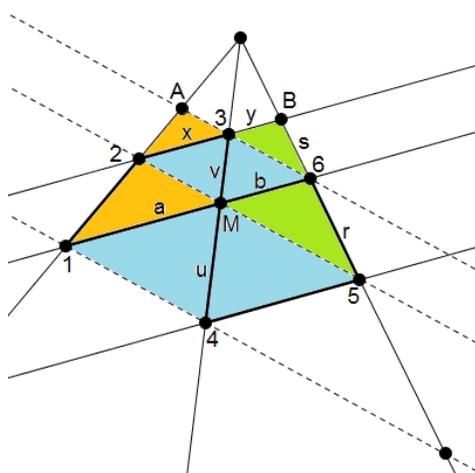
Julia Ruff

Von den Sätzen, deren Formulierung und Beweis sich durch den Gebrauch unendlich ferner Elemente vereinfachen, sei exemplarisch der von *Charles-Julien Brianchon* (1783 - 1846) vorgestellt. Für weitere Beispiele hierzu (Desargues, Pappos) verweisen wir auf die Literatur.

„Wenn die Seiten eines Sechsecks abwechselnd durch zwei feste Punkte P und Q gehen, dann sind die drei Diagonalen, welche gegenüberliegende Ecken des Sechsecks verbinden, konkurrent.“



(a) Der Satz von Brianchon im allgemeinen Fall



(b) Der Satz von Brianchon im projizierten Fall

Beweis

1. Mittels Projektion wird P ins Unendliche gerückt $\Rightarrow 23 \parallel 16 \parallel 45$
2. Der Schnittpunkt der Diagonalen 14 und 36 wird auch ins Unendliche gerückt $\Rightarrow 14 \parallel 36 \Rightarrow$ z.z.: $14 \parallel 36 \parallel 25$
3. Mithilfe der Winkelgesetze erweisen sich folgende Dreiecke als ähnlich:
 - $\triangle 2A3 \sim \triangle M12$ (orange)
 - $\triangle 6B3 \sim \triangle 5M6$ (grün)
 - $\triangle 41M \sim \triangle 4M5 \sim \triangle M23 \sim \triangle M36$ (blau)
4. $\Rightarrow \frac{a}{b} = \frac{u}{v}$
5. wegen $23 \parallel 16 \Rightarrow \frac{x}{y} = \frac{a}{b}$ und $\frac{u}{v} = \frac{r}{s}$
6. aus (4) und (5): $\frac{r}{s} = \frac{u}{v} = \frac{a}{b} = \frac{x}{y}$
 $\Rightarrow 25 \parallel 14 \parallel 36$, qed.

Quellen

- Richard Courant, Herbert Robbins: *Was ist Mathematik?*, Springer-Verlag, 1961

3.4 Kegelschnitte

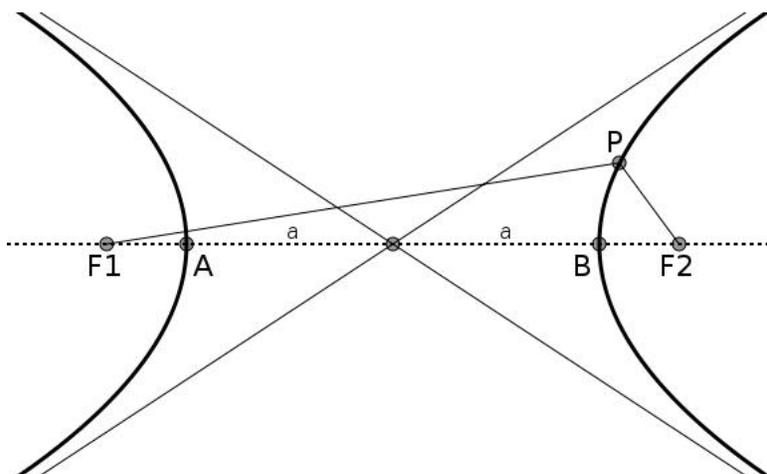
Roman Napierski
Betreuer: Christian Englisch

Definitionen (im Rahmen ebener euklidischer Geometrie)

Eine *Ellipse* ist der geometrische Ort der Punkte, deren Abstände r und r' von zwei festen Punkten (den *Brennpunkten*) F und F' eine konstante Summe haben.

Eine *Parabel* ist die Menge aller Punkte, deren Abstand zu einem speziellen festen Punkt - dem Brennpunkt F - gleich dem Abstand zu einer speziellen Geraden - der Leitgeraden L - ist.

Alle Punkte, deren Differenz ihrer Abstände zu zwei festen Punkten F_1 und F_2 gleich ist, liegen auf einer *Hyperbel*. Auch hier heißen die beiden Punkte Brennpunkte.



Kegelschnitte sind durch Gleichungen zweiten Grades darstellbar (algebraische Definition):

$$ax^2 + by^2 + cxy + dx + ey + f = 0$$

In der Projektiven Geometrie kann man zu folgender Definition gelangen: Kegelschnitte sind die Projektionen von Kreisen auf Ebenen. Im Falle, dass die Projektion ganz im Endlichen liegt, ergibt sich die Behauptung: *Der Schnitt E einer Ebene ϵ mit einem Kreiskegel ist eine Ellipse.*

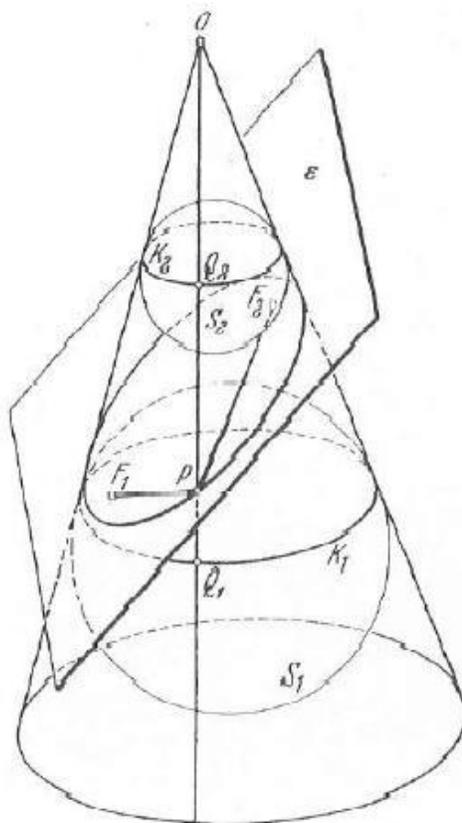


Fig. 95. Die Dandelinschen Kugeln

Zu zeigen: Die Summe der Abstände jedes Punktes P auf E zu den zwei Brennpunkten F_1 und F_2 ist konstant.

Beweis

Zwei Kugeln S_1 und S_2 werden eingeführt (*Dandelinsche Kugeln*), die die Ebene ϵ in den Punkten F_1 und F_2 berühren.

Außerdem berühren die Kugeln den Kegel an den Kreisen K_1 und K_2 (K_1 und K_2 sind parallel). Ein beliebiger Punkt P aus E wird mit F_1 und F_2 verbunden. Die Verbindungslinie zwischen P und der Kegelspitze wird gezogen. Diese liegt komplett auf der Kegelfläche und schneidet K_1 im Punkt Q_1 und K_2 im Punkt Q_2 .

Jetzt sind die Strecken $\overline{PF_1}$ und $\overline{PQ_1}$ zwei Tangenten an S_1 . Da die zwei Tangenten vom selben Punkt aus gehen, sind sie gleich lang. Es gilt also:

$$\overline{PF_1} = \overline{PQ_1}, \text{ analog ist } \overline{PF_2} = \overline{PQ_2}$$

Addiert man diese Gleichungen, erhält man: $\overline{PF_1} + \overline{PF_2} = \overline{PQ_1} + \overline{PQ_2}$

Da P , Q_1 und Q_2 kollinear sind, ist $\overline{PQ_1} + \overline{PQ_2} = \overline{Q_1Q_2}$

Da die Strecke $\overline{Q_1Q_2}$ nur von den Berührungskreisen K_1 und K_2 der Kugeln mit dem Kegel abhängt, und diese sich aus den Kugelgrößen ergeben, welche ja nur so gewählt werden, dass sie die Ebene ϵ berühren, hängt die Strecke $\overline{Q_1Q_2}$ also letztendlich nur vom Winkel der Ebene ϵ ab, mit dem sie

den Kegel schneidet. Das bedeutet insbesondere, dass wenn in der Gleichung $\overline{Q_1Q_2} = \overline{PF_1} + \overline{PF_2}$ die einzige variable Größe P verändert wird, $\overline{Q_1Q_2}$ gleich bleibt.

Also muss $\overline{PF_1} + \overline{PF_2}$ ebenfalls konstant bleiben, egal wie P gewählt wird. Das bedeutet nun also wie gewünscht, dass K eine Ellipse ist und F_1 und F_2 ihre Brennpunkte.

Quellen

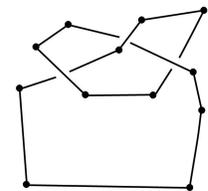
- Richard Courant, Herbert Robbins: *Was ist Mathematik?*, Springer-Verlag, 1961

3.5 Bunte Knoten - Einführung in die Knotentheorie

Simon Bodenschatz
 Betreuerin: Birthe Anne Wiegand

Wenn man das Wort „Knotentheorie“ hört, kommen einem zumeist die eigenen Schnürsenkel, Seemannsknoten oder die Graphentheorie in den Sinn. Allerdings ist ein Knoten in der Knotentheorie definiert als ein *einfach geschlossener Polygonzug im Raum*, man redet also eher über verknotete Schlingen.

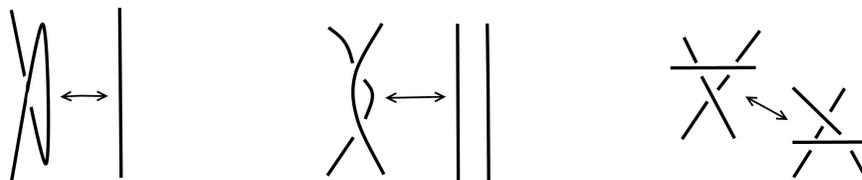
Wenn hier Knoten trotzdem glatt dargestellt werden, hat das ästhetische Gründe - die zugrundeliegende Definition ist immer noch die des Polygonzugs. Die Knotentheorie beschäftigt sich nun damit, *Knoteninvarianten* zu finden. Das sind Größen oder Eigenschaften von Knoten, die sich bei *Deformationen* nicht ändern. Zwei davon werde ich nun vorstellen.



Was sind überhaupt Deformationen eines Knotens? Das kann man sich vorstellen, als würde man an eine Kante ein Dreieck hinzufügen, das den Knoten sonst nicht trifft.

Es gibt zwei Arten von Deformationen, die *elementaren Deformationen* und die *Reidemeisterbewegungen*. *Elementare Deformationen* ändern die Kreuzungen einer ebenen Projektion nicht, man verformt lediglich einen Strang.

Bei den *Reidemeisterbewegungen* sieht es anders aus: Sie verändern ebene Projektionen, ohne den Knotentyp zu verändern. Es gibt insgesamt drei. Die erste schafft oder löst eine kleine „Schleife“. Bei der zweiten werden zwei Stränge übereinander geschoben, und bei der dritten wird ein Knotenstrang von einer Seite der Kreuzung auf die andere geschoben.



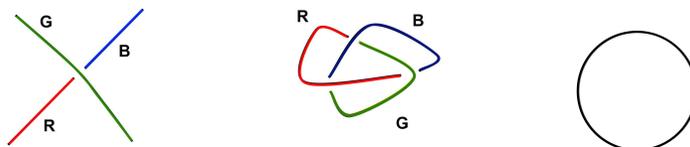
Die Reidemeisterbewegungen reichen aus, um alle (nicht entarteten) Diagramme eines Knotens ineinander zu überführen. Allerdings ist das häufig nicht auf den ersten Blick zu sehen. Zum Beispiel ist es möglich, dass man die Anzahl der Kreuzungen zwischendurch erhöhen muss.

Welche Möglichkeiten gibt es nun, um Knoten zu voneinander unterscheiden?

Ralph Fox erfand eine Methode, Knoten zu unterscheiden, indem man sie einfärbt. Dazu nimmt man drei Farben und färbt die Bögen der Projektion nach folgenden Regeln ein:

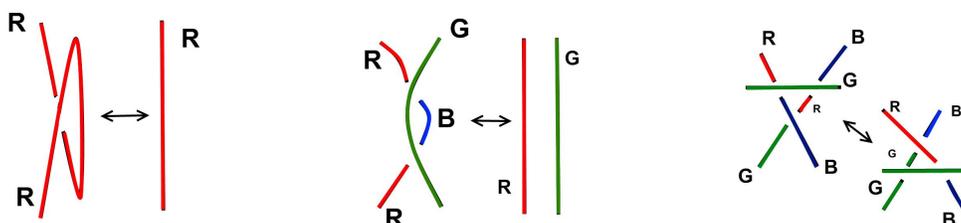
1. Das Diagramm darf nicht in nur einer Farbe eingefärbt sein.
2. Wenn an einer Kreuzung zwei Farben aufeinander treffen, müssen alle drei Farben vorkommen.

In den Abbildungen steht *R* für rot, *B* für blau und *G* für grün.



Mit diesem Hilfsmittel hat er bewiesen, dass es nichttriviale Knoten gibt, da die Kreislinie offensichtlich nicht einfärbbar ist. (Leider) ist der Umkehrschluss nicht zulässig, da es Knoten gibt, die zwar nichttrivial, aber trotzdem nicht einfärbbar sind.

Um zu beweisen, dass es sich bei der Färbbarkeit tatsächlich um eine Invariante handelt, reicht es zu zeigen, dass die Knotenprojektion nach Anwendung einer Reidemeisterbewegung wieder einfärbbar ist. Der Beweis bei der dritten Reidemeisterbewegung ist hier nur in einem von fünf Fällen dargestellt. Können Sie die übrigen vier nachvollziehen?



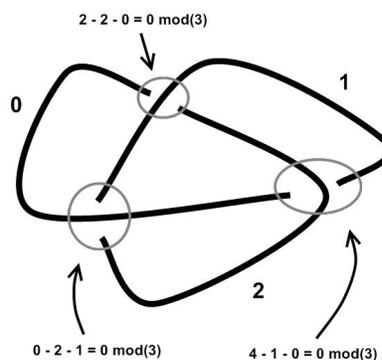
Kann man auch mehr als drei Farben, sogenannte *Etiketten*, benutzen? Dafür nehmen wir statt Farben Zahlen und fordern an den Kreuzungen folgende Regel:

$$2x - y - z = 0 \pmod{p}$$

Hierbei ist *x* das Etikett des überkreuzenden Stranges. Für das Etikett *p* dürfen nur ungerade Primzahlen verwendet werden; *x*, *y*, *z* müssen zwischen 0 und *p* - 1 liegen. Diese Regeln sind für *p* = 3 zu den Färbungsbedingungen äquivalent.

Quellen

- Charles Livingston: *Knotentheorie für Einsteiger*, Vieweg Verlag



3.6 Seifert-Flächen, Knotengeschlecht und Primknoten

Sebastian Gallus
 Betreuerin: Sinja Langer

Seifert-Flächen

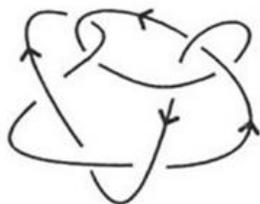
Seifert-Flächen sind orientierbare Flächen, deren Rand ein vorgegebener Knoten ist. Die Konstruktion beginnt mit der Festlegung einer Orientierungsrichtung im Diagramm.

Seifert-Kreise

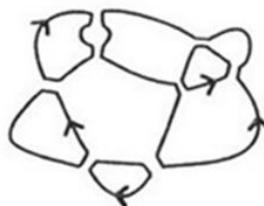
Man starte in einem beliebigen Punkt auf einem Bogen und folge der Orientierungsrichtung. Trifft man auf eine Kreuzung, wechsle man den Bogen und folge weiterhin der Orientierungsrichtung. Durchläuft man ab irgendeinem Punkt einen Weg zum zweiten Mal, so beginne man erneut in einem anderen beliebigen Punkt, welcher nicht auf den durchlaufenen Bögen liegt. Ab diesem Punkt laufe man wieder mit der Orientierungsrichtung. Durch Wiederholen des Vorgangs entstehen mehrere Seifert-Kreise. Man kann beobachten, dass innenliegende Kreise die gleiche Orientierung und nebeneinander liegende Kreise entgegengesetzte Orientierung besitzen.

Seifert-Flächen

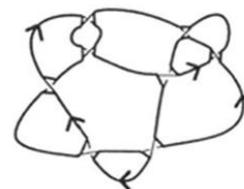
Jeder Seifert-Kreis ist Rand einer Scheibe in der Ebene. Sollten mehrere Kreise ineinander liegen, so hebe man die inneren Kreise an, so dass sie oberhalb der äußeren Scheibe liegen. Die Seifert-Fläche entsteht nun aus verdrehten Bändern, die die einzelnen Scheiben miteinander verbinden. Sie werden an die Punkte, die den Kreuzungspunkten des ursprünglichen Diagramms entsprechen, gesetzt. Die Orientierung des ursprünglichen Diagramms legt fest, wie die Bänder verdreht sind.



(a) orientiertes Diagramm



(b) Seifert-Kreise



(c) Seifert-Fläche

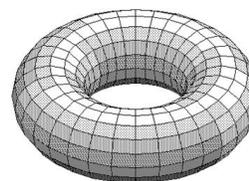
Knotengeschlecht

Das Geschlecht eines Knotens ist das kleinstmögliche Geschlecht einer Seifert-Fläche für diesen Knoten.

Geschlecht einer Fläche

Das Geschlecht einer Fläche ist die maximale Anzahl an Schnitten entlang geschlossener Kurven, die man an der Fläche durchführen kann, ohne sie damit in zwei oder mehrere Teile zu schneiden (auch: die Anzahl der Henkel).

So hat zum Beispiel eine Scheibe das Geschlecht 0, weil sie bei entsprechendem Schneiden immer in zwei Teile zerlegt wird. Ein Torus hat das Geschlecht 1, da dieser durch Schneiden, etwa entlang des Längskreises, immer noch zusammenhängend ist (er besitzt einen Henkel).

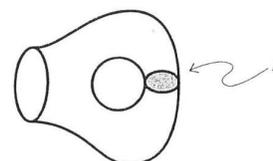


Chirurgie

Die Chirurgie ist eine Methode zur Vereinfachung von (Seifert-)Flächen. Sie resultiert im Entfernen und Ankleben von Henkeln.

Durchführung

Seien F eine Fläche und D eine Scheibe im \mathbb{R}^r . Der Rand von D liege im Inneren von F , das Innere der Flächen sei disjunkt. Nun entferne man auf F eine Ringfläche um den Schnitt von F und D . Danach klebe man die zwei neu entstandenen Randkomponenten mit zwei zu D parallelen Scheiben zu.



Satz

Führt eine Chirurgie auf F zu einer zusammenhängenden Fläche F' , dann gilt:

$$(1) \text{Geschlecht}(F') = \text{Geschlecht}(F) - 1$$

Ist das Ergebnis einer Chirurgie eine Fläche mit zwei Komponenten F' und F'' , dann gilt:

$$(2) \text{Geschlecht}(F) = \text{Geschlecht}(F') + \text{Geschlecht}(F'')$$

Beweisskizze

Zu (1): Man betrachte die Änderung der Euler-Charakteristik der Fläche durch die Chirurgie. Entfernen einer Ringfläche hat dabei keinerlei Auswirkungen, da die Euler-Charakteristik einer Ringfläche 0 ist. Das Ankleben zweier Scheiben führt zu einer Erhöhung der Euler-Charakteristik um 2, da die Euler-Charakteristik einer Scheibe 1 ist.

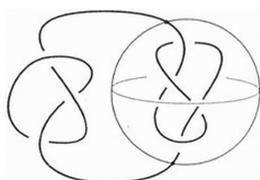
Zu (2): Der Beweis erfolgt über die Formel $g(s) = \frac{2-\chi(s)-B}{2}$ für das Geschlecht einer Fläche (χ ist die Euler-Charakteristik, B die Anzahl der Randkomponenten). Dabei ist zu beachten, dass die Summe der Randkomponenten der entstehenden Flächen gleich der Anzahl der Randkomponenten von F ist.

Knotensummen und Primzerlegung

Die Summe zweier orientierter Knoten entsteht, indem man die Knoten jeweils an genau einer Stelle aufschneidet und sie danach an den entstandenen Randpunkten verbindet. Umgekehrt wird ein Knoten K durch eine Sphäre, die ihn in genau zwei Punkten schneidet, in zwei Knoten K_1 und K_2 zerlegt. Dann bezeichnet man K als die zusammenhängende Summe von K_1 und K_2 , geschrieben: $K = K_1 \# K_2$.

Die Summe zweier orientierter Knoten liefert ein eindeutiges Ergebnis, denn:

- Es spielt keine Rolle, an welcher Stelle die Knoten zerschnitten werden.
- Es gibt genau eine Verbindung, die die Orientierung beider Knoten respektiert.



(d) nicht-triviale Knotensumme



(e) triviale Zerlegung

Primknoten

Ein Knoten wird Primknoten genannt, wenn bei jeder beliebigen Zerlegung des Knotens in eine zusammenhängende Summe einer der beiden Summanden unverknotet ist.

Primzerlegungssatz

Jeder Knoten lässt sich in die zusammenhängende Summe nichttrivialer Primknoten zerlegen. Die Primzerlegung ist eindeutig bis auf die Reihenfolge.

Der Beweis dieses Satzes wird hier (aufgrund seiner Länge) nicht ausgeführt; man kann ihn in „Knotentheorie für Einsteiger“ von C. Livingston nachlesen. Er erfolgt mittels einer Induktion über das

Knotengeschlecht und basiert grundlegend auf der Additivität des Knotengeschlechts. Aus dieser folgt u. a., dass Knoten vom Geschlecht 1 Primknoten sind, da sich 1 nicht als eine Summe aus zwei natürlichen Zahlen schreiben lässt.

Quellen

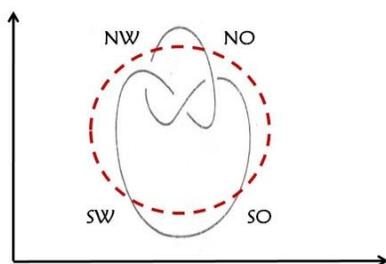
- Charles Livingston: *Knotentheorie für Einsteiger*, Braunschweig/Wiesbaden, Vieweg Verlag, 1995
- http://www.math.uni-bonn.de/people/raesch/Lehre/SS09/Seminar/Ausarbeitung_Knoten_SS09_Morina.pdf

3.7 Gewirre und ihre Kettenbrüche

Albrun Knof
Betreuerin: Sinja Langer

Rationale Gewirre als Bestandteile von Knoten

Im Jahre 1969 entwickelte der Mathematiker John H. Conway eine Notation für rationale Gewirre und rationale Knoten. Diese ermöglicht eine Klassifizierung rationaler Gewirre und stellt eine Methode dar, die Äquivalenz dieser zu überprüfen.



(a) Bild 1: Ausrichtung eines Gewirrs

Zählweise	Modell	Bezeichnung
0		Null-Gewirr
		∞ -Gewirr
1		Linksgewundenes Gewirr
-1		Rechtsgewundenes Gewirr

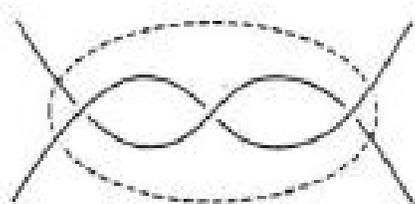
(b) Bild 2: Elementare Gewirre

Bei Gewirren handelt es sich um Konstruktionsbausteine eines Knotens oder einer Verschlingung. Betrachtet man das Knotendiagramm in der Projektionsebene, so ist ein Gewirr ein Bereich des Diagramms, der von einem Kreis so umschlossen werden kann, dass dieser an genau vier Stellen von Knotensträngen geschnitten wird. Die austretenden Schnüre werden nach den Himmelsrichtungen benannt: NW, NO, SW und SO. Als Beispiel zeigt Bild 1 das Gewirr, aus dem ein Kleeblattknoten entsteht, wenn das SW- mit dem SO-Ende und das NW- mit dem NO-Ende verbunden wird.

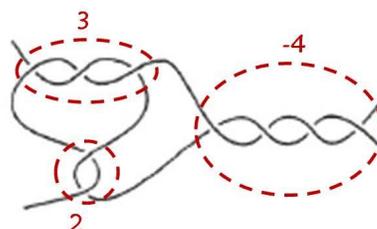
Es existieren bestimmte elementare Gewirre, aus denen jedes komplexere rationale Gewirr gebildet werden kann. Um elementare Gewirre wie das 3-Gewirr benennen zu können, wird die Anzahl aller aufeinanderfolgenden Überkreuzungen mit demselben Richtungssinn des jeweils oberhalb verlaufenden Strangs bestimmt. Bei linksgewundenen Kreuzungen hat dieser eine positive Steigung, weshalb die entsprechende Zahl größer als Null ist. Handelt es sich jedoch um ein rechtsgewundenes Gewirr, so ist die Steigung des oberen Strangs negativ und dementsprechend auch die bezeichnende ganze Zahl (vgl. Bild 2: Elementare Gewirre).

Im allgemeinen Fall setzt sich ein Gewirr aus mehreren dieser elementaren Gewirre zusammen, wodurch eine Folge ganzer Zahlen entsteht, die das Gewirr beschreibt. Wird das Gewirr durch eine

gerade Anzahl von ganzen Zahlen beschrieben, so beginnt die Konstruktion des Gewirrs mit dem ∞ - Gewirr. Es werden zunächst die oberen Enden fixiert und die unteren umeinander gewunden, danach die links liegenden Enden festgehalten und die rechts liegenden Enden verdrillt. Dieser Vorgang kann beliebig oft wiederholt werden. Wird das Gewirr durch eine ungerade Anzahl von ganzen Zahlen beschrieben, so startet man mit dem Null-Gewirr und einer horizontalen Verdrillung, die von einer vertikalen gefolgt wird. Bei dem Beispiel aus Bild 4 handelt es sich folglich um ein 3 2 -4 - Gewirr. Gewirre, die auf eine solche Weise entstehen, nennt man *rational*.



(c) Bild 3: Das 3 - Gewirr



(d) Bild 4: Das 3 2 -4 - Gewirr

Kettenbrüche rationaler Gewirre

Das $i j k l \dots m$ - Gewirr soll im Folgenden durch folgenden Kettenbruch beschrieben werden:

$$m + \frac{1}{l + \frac{1}{\dots + \frac{1}{k + \frac{1}{j + \frac{1}{i}}}}}$$

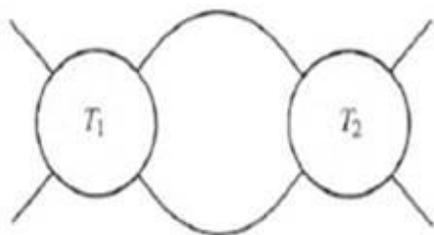
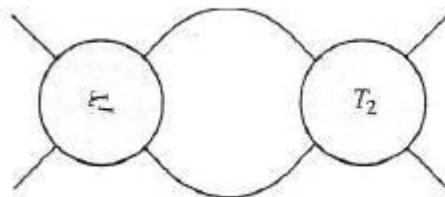
beim Ausrechnen erhält man ein rationales Ergebnis. Conways Ergebnis besagt nun, dass zwei Gewirre, deren Folgen sich zwar voneinander unterscheiden, die jedoch dasselbe Ergebnis als Kettenbruch liefern, zueinander äquivalent sind. Dies bedeutet, dass sich die Gewirre bei Fixierung der vier Endpunkte allein durch Reidemeister-Bewegungen in das jeweils andere überführen lassen.

Im Allgemeinen bestimmt ein beliebiges, rationales Gewirr durch Verbinden des NO- und NW-Endes sowie des SO- und SW-Endes einen Knoten oder eine Verschlingung. Die so gebildeten Knoten sind rational und zueinander äquivalent, wenn ihre Gewirre äquivalent waren. Umgekehrt gilt jedoch im Allgemeinen nicht, dass die Gewirre zweier zueinander äquivalenter Knoten äquivalent sind.

Verknüpfungen rationaler Gewirre

Rationale Gewirre können miteinander verknüpft werden. Hier unterscheidet man zwischen zwei Vorgängen, der Addition und der Multiplikation. Addiert man zwei Gewirre T_1 und T_2 miteinander, so wird der NO-Strang von T_1 mit dem NW-Strang von T_2 verbunden, ebenso wie die beiden unteren Stränge. Bei der Multiplikation wird das erste Gewirr, in diesem Fall also T_1 , zuerst entlang der NW-SO-Achse gespiegelt, und danach auf dieselbe Art wie bei der Addition mit T_2 verknüpft. Gewirre, die durch Multiplikation oder Addition gebildet werden können, nennt man *algebraische Gewirre*.

Ein weiteres Verfahren zur Konstruktion neuer Knoten stellt die sogenannte *Mutation* dar. Hierbei können aus einem Ausgangsgewirr mehrere Mutanten geschaffen werden. In einem ersten Schritt

(e) Bild 1: Addition von T_1 und T_2 (f) Bild 2: Multiplikation von T_1 und T_2

werden dabei T_1 und T_2 voneinander getrennt. Dann wird eines der Gewirre um eine horizontale oder vertikale Achse gekippt und wieder neu mit dem anderen verbunden. Werden die horizontale und vertikale Kippung hintereinander ausgeführt, so hat dies denselben Effekt wie eine 180° -Drehung.

Quellen

- Colin C. Adams: *Das Knotenbuch*, Heidelberg, Spektrum Verlag, 1995
- Charles Livingston: *Knotentheorie für Einsteiger*, Braunschweig/Wiesbaden, Vieweg Verlag, 1995

3.8 Unendliche Mengen

Georg Bube
Betreuer: Christoph Cuno

Eine wichtige Eigenschaft von Mengen ist deren *Mächtigkeit/Kardinalität*. Sie ist ein Maß für die „Größe“ einer Menge. Bei endlichen Mengen entspricht deren Mächtigkeit der Anzahl der Elemente der Menge. Zwei endliche Mengen M und N sind gleich groß, wenn sie dieselbe Anzahl an Elementen enthalten. Dann gilt $|M| = |N|$ und es existiert eine *Bijektion* von M nach N , wobei $|M|$ für die Mächtigkeit von M steht.

Definition 1. Zwei beliebige Mengen M und N haben dieselbe Mächtigkeit, wenn eine Bijektion von M nach N existiert.

Mengen derselben Mächtigkeit gehören einer *Äquivalenzklasse* an. Jede Äquivalenzklasse wird durch eine *Kardinalzahl* charakterisiert. Endliche Mengen der Mächtigkeit n bekommen die Kardinalzahl n zugeordnet, insbesondere steht die Kardinalzahl „0“ für die „Leere Menge“.

Definition 2. Wenn eine beliebige Menge sich bijektiv auf \mathbb{N} abbilden lässt, so nennt man sie *abzählbar unendlich*.

Der Menge \mathbb{N} wird die Kardinalzahl \aleph_0 („Aleph Null“) zugeordnet.

Hilberts Hotel ist eine gute Illustration für die Eigenschaften abzählbar unendlicher Mengen. Es hat abzählbar unendlich viele Einzelzimmer, die mit den natürlichen Zahlen durchnummeriert sind. Eines Abends, das Hotel ist voll belegt, kommt ein neuer Gast und verlangt nach einem Zimmer. Der Portier entgegnet entschuldigend, dass kein Zimmer mehr frei sei. Glücklicherweise erscheint in diesem Moment der Hoteldirektor. Er hat eine Idee: Der Gast von Zimmer 1 zieht in Zimmer 2, der Gast von Zimmer 2 in Zimmer 3, ..., der Gast von Zimmer n in Zimmer $n + 1$. Dann kann der neue Gast im frei gewordenen Zimmer 1 unterkommen.

Kurze Zeit später kommt ein Bus mit abzählbar unendlich vielen Gästen. Wiederum hat der Hoteldirektor eine Lösung parat: Er verlegt den Gast von Zimmer 1 in Zimmer 2, den Gast von Zimmer 2 in

Zimmer 4, ..., den Gast von Zimmer n in Zimmer $2n$. Die frei gewordenen Zimmer mit den ungeraden Zimmernummern können von den neuen Gästen belegt werden.

Hilberts Hotel veranschaulicht wunderbar die Eigenschaft, die unendliche Mengen ausmacht:

Definition 3. Eine Menge ist *unendlich* dann und nur dann, wenn sie dieselbe Mächtigkeit hat wie eine *echte Teilmenge*.

Die rationalen Zahlen Cantor entdeckte eine Methode, die Abzählbarkeit von \mathbb{Q} nachzuweisen. Abbildung 1 zeigt das 1. Cantor'sche Diagonalverfahren. Mit diesem kann man die Menge \mathbb{Q}^+ abzählen. Wenn man die 0 hinzufügt, die Brüche kürzt, schon vorhandene Zahlen weglässt und die negativen Zahlen hinzunimmt, so kommt man zu folgender Aufzählung von \mathbb{Q} :

$$\mathbb{Q} = \{0; 1, -1; 2; -2; \frac{1}{2}; -\frac{1}{2}; \frac{1}{3}; -\frac{1}{3}; 3; -3; 4; -4; \frac{3}{2} \dots\}$$

Damit ist nachgewiesen, dass \mathbb{Q} die gleiche Mächtigkeit wie \mathbb{N} hat und somit abzählbar unendlich ist.

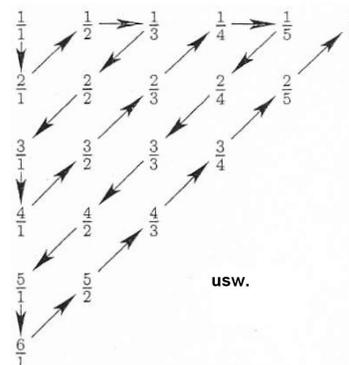


Abb. 1: 1. Cantor'sches Diagonalverfahren

Am nächsten Morgen kommen in Hilberts Hotel sogar abzählbar unendlich viele Busse mit jeweils abzählbar unendlich viele Gästen an. Auch hier hat der Hoteldirektor wieder eine Idee: Die Busse/Gäste sollen sich in einem *unendlichen Rechteck* aufstellen. Der Hoteldirektor zählt die Gäste dann nach dem 1. Cantor'schen Diagonalverfahren ab und lässt sie in der so gewonnen Reihenfolge die Zimmer beziehen.

Die reellen Zahlen Cantor wies mit einem sehr eleganten Beweis (2. Cantor'sches Diagonalverfahren) nach, dass die Menge \mathbb{R} *nicht abzählbar unendlich* bzw. *überabzählbar unendlich* ist.

Definition 4. Die reellen Zahlen sind *nicht abzählbar unendlich*. Die Mächtigkeit der reellen Zahlen wird mit c (*continuum*) bezeichnet.

Außerdem ist beweisbar, dass alle Intervalle einer Länge größer 0 dieselbe Mächtigkeit wie \mathbb{R} haben. Abbildung 2 zeigt die Bijektion eines beliebigen Intervalls auf ein beliebiges Intervall von \mathbb{R} und die Projektion des gebogenen Intervalls $]0, 1[$ auf \mathbb{R} .

Cantor wies auch nach, dass die Menge \mathbb{R} dieselbe Mächtigkeit hat wie \mathbb{R}^2 . Die Dimension hat keinen Einfluss auf die Anzahl der Punkte im Raum. Analog zu \mathbb{R}^2 haben die komplexen Zahlen (\mathbb{C}) die gleiche Mächtigkeit wie \mathbb{R} .

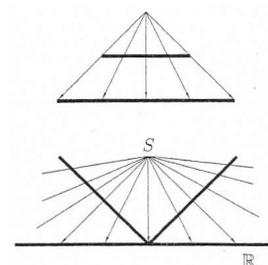


Abb. 2: Zentralprojektion, Projektion $]0, 1[$ auf \mathbb{R}

Satz von Schröder-Bernstein Wenn jede von zwei Mengen M und N *injektiv* in die jeweils andere abgebildet werden kann, dann existiert eine Bijektion von M auf N , d.h. M und N sind gleichmächtig. Aus diesem Satz folgt für Kardinalzahlen, dass von je zweien die eine größer und die andere kleiner ist oder dass die beiden gleich groß sind. Damit ergibt sich eine lineare Ordnung für Kardinalzahlen, nämlich $0, 1, 2, \dots, n$ für die endlichen Kardinalzahlen. \aleph_0 ist die kleinste unendliche Kardinalzahl und $|\mathbb{R}| = c$ ist in jedem Fall größer als \aleph_0 . Cantor beschäftigte die Frage, ob es ein Aleph zwischen \aleph_0 und c gibt. Die Aussage $\aleph_1 = c$ ist als Kontinuumshypothese bekannt geworden. Cantor konnte sie weder beweisen noch widerlegen. Erst viel später wurde gezeigt, dass die Antwort auf diese Frage

innerhalb unseres mathematischen Systems nicht entschieden werden kann (die Lösung hängt vom verwendeten Axiomensystem ab!).

Ordnung, Wohlordnung, Ähnlichkeit Eine Menge heißt *geordnet*, wenn für je zwei ihrer Elemente eine Relation $a < b$ definiert ist derart, dass feststeht ob $a < b$ oder nicht, und diese Relation *transitiv* ist. Dabei muss „ $<$ “ nicht die gewöhnliche Bedeutung haben, sondern kann schlicht heißen, dass a b vorangeht. Eine solche Ordnung heißt *Wohlordnung*, wenn jede nicht-leere Teilmenge ein erstes Element besitzt. Nehmen wir als Beispiele \mathbb{N} und \mathbb{Z} in ihrer natürlichen Ordnung: \mathbb{N} ist wohlgeordnet, \mathbb{Z} dagegen nicht, denn \mathbb{Z} selbst hat kein erstes Element.

Zwei wohlgeordnete Mengen M und N heißen *ähnlich*, falls eine Bijektion φ von M auf N existiert, die die Ordnung respektiert: $m <_M n$ impliziert $\varphi(m) <_N \varphi(n)$. Die Ähnlichkeit ist wie die Mächtigkeit eine Äquivalenzrelation. Deshalb kann man von einer *Ordinalzahl* α sprechen, die einer Klasse von ähnlichen Mengen zugeordnet wird.

Transfinite Induktion Die transfinite Induktion ist eine Beweismethode, mit der man die Gültigkeit einer Eigenschaft E für alle Elemente einer wohlgeordneten Menge beweist. Dabei weißt man nach, dass die Eigenschaft E einem Element zukommt, sobald sie allen vorangehenden Elementen zukommt (insbesondere dem ersten Element). Wenn dies bewiesen ist muss sie allen Elementen der Menge zukommen. Denn angenommen es gäbe Elemente, die die Eigenschaft nicht hätten, dann gäbe es auch ein erstes Element e , das die Eigenschaft E nicht hätte. Allen vorangehenden Elementen würde sie aber zukommen, also auch e . Dies ergibt einen Widerspruch.

Quellen

- Stefan Thoß: *Ist unendlich gleich unendlich?*, Dokumentation HSAKA 2007
- Martin Aigner, Günter M. Ziegler: *Buch der Beweise*, Springer Verlag, 2002
- Bartel L. van der Waerden: *Algebra I*, Springer Verlag

3.9 Rasieren für Fortgeschrittene - Mengenlehre um 1900

Madita Schrödter
Betreuerin: Birthe Anne Wiegand

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts führten verschiedene Paradoxa, die beim Ausbau der Mengenlehre auftraten, zu einer Grundlagenkrise in der Mathematik. Eines davon war das *Russellsche Paradoxon*. Es tritt auf, wenn man die Menge aller Mengen betrachtet, die sich nicht selbst als Element enthalten. Die bekannteste Veranschaulichung ist das Paradoxon des „Barbier von Sevilla“. Dieser Barbier wirbt damit, dass er all diejenigen rasiert, die sich nicht selbst rasieren. Rasiert er sich dann selbst? Eine Vorform dieses Paradoxons ist die Antinomie vom Lügner aus dem 5. Jhdt. v. Chr.: Parmenides aus Kreta sagt: „Alle Kreter sind Lügner.“ Die Reaktionen auf die Paradoxa waren sehr unterschiedlich. Neben jenen, die diese zu umgehen suchten, gab es auch Mathematiker, die sie überwinden wollten. Hier sei David Hilbert als angesehenster Mathematiker seiner Zeit genannt, der ab 1904 seine Methode verstärkt publizierte. Er versuchte zu zeigen, dass die Verwendung von Axiomen (Annahmen, die nicht bewiesen, sondern vorausgesetzt werden) keinen Widerspruch hervorruft und legte mit der Verwendung der formalen Sprachen einen wertvollen Grundbaustein. Hilbert setzte sich drei Ziele, die eine solche Sprache erreichen sollte:

Die drei Desiderata von Hilbert

Konsistenz: Eine Formel lässt sich nicht zusammen mit ihrer Negation beweisen.

Vollständigkeit: Für jede Formel A gilt entweder A oder $\neg A$ (sprich: nicht A).

Entscheidbarkeit: Es muss ein Verfahren geben, welches entscheidet, ob A oder $\neg A$ beweisbar ist.

1931 fand allerdings Kurt Gödel heraus, dass Konsistenz und Vollständigkeit in einer formalen Sprache \mathcal{S} unvereinbar sind, wenn diese die (formalisierte) Zahlentheorie umfasst. Dies ist der *Unvollständigkeitssatz von Gödel*. Er besagt also, dass es in einer konsistenten Sprache \mathcal{S} eine Formel G gibt, so dass weder G noch $\neg G$ in \mathcal{S} beweisbar ist (der Beweis hierfür liegt im Rahmen der formalen Sprachen, vgl. hierzu das Referat „Formale Sprachen und formalisierte Beweise“ von Bernd Fernengel, 3.10).

Um eine vernünftige Grundlage für die Wissenschaft der Mathematik und insbesondere der Logik festzulegen, publizierten Ernst Zermelo und Abraham Adolf Fraenkel um 1908 ein Axiomensystem. Der wohl bekannteste von ihnen ist das Auswahlaxiom (axiom of choice). Es war der Start für axiomatische Untersuchungen in der Mengenlehre.

Die folgenden Axiome (hier lediglich umgangssprachlich formuliert) haben wir im Kurs ausführlich diskutiert und sind dabei insbesondere auf ihre „Übersetzung“ in eine formale Sprache eingegangen.

Nullmengenaxiom Es gibt genau eine Menge, die keine Elemente enthält und zwar $x = \emptyset$.

Axiom der Bestimmtheit Wenn zwei Mengen dieselben Elemente enthalten, so sind sie gleich.

Paarungsaxiom Aus zwei Dingen x, y kann man die zweielementige Menge $\{x, y\}$ bilden; wenn $x = y$, so ist diese Menge mit $\{x\}$ identisch.

Vereinigungsaxiom Man kann aus einer Menge von Mengen die Vereinigungsmenge bilden.

Unendlichkeitsaxiom Es existiert mindestens eine unendliche Menge x , welche die leere Menge enthält und bei der zu jeder Menge y in x eine von y verschiedene Obermenge u in x existiert.

Potenzmengenaxiom Es existiert eine aus den sämtlichen Teilmengen einer Menge x bestehende Menge. Sie wird Potenzmenge genannt.

Ersetzungsaxiom Eine Abbildung führt Mengen in Mengen über.

Aussonderungsaxiom Man kann aus einer beliebigen Menge x die Teilmenge aller Elemente z aussondern, die eine gegebene Eigenschaft haben.

Fundierungsaxiom Wenn x eine nichtleere Menge ist, so gibt es in x ein Element, welches als Menge keine Elemente mit x gemein hat.

Auswahlaxiom (AC) Zu einer Menge von paarweise disjunkten nichtleeren Mengen gibt es eine Menge, die aus jeder ihrer Mitgliedsmengen genau ein Element enthält.

Das Axiomensystem bis zum Fundierungsaxiom wird „ZF“ genannt. Durch Hinzunahme des Fundierungsaxioms entsteht „ZFF“. Die sogenannte *Kontinuumshypothese* (CH) besagt, dass es keine Menge gibt, deren Mächtigkeit größer als die der natürlichen Zahlen, aber kleiner als die der reellen Zahlen ist.

- Gödel bewies 1938: Ist ZF widerspruchsfrei, so sind es auch ZFF + AC + CH.
- Cohen bewies 1963: Ist ZF widerspruchsfrei, so sind es auch ZFF + non-AC + non-CH.

Demnach ist die Kontinuumshypothese mit ZF als Grundlage weder beweisbar noch widerlegbar.

Russell selbst löste sein Paradoxon in Zusammenarbeit mit Whitehead mit der sogenannten „Typentheorie“, die er 1910 veröffentlichte. Er teilte Mengen in verschiedene „Typen“ ein. Demnach ist eine Menge immer eines höheren Typus als jedes ihrer Elemente. Damit verhindert er, dass eine Menge als ihr eigenes Element auftritt. Der Barbier ist somit von der Menge Menschen, die er rasieren kann, ausgenommen.

Quellen

- Konrad Jacobs: *Resultate Band 2: Der Aufbau der Mathematik*, Vieweg-Verlag, 1990
- Wolfgang Franz: *Über mathematische Aussagen, die samt ihrer Negation nachweislich unbeweisbar sind: Der Unvollständigkeitssatz von Gödel*, Steiner Verlag, 1977

3.10 Formale Sprachen und formalisierte Beweise

Bernd Fernengel
Betreuer: Christoph Cuno

Formale Sprachen

Um Beweise hieb- und stichfest zu machen, führt man eine so genannte formale Sprache \mathfrak{S} ein. Diese beinhaltet verschiedene Symbole: Variablen x, y, z, \dots Konstanten a, b, c, \dots Aussagen A, B, C, \dots Prädikate $A^{(1)}(x), B^{(1)}(x), A^{(2)}(x, y), \dots$ und Funktionen $f^{(1)}(x), g^{(1)}(x), f^{(2)}(x, y), \dots$. Die oberen Indizes bei Funktionen und Prädikaten kennzeichnen die Anzahl der Variablen. Des Weiteren werden die logische Symbole $\vee, \wedge, \rightarrow, \neg, \exists, \forall, (), ;$ eingeführt, die für „oder“, „und“, „folgt“, „nicht“, „es existiert ein...“, „für alle...“ stehen, dazu kommen noch die klassischen Klammern und das Semikolon. \exists und \forall dürfen nur mit Variablen und nicht mit Prädikaten oder Funktionen zusammengesetzt werden. Formeln setzen sich aus Kombinationen solcher Symbole zusammen. Spezielle Formeln sind als Axiome ausgezeichnet, die sich noch einmal in logische Axiome und mathematische Axiome unterscheiden:

Logische Axiome:

$$\vdash L1: A \vee A \rightarrow A$$

$$\vdash L2: A \rightarrow A \vee B$$

$$\vdash L3: A \vee B \rightarrow B \vee A$$

$$\vdash L4: (B \rightarrow C) \rightarrow (A \vee B \rightarrow A \vee C)$$

$$\vdash L5: A \rightarrow (\forall x)A$$

$$\vdash L6: A(x) \rightarrow \exists(y)A(y)$$

$$\vdash L7: (\exists x)A(x) \rightarrow (\neg x)(\neg A(x))$$

Des Weiteren kann man folgende Abkürzungen (Abk) einführen: $A \wedge B$ ist äquivalent zu $\neg(\neg A \vee \neg B)$, $A \vee B$ ist äquivalent zu $\neg(\neg A \wedge \neg B)$ und $A \rightarrow B$ ist äquivalent zu $\neg A \vee B$.

Um zu kennzeichnen, dass etwas beweisbar ist, schreibt man davor \vdash . Bei der Frage nach Beweisbarkeit definiert man:

1. Wenn $\vdash A$ und $\vdash A \rightarrow B$ gilt, so heißt B beweisbar, also $\vdash B$ (modus ponens). Ein Beweis ist eine Folge von Zeilen, wobei jede Zeile entweder ein Axiom oder etwas aus zwei vorherigen Zeilen nach dem modus ponens gefolgerte
2. Eine Formel heißt beweisbar, wenn ein formaler Beweis existiert, bei dem die Formel in der letzten Zeile steht.

Analogie: Schachspiel: Dabei entsprechen die Symbole den Schachfiguren, die Zugregeln den Regeln der Beweisführung und das Gewinnen dem Beweisen einer Aussage. Wenn man nun beim Schachspiel das „Bewegen von Figuren“ als Regeln anwenden auf die Figuren ansieht, kann man sagen: „Regeln anwenden auf die Figuren um zu gewinnen“ entspricht „Regeln anwenden auf Symbole um die Aussage zu zeigen“.

Die Sprache \mathfrak{S} ist ein Abbild der naiven Logik, bei der man alle Sätze durch Anwenden von Axiomen, anderen Sätzen oder dem modus ponens jeder Zeit herleiten kann. Die Sprache \mathfrak{S} bildet dann zusammen mit den mathematischen Axiomen ein Abbild der mathematischen Disziplin, wie zum Beispiel

der naiven Zahlentheorie oder der naiven Mengenlehre. Eine Paradoxie müsste sich in einem formalen Widerspruch in \mathfrak{S} spiegeln, \mathfrak{S} wäre nicht konsistent. Die Frage nach der Konsistenz einer Sprache ist also von fundamentaler Wichtigkeit.

Dies kann in \mathfrak{S} selbst nicht gezeigt werden, vielmehr ist eine übergeordnete Sprache, eine „Metasprache“, oder „Metamathematik“ von Nöten. Dies kann man sich am Beispiel des Erlernens einer Fremdsprache veranschaulichen: Lernt ein Schüler eine neue Sprache N , so genügt es nicht, wenn der Lehrer nur die Sprache N spricht, er muss auch eine dem Schüler bekannte Sprache S kennen; S ist hier die Metasprache zu N .

Hilbert hat nach einer absolut „sicheren“ Metasprache gesucht, in der zum einen nur unbedenkliche Schlüsse verwendet werden und mit der man zum anderen die Koexistenz einer formalen Sprache zeigen kann. Man kann diese Metasprache dann zwar nicht mathematisch beweisen, man darf sie aber unbedenklich verwenden, da sie nicht zu Widersprüchen führen kann.

Die Naive Zahlentheorie

Die Naive Zahlentheorie beschäftigt sich mit der Menge der natürlichen Zahlen \mathbb{N} . In \mathbb{N} gibt es die Operation „Nachfolger“, die jedem Element x aus \mathbb{N} ein Element $y = x' = x + 1$ zuordnet und zwar derart, dass die folgenden *Peano-Axiome* gelten.

1. Es gibt ein ausgezeichnetes Element 0 in \mathbb{N} , das nicht Nachfolger eines Elementes von \mathbb{N} ist.
2. Wenn $x' = y'$ ist, so ist $x = y$, d.h. jedes Element hat höchstens einen Vorgänger.
3. Wenn $x' = y$ und $x' = z$ gilt, so ist $y = z$, d.h. jedes Element hat höchstens einen Nachfolger.
4. Wenn M eine Teilmenge von \mathbb{N} ist, die 0 und mit jedem Element auch seinen Nachfolger enthält, so ist $M = \mathbb{N}$.

Eine weitere Rolle spielen die *rekursiven Funktionen* und *rekursiven Relationen*. Eine Funktion $\varphi(x)$ heißt rekursiv, wenn sie durch endliche Anwendung der unteren 3 Regeln erhalten werden kann:

1. Die Funktionen $N(\xi) = 0$ (Nullfunktion), $F(\xi) = \xi + 1$ (Nachfolgerfunktion) und $P(\xi, \eta) = \xi$, bzw. $P(\xi, \eta) = \eta$ (Projektionsfunktion) heißen rekursiv.
2. Wenn $\chi(\xi)$ und $\psi(\xi)$ rekursiv sind, so heißt auch $\varphi(\xi) = \chi(\psi(\xi))$ rekursiv.
3. Die Funktion $\varphi(\xi)$ heißt rekursiv, wenn $\varphi(0) = \lambda$ und $\varphi(\xi + 1) = \mu(\xi, \varphi(\xi))$ gilt mit einer festen natürlichen Zahl λ und einer schon als rekursiv erkannten Funktion μ .

Beispiele für solche rekursiven Funktionen sind die Additionsfunktion $\sigma(\xi, \eta) = \xi + \eta$, die Multiplikationsfunktion $\pi(\xi, \eta) = \xi \cdot \eta$, die Vorgängerfunktion $\delta(\xi)$ (für die gilt $\delta(\xi) = 0$, wenn $\xi = 0$ und $\delta(\xi) = \xi - 1$ wenn $\xi \geq 1$), die Überschussfunktion $\xi \ominus \eta$ (für die gilt $\xi \ominus \eta = \xi - \eta$, wenn $\eta \leq \xi$ und $\xi \ominus \eta = 0$, wenn $\eta > \xi$) und die Abstandsfunktion $|\xi - \eta| = (\xi \ominus \eta) + (\eta \ominus \xi)$. Des Weiteren gibt es noch die Funktion $\tau(\xi)$, für die gilt $\tau(\xi) = 0$ wenn $\xi = 0$ und $\tau(\xi) = 1$ für $\xi \geq 1$.

Eine Relation $P(\xi, \eta)$ zwischen natürlichen Zahlen heißt rekursiv, wenn es eine rekursive Funktion $p(\xi, \eta)$ gibt mit der Eigenschaft $p(\xi, \eta) = 0$, wenn die Relation $P(\xi, \eta)$ gültig ist, und $p(\xi, \eta) = 1$, wenn $P(\xi, \eta)$ nicht gültig ist. Ein Beispiel ist die Relation $P(\xi, \eta)$, die durch $\xi = \eta$ gegeben wird. Eine dazugehörige Funktion wäre $\tau(|\xi \ominus \eta|)$.

Die Formale Zahlentheorie

Man führt nun die formale Sprache \mathfrak{Z} ein, um die Naive Zahlentheorie zu formalisieren. Die Symbole und logischen Axiome sind die gleichen wie für alle formalen Sprachen. Die Schlussregeln sind folgende:

1. Der modus ponens gilt weiterhin.
2. In einer Formel $A(x)$ darf man für x jeden Term ersetzen, der x nicht enthält.
3. $(\exists x)A(x)$ darf durch $(\exists y)A(y)$ ersetzt werden, entsprechend gilt das auch für $(\forall x)A(x)$.

Es werden folgende mathematischen Axiome hinzugenommen:

(a) Gleichheitsaxiome

G 1: $x = x$

G 2: $x = y \rightarrow y = x$

G 3: $x = y \rightarrow (x = z \rightarrow y = z)$

(b) Peano Axiome:

P 1: $\neg(x' = 0)$

P 2: $x' = y' \rightarrow x = y$

P 3: $x' = y \rightarrow (x' = z \rightarrow y = z)$

P 4: $A(0) \rightarrow [(\forall x)(A(x) \rightarrow A(x')) \rightarrow A(x)]$

(c) Additions- und Multiplikationsaxiome:

A 1: $x + 0 = x$

A 2: $x + y' = (x + y)'$

M 1: $x \cdot 0 = 0$

M 2: $x \cdot y' = x \cdot y + x$

Auch diese Axiome entsprechen den oben erwähnten rekursiven Additions- und Multiplikationsvorschriften.

Bei P 4 erkennt man im Unterschied zu dem in der Naiven Zahlentheorie genannten Peano Axiom (4), dass sich P 4 nur auf abzählbar viele Formeln $A(x)$ bezieht, während in (4) sämtliche überabzählbar viele Teilmengen von \mathbb{N} vorkommen. Dies ist eine für die Grundlagen der Mathematik besonders wichtige Tatsache.

Quellen

- Wolfgang Franz: *Über mathematische Aussagen, die samt ihrer Negation nachweislich unbeweisbar sind: Der Unvollständigkeitssatz von Gödel*, Steiner Verlag, 1977

4 Physikkurs

Physik der Atmosphäre

Die Atmosphäre zeigt viele interessante Erscheinungen:

- Abendrot, blauer Himmel, Nebensonnen, Regenbogen, Brockengespenst - atmosphärische Lichterscheinungen und Lichtstreuung
- Warum die Luft um ein Tiefdruckgebiet kreist herum statt einfach hineinzufließen - die seltsamen Effekte der Corioliskraft
- Hagel, Regen, Tau, Nebel - wie Wasser kondensiert
- Warum das Wetter so schlecht vorherzusagen ist - Chaos und nichtlineare Dynamik
- Warum Ballons und Flugzeuge fliegen und Wolken nicht herunterfallen - Gasgesetze, Reibung, Aerodynamik
- Musik, Sprache, Geräusche - ohne Luft kein Schall
- Elektrische Erscheinungen in der Atmosphäre - Gewitter und Blitze

Wir wollen diese und weitere Phänomene untersuchen und haben zur Unterstützung einen Lastwagen voller Experimente dabei.

Kursleitung

Dr. Wolf Aßmus, Professor für Physik an der Johann Wolfgang Goethe-Universität/Frankfurt, Gerald Kucera-Professur für Materialforschung, Tätigkeit in der Lehrerausbildung

Dr. Helmar Becker, Diplomphysiker und Lehrer.

4.1 Impuls- und Energieerhaltung

Nora Schotten
Betreuer: Benedikt Weygandt

Energie und Energieerhaltung

In der Physik versteht man unter Energie die Fähigkeit des Systems, Arbeit zu verrichten oder zu speichern. Wirkt auf einen Körper eine Kraft F längs eines Weges s , so kann dieser beschleunigt oder beispielsweise angehoben werden. Dabei wird mechanische Energie E übertragen und es gilt:

$$E = F_s \cdot s = F \cdot s \cdot \cos \alpha \quad (\alpha \text{ ist der Weg zwischen Kraft } F \text{ und Strecke } s)$$

Mechanische Energie kann in mehreren Formen vorliegen, beispielsweise als kinetische Energie (Bewegungsenergie) $E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$, die ein Körper der Masse m nur aufgrund seiner Bewegung mit der Geschwindigkeit v besitzt, oder als potenzielle Energie oder Lageenergie $E_{pot} = F_G \cdot h = m \cdot g \cdot h$, die ein Körper aufgrund seiner erhöhten Lage (in der Höhe h) besitzt ($F_G = m \cdot g$: Schwerkraft).

Der Energieerhaltungssatz lautet dann

$$\frac{d}{dt}(E_{kin} + E_{pot}) = 0$$

d.h. die Summe aus kinetischer und potentieller Energie ist in einem konservativen Kraftfeld konstant (sofern keine anderen Energieformen beteiligt sind), und die Gesamtenergie bleibt in einem geschlossenen System erhalten.

Impuls und Impulserhaltung

Das Produkt der Masse m und der Geschwindigkeit v eines Körpers heißt Impuls p . Es gilt:

$$p = m \cdot v$$

Wir betrachten zu nächst zwei Massepunkte A und B . Dabei übt B eine Kraft F auf A aus, die A mit $\ddot{r}_A = F/m_A$ beschleunigt (\ddot{r} : Beschleunigung). Nach dem Reaktionsprinzip (3. Newtonsches Axiom, „actio = reactio“) erfährt B dann gleichzeitig die Kraft $-F$, die B mit $\ddot{r}_B = -F/m_B$ beschleunigt. Es gilt also:

$$m_A \ddot{r}_A + m_B \ddot{r}_B = F - F = 0$$

$m_A \dot{r}_A + m_B \dot{r}_B$ ist die zeitliche Ableitung der Größe $p = m_A \dot{r}_A + m_B \dot{r}_B = p_A + p_B$, die bei jeder Wechselwirkung zwischen A und B erhalten bleibt, wenn es sich um ein abgeschlossenes System handelt. Dieses Prinzip lässt sich auf Wechselwirkungen zwischen beliebig vielen Massepunkten erweitern.

Auch eine Rakete bewegt sich aufgrund der Impulserhaltung nach dem Rückstoßprinzip. Der Impuls des Gases ist entgegen der Richtung des Impulses der Rakete gerichtet. Hierfür setzten wir uns auf einen eigens zu Demonstrationszwecken konstruierten Raketenwagen, der mit einer Stickstoffflasche angetrieben wurde. Der ausströmende Stickstoff beschleunigte den Raketenwagen in die Gegenrichtung. Bei verschieden schwer beladenen Rollbrettern, die sich voneinander abstoßen, hat das Rollbrett mit der geringeren Masse nach dem Abstoßen eine höhere Geschwindigkeit, da beide den gleichen Impuls $p = m \cdot v$ haben und die Geschwindigkeit antiproportional zur Masse ist.

Elastische Stöße

Wenn bei einem Stoßprozess die kinetische Energie den Stoßkörpern erhalten bleibt, so bezeichnet man ihn als elastischen Stoß. Hierbei dürfen die Stoßkörper keinen Energieverlust in Form von Reibung (Wärme) und Umwandlung von kinetischer Energie in andere Energieformen (z.B. Potenzielle Energie) verspüren. Es gilt Impulserhaltung und Energieerhaltung:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = p'_1 + p'_2 \quad \text{und} \quad \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 (v'_1)^2 + \frac{1}{2} m_2 (v'_2)^2$$

Diese Bedingung ist beispielsweise beim Billardspiel näherungsweise erfüllt. Auch beim bekannten Kugelspiel (fünf Stahlkugeln hintereinander an Fäden aufgehängt) lassen sich Impuls- und Energieerhaltung gut beobachten.

Unelastische Stöße

Bei einem unelastischen Stoß wird Bewegungsenergie zum Teil in Verformungsenergie umgewandelt; die kinetische Energie bleibt also nicht erhalten, so dass nur mit der Impulserhaltung gerechnet werden kann (s.o.). Im Experiment konnten wir dies zum Beispiel anhand von Knetkugeln oder auch mittels kleiner Knetklümpchen zwischen den Kugeln des Kugelspiels beobachten.

Quellen

- Vorlesung WS 2007/2008 von Prof. M.A. Schneider, Institut für Festkörperphysik, Uni Erlangen
- H. Vogel: *Gerthsen Physik*, Springer Verlag

4.2 Temperatur als mittlere kinetische Energie

Thomas Maetz
Betreuer: Alexander Dick

Brownsche Molekularbewegung und Maxwell-Boltzmann-Verteilung

Die Temperatur eines Körpers beruht auf den ungeordneten kleinen Bewegungen der Teilchen (Atome/Moleküle), aus denen er zusammengesetzt ist. Man nimmt als Modell an, dass die Temperatur ein Maß der Bewegung der Materieteilchen ist und dass bei einer Temperaturerhöhung mehr Energie in der Materie vorliegt, die zu einer stärkeren Bewegung führt. Die quadratisch gemittelte Geschwindigkeit der Teilchen in Abhängigkeit von der Temperatur lässt sich als $\frac{1}{2}m\overline{v^2} = \frac{3}{2}kT$ beschreiben. Für $T \rightarrow 0$ verschwindet die kinetische Energie theoretisch, was bedeuten würde, dass die Teilchen zur Ruhe kommen. Praktisch passiert dies allerdings auf Grund der quantenmechanisch bedingten Nullpunktenergie nicht.

Der sogenannte „Nullte Hauptsatz der Thermodynamik“ besagt: „Wenn ein System A sich mit einem System B sowie B sich mit einem System C im thermischen Gleichgewicht befindet, so befindet sich auch A mit C im thermischen Gleichgewicht.“ Dieses Gesetz wurde nach den anderen drei Hauptsätzen formuliert, bildet aber eine wichtige Basis und wurde deswegen als „nullter“ Hauptsatz bezeichnet. Es erklärt, warum ein Thermometer, das in Kontakt mit dem zu messenden Objekt steht, dessen Temperatur messen kann.

Um ein Thermometer zu bauen, kann man beispielsweise die Ausdehnung einer Substanz bei verschiedenen gut definierten Temperaturen (z.B. Schmelz- und Siedepunkt von Wasser) bestimmen und dieses Thermometer eichen, das üblicherweise aus einer Glaskapillare und einem Vorratsgefäß besteht, das mit Quecksilber oder Alkohol gefüllt ist. Bei höheren Temperaturen und größeren Temperaturbereichen verwendet man Bimetalle mit Zeiger und für genauere Messungen etwa Widerstandsthermometer, Thermoelemente (Bauteil aus drei verbundenen Metallen, davon zwei unterschiedliche) oder Thermistoren (variabler elektrischer Widerstand, dessen Wert durch Temperaturänderung reproduzierbar variiert).

Die Brownsche Molekularbewegung wurde vom Biologen Robert Brown im Jahr 1827 beschrieben und besagt, dass Atome (Atomdurchmesser $\approx 10^{-10}m$) bzw. Moleküle jeglicher Substanz ständig in Bewegung sind. Brown hat die Molekularbewegung an Flüssigkeiten erforscht und das Modell später auf die anderen Phasen übertragen (fest, gasförmig). Die Gasmoleküle sind in zufälliger Bewegung, bewegen sich jedoch nicht alle mit der gleichen Geschwindigkeit, sondern statistisch verteilt mit verschiedenen Geschwindigkeiten. Es wird hierbei keine Raumrichtung bevorzugt, die Bewegungsrichtung ist also rein zufällig. Bei höherer Temperatur haben die Teilchen eine höhere mittlere kinetische Energie.

Um den Zusammenhang zwischen Teilchenmasse und Geschwindigkeit zu zeigen, haben wir in einem Experiment ein Becherglas über einen Tonzylinder gestülpt und Wasserstoff in das Becherglas einströmen lassen. Man beobachtet dabei zunächst, dass sich der Druck innerhalb des Tonzylinders erhöht. Anschließend hebt man das Becherglas ab und es entsteht ein Unterdruck. Der Wasserstoff diffundiert auf Grund der höheren Geschwindigkeit der Wasserstoffmoleküle schneller in den Tonzylinder, als die verschiedenen Luftmoleküle heraus diffundieren können, sodass zunächst der Druck ansteigt. Beim Abheben des Becherglases diffundiert der Wasserstoff wieder aus dem Tonzylinder heraus und es entsteht ein Unterdruck, bis die Luft wieder hinein diffundiert ist. Man sieht daran, dass der leichte Wasserstoff eine höhere Geschwindigkeit hat. Zudem lässt sich dies an der Formel $\frac{1}{2}m\overline{v^2} = \frac{3}{2}kT$ festmachen, da das Produkt (Temperatur) aus quadratisch gemittelter Geschwindigkeit und Masse der Teilchen das gleiche sein muss und die Geschwindigkeit hierfür, bei niedrigerer Masse, höher sein muss.

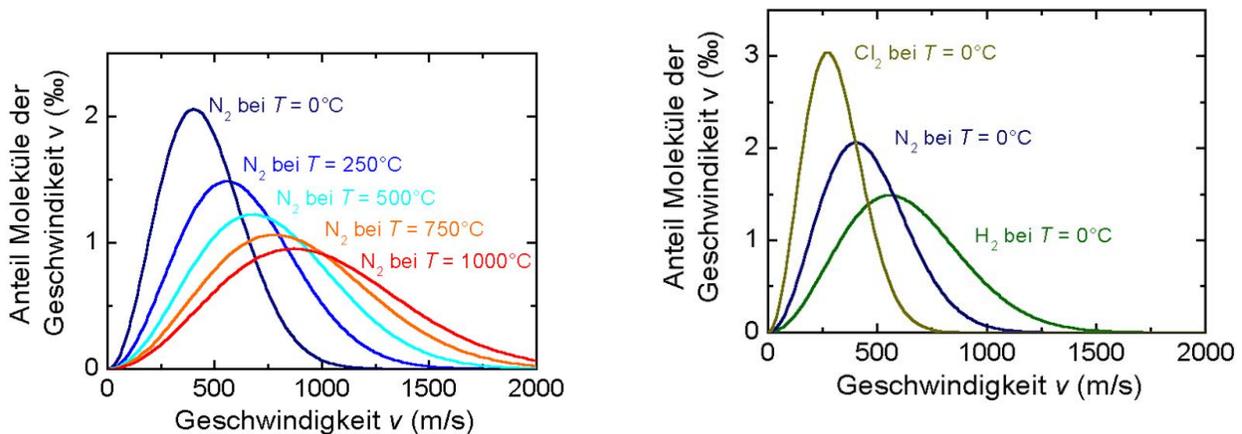
Bei einem Gemisch von Gasen werden die Anteile der einzelnen Gase durch ihre Partialdrücke wirksam, die dem Druck entsprechen, den das Gas ausüben würde, wenn es alleine vorhanden wäre. Der Wasserstoff diffundiert daher auch in den Tonzylinder, obwohl schon Luft drin ist, da in diesem Fall der Partialdruck des Wasserstoffs im Tonzylinder geringer ist als außen.

Die Maxwell-Boltzmann-Verteilung wurde 1860 von James Clerk Maxwell und Ludwig Boltzmann abgeleitet und beschreibt die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Geschwindigkeit der Moleküle in einem Gas.

Die Geschwindigkeitsverteilung wird beschrieben durch folgende Gleichung:

$$f(v) = 4\pi N \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} v^2 e^{-(mv^2)/(2kT)}$$

Hierbei ist N die Gesamtanzahl der Gasmoleküle, m die Masse eines einzelnen Moleküls, k die Boltzmann-Konstante und T die absolute Temperatur.



Zu sehen ist, dass viele Moleküle eine Geschwindigkeit über oder unter dem Durchschnitt haben. Die Kurve ist außerdem nicht symmetrisch, sondern erstreckt sich weiter nach rechts, da Teilchen keine negative Geschwindigkeit haben können, es aber auch immer sehr schnelle gibt. Die Durchschnittsgeschwindigkeit liegt also höher als die Geschwindigkeit mit der größten Häufigkeit (wahrscheinlichste Geschwindigkeit).

Quellen

- Die Bilddateien sind unter der Creative Commons-Lizenz Namensnennung-Weitergabe unter gleichen Bedingungen 3.0 Unported lizenziert. Namensnennung: Kai11

4.3 Wärmekapazität und thermodynamische Freiheitsgrade

Christoph Bläser
Betreuer: Benedikt Weygandt

Wärmekapazität

Die Wärmekapazität C ist die Proportionalitätskonstante zwischen der aufgenommenen oder abgegebenen Wärme ΔQ eines Gegenstandes und seiner Temperaturänderung ΔT):

$$(1) Q = C \cdot \Delta T \quad [C] = 1\text{J/K oder } 1\text{ cal/K}$$

Spezifische Wärmekapazität

Da die Wärmekapazitäten von Gegenständen desselben Materials proportional zu ihren Massen sind, kann man eine „Wärmekapazität pro Masse“ definieren. Diese spezifische Wärmekapazität bzw. spezifische Wärme c bezieht also nicht auf einen speziellen Gegenstand, sondern auf ein bestimmtes Material. Somit wird aus Gleichung (1):

$$(2) Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Die Werte von c hängen in geringem Maße noch von Temperatur und Druck ab, dies kann jedoch für nicht zu große Temperaturunterschiede ignoriert werden.

Wärmekapazität bei Gasen

Bei Gasen sind die Werte der spezifischen Wärmekapazität von der konkreten Zustandsänderung abhängig, d.h. davon, ob die Temperaturänderung bei festem Volumen oder bei konstantem Druck stattfindet. Wir unterscheiden also bei Gasen zwischen den spezifischen Wärmekapazitäten c_V bei konstantem Volumen und c_p bei konstantem Druck. Damit wird aus (2):

$$(3) \text{ a) } Q_V = m \cdot c_V \cdot \Delta T$$

$$\text{ b) } Q_p = m \dot{c}_p \cdot \Delta T$$

Nun schreiben wir zur Vereinfachung die Masse m als das Produkt $n \cdot m_{mol}$ aus der Anzahl n der Mole und der Molmasse m_{mol} des Gases. Wir fassen dann $m_{mol} \cdot c_V$ und $m_{mol} \dot{c}_p$ als die molaren Wärmekapazitäten C_V und C_p zusammen. Somit folgt:

$$(4) \text{ a) } Q_V = n \cdot C_V \cdot \Delta T$$

$$\text{ b) } Q_p = n \dot{C}_p \cdot \Delta T$$

Die Werte der molaren Wärmekapazitäten sind für Gase mit gleicher Atomzahl von der Gestalt des Moleküls abhängig. Außerdem sind die Wärmekapazitäten für Zustandsänderungen bei konstantem Druck höher als bei konstantem Volumen (siehe (8)). Nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik ist die zugeführte Wärme Q gleich der Veränderung der inneren Energie ΔU des Gases addiert mit der vom ihm geleisteten mechanischen Arbeit W . Bei konstant gehaltenen Volumen wird keine Arbeit geleistet, daher gilt:

$$(5a) Q_V = \Delta U$$

Im Fall des konstanten Drucks liegt eine Volumenzunahme vor und das Gas verrichtet somit die Arbeit $W = p\Delta V$. Mit dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik heißt das:

$$(5b) Q_p = \Delta U + p\Delta V$$

Da ΔT und dadurch auch ΔU in beiden Fällen gleich ist, lassen sich die Gleichungen aus (5) subtrahiert kombinieren zu:

$$(6) Q_p - Q_V = p\Delta V$$

Nach dem idealen Gasgesetz ist bei konstantem Druck $p\Delta V = n \cdot R \cdot \Delta T$. Verwenden wir dies mit den Gleichungen aus (4), erhalten wir für (6):

$$(7) nC_p\Delta T - nC_V\Delta T = p \left(\frac{nR\Delta T}{p} \right)$$

Nun dividiert durch $n\Delta T$:

$$(8) C_p - C_V = R$$

Man stellt fest, dass C_p etwa um den Wert der Gaskonstante $R = 1,99 \text{ cal}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ größer ist als C_V ; eine Tabelle mit berechneten Werten stimmt mit den experimentellen Ergebnissen nahezu überein. Wir wollen nun die molaren Wärmekapazitäten einatomiger Gase mit Hilfe der kinetischen Gastheorie ermitteln. Danach ist die innere Energie eines idealen einatomigen Gases die gesamte kinetische Energie seiner Moleküle:

$$(9) U = N \cdot \frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{3}{2} nRT$$

Das und (4a) in (5a) eingesetzt ergibt:

$$(10) \frac{3}{2}nRT = nC_V\Delta T$$

Und wieder dividiert durch $n\Delta T$:

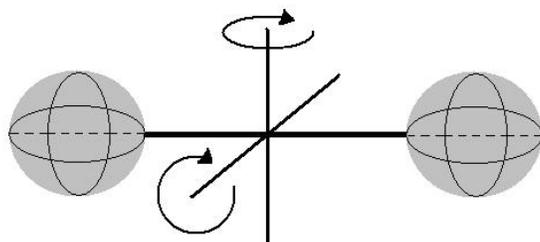
$$(11) C_V = \frac{3}{2}R = 2,98\text{cal}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

Nach (8) folgt daraus:

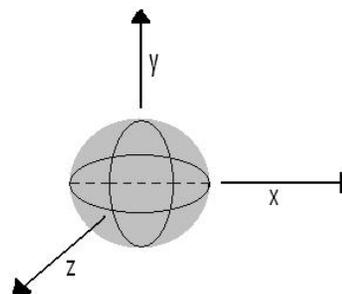
$$(12) C_p = 4,97\text{cal}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

Thermodynamische Freiheitsgrade und Gleichverteilungssatz der Energie

An Hand eines Experiments konnten wir nachvollziehen, dass die molaren Wärmekapazitäten bei Gasen mit steigender Atomzahl pro Molekül wachsen. Das rührt daher, dass die innere Energie nicht nur kinetische Energie (durch Translationsbewegung) der Gasmoleküle beinhaltet, sondern noch andere Energieformen. Zweiatomige Gasmoleküle können z.B. durch die Rotationsbewegung um die in Abb. 1 gezeigten Achsen zusätzlich noch Rotationsenergie haben. (Die mögliche Rotation um die dritte gezeigte Achse würde auf Grund des geringen Trägheitsmoments nur wenig Energie liefern.) Zusammen mit den drei in Abb. 2 beschriebenen unabhängigen Möglichkeiten der Translationsbewegung, die auch die einatomigen Gase besitzen, macht das für zweiatomige Gasmoleküle eine Anzahl von fünf unabhängigen Möglichkeiten der Bewegung, auf die sich die Energie verteilen kann. Diese Möglichkeiten nennt man auch Freiheitsgrade. Da der Quotient der molare Wärmekapazitäten bei konstantem Volumen von zweiatomigen Gasen durch die von einatomigen Gasen in etwa dem Verhältnis ihrer Freiheitsgrade entspricht ($5/3$), kam man auf den Gleichverteilungssatz der Energie, der besagt, dass die innere Energie auf alle aktiven Freiheitsgrade gleichmäßig verteilt ist.



(a) Abb. 1



(b) Abb. 2

Jeder aktive Freiheitsgrad eines Moleküls hat eine durchschnittliche Energie von $\frac{1}{2}kT$. Daraus folgt bei fünf aktiven Freiheitsgraden für ein zweiatomiges Gasmolekül eine durchschnittliche Energie von $\frac{5}{2}kT$ und für die innere Energie des Gases:

$$(13) N \cdot \frac{5}{2}kT = \frac{5}{2}nRT$$

Nun folgt dasselbe Verfahren, das wir auch bei einatomigen Gasen angewandt haben. (13) und (4a) in (5a) eingesetzt:

$$(14) \frac{5}{2}nR\Delta T = nC_V\Delta T \Rightarrow C_V = \frac{5}{2}R = 4,97\text{cal}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

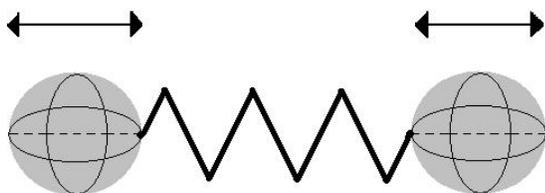
Auch dieses Ergebnis stimmt wieder mit experimentellen Ergebnissen überein.

Gase mit noch komplexeren Molekülen haben steigend mit ihrer Atomzahl pro Molekül mehr Freiheitsgrade und somit auch höhere molare Wärmen. Es zeigt sich jedoch, dass zweiatomige Gase in niedrigen Temperaturbereichen für C_V Werte von $\frac{3}{2}R$ haben und bei hohen Temperaturen von $\frac{7}{2}R$ (statt der beschriebenen $\frac{5}{2}R$). Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Rotationsbewegung eine Mindesttemperatur braucht, um angeregt zu werden. Unterhalb dieser Temperatur werden kaum Rota-

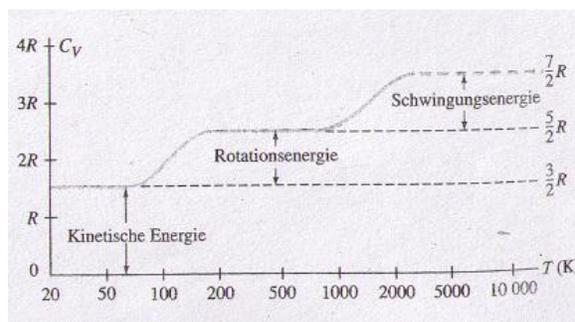
tionsbewegungen angeregt und das Gas hat mit drei aktiven Freiheitsgraden nur kinetische Energie, daher der Wert von $C_V \approx \frac{3}{2}R$.

Es gibt noch eine dritte Bewegung, die weitere Freiheitsgrade mit sich bringen kann. Diese so genannte Oszillationsbewegung kann man sich vorstellen wie in Abb. 3 als die Schwingung zwischen den in einem Molekül wie mit einer Feder verbundenen Atomen. Diese Energieform hat eine noch höhere Mindesttemperatur als die Rotationsenergie und ist nur in hohen Temperaturbereichen aktiv. Bei zweiatomigen Gasen liefert die Oszillationsbewegung zwei weitere Freiheitsgrade, deshalb der Wert von $\frac{7}{2}R$.

In Abb. 4. ist das beschriebene Verhalten für die molare Wärmekapazität C_V von Wasserstoff als Funktion der Temperatur dargestellt.



(c) Abb. 3



(d) Abb. 4

Quellen

- C. Gerthsen, H. Vogel: *Gerthsen Physik*, Springer Verlag

4.4 Reale Gase

Alina Brehm
Betreuerin: Beate Esche

Der Unterschied zwischen idealem und realem Gas

Beim idealen Gas geht man davon aus, dass die Gasteilchen kein Eigenvolumen haben, sondern lediglich Massepunkte sind und eine Wechselwirkung nur durch Stöße entsteht. Die Formel für das ideale Gase ist $pV = nRT$. Für reale Gase stimmt diese Gleichung nur, solange der Druck nicht zu hoch und die Temperatur nicht zu niedrig ist. Das liegt zum Einen daran, dass reale Teilchen ein Eigenvolumen haben. Bei sehr hohem Druck oder niedriger Temperatur führt dies dazu, dass das für die Bewegung der Gasteilchen zur Verfügung stehende Volumen aufgrund ihres Eigenvolumens kleiner ist als das Volumen des Gefäßes. Zum Anderen üben die Moleküle noch Van-der-Waals-Kräfte aufeinander aus, die bei hohem Druck und niedriger Temperatur nicht mehr vernachlässigt werden können. Der Druck, den sie auf die den sie begrenzenden Bereich ausüben, wird durch die Anziehungskräfte der Moleküle untereinander verringert. Bei noch höherem Druck und niedrigerer Temperatur sind die Moleküle dann so nah beieinander, dass die Kräfte zwischen ihnen dazu führen, dass sie sich nicht mehr frei im Raum bewegen können und zu einer Flüssigkeit werden.

Die ideale Gasgleichung muss also korrigiert werden. Das Volumen, das pro Mol durch das Eigenvolumen der Moleküle im Raum nicht mehr zur Verfügung steht, wird als b bezeichnet. Daraus folgt

eine Angleichung des Volumens abhängig von der Teilchenzahl n , d.h. $p(V - nb) = nRT$, dividiert durch n ergibt $p\left(\frac{V}{n} - b\right) = RT$. Der verringerte Druck auf die Gefäßwand ist proportional zum Quadrat der Dichte. Mit einer vom jeweiligen Gas abhängigen Konstanten a gilt dann:

$$\left(p + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

Das bedeutet also, dass bei gegebener Temperatur T und gegebenem Druck p das Volumen und der Druck kleiner sind als beim idealen Gas, wobei a und b sich je nach Gas unterscheiden. Diese Gleichung ist die Van-der-Waals-Gleichung des realen Gases.

Versuch zum Joule Thomson Effekt (Reales Gas)

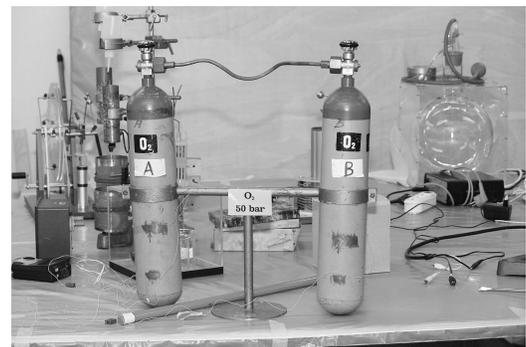
Das Ventil einer Gasflasche, in der sich CO_2 (ein reales Gas) unter einem hohen Druck befindet, wird geöffnet. Das Gas strömt heraus und wird entspannt. Im Bild sieht man die Flasche, in der ein hoher Druck und Zimmertemperatur herrscht. Das Gas strömt dann aus der Flasche in den Raum mit niedrigerem Druck und kühlt dabei sehr stark ab, man kann es in einem Behälter als Trockeneis auffangen. Das liegt daran, dass die intermolekularen Kräfte überwunden werden müssen. Die dabei geleistete Energie wird dem Gas als Wärme entzogen, es wird so kalt, dass es zu Trockeneis gefriert. Bei einem idealen Gas könnte es diesen Effekt nicht geben, da Anziehungskräfte dort vernachlässigt werden.

Der Joule-Thomson-Effekt findet Anwendung beim Linde-Verfahren, welches unter anderem die Verflüssigung von Stickstoff ermöglicht.



Versuch zum Gay-Lussac-Effekt (Ideales Gas)

Zwei Gasflaschen sind über ein Ventil verbunden. In der einen befindet sich ein näherungsweise ideales Gas unter einem Druck von 50bar, die andere ist leer. Öffnet man das Ventil zwischen den beiden Flaschen, strömt das ideale Gas in die leere Flasche. Dabei kühlt die Flasche des idealen Gases um 5°C ab und die Temperatur in der anderen Flasche steigt um den gleichen Wert an. Zur Abkühlung kommt es dadurch, dass die wärmeren und dadurch energiereicheren Teilchen schneller sind als die anderen, wenn sie von einer Flasche in die andere strömen. Die langsameren, kühleren Teilchen bleiben zunächst in der Flasche zurück während die schnellen warmen schon in der anderen Flasche sind. Tatsächlich kommt es insgesamt zu keiner Erwärmung oder Abkühlung, da das geschlossene System aus beiden Flaschen besteht und so die mittlere Temperatur der beiden Flaschen zusammen gleich bleibt.



Quellen

- Paul A. Tipler, Gene Mosca: *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure*
- Douglas C. Giancoli: *Physik*
- Halliday, Resnick, Walker: *Halliday Physik*

4.5 Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck

Franziska Larisch
Betreuer: Benedikt Weygandt

„Was ist Luft?“

Luft ist um einiges komplexer, als ihre chemische Zusammensetzung aus 21% Sauerstoff, 78% Stickstoff und einem geringen Anteil anderer Gase vermuten lässt. Luft ist unser Lebenselixier - doch ihre Eigenschaften sind für die Menschen nicht nur überlebenswichtig, sondern stellen auf gewisse Weise auch ein Hindernis dar, was den Traum vom Fliegen oder die Besteigung des Mount Everest betrifft. Dieser Text befasst sich mit der Temperatur, der Feuchtigkeit und dem Druck der Luft.

Lufttemperatur

Die zur Erde kommende Sonnenenergie wird durch Wolken, Luft und Boden (insbesondere von Schnee) zu 30% wieder in den Weltraum reflektiert. Die restlichen 70% werden absorbiert: rund 20% von der Atmosphäre, 50% vom Erdboden. Durch Wärmestrahlung oder Konvektion wird diese Energie wieder an die Lufthülle abgegeben. Ein Maß für das Reflexions- bzw. Rückstrahlungsvermögen ist die Albedo. Die Albedo der gesamten Erde beträgt demnach ca. 0,3. Ein hoher Albedowert entspricht also einem niedrigen Absorptionsvermögen - je mehr Sonnenenergie reflektiert wird, desto weniger kann absorbiert werden. Die absorbierte Energie wird in tiefere Schichten weitergeleitet. So strömt die Wärme ausschließlich von einem Gebiet mit höherer Temperatur zu einem mit niedrigerer Temperatur.

Luftfeuchtigkeit

Wasser befindet sich auf unserer Erde in einem ständigen Kreislauf. Demnach enthält die Atmosphäre immer Wasserdampf, zumindest in den für die Meteorologie interessanten Höhen. Die Zusammensetzung der Atmosphäre ist dabei weitestgehend konstant, der Wasserdampfgehalt schwankt jedoch. Den Gehalt der Luft an Wasserdampf bezeichnet man als die Luftfeuchtigkeit. Die Luft setzt sich aus der *trockenen Luft*, dem konstanten Gasanteil der Atmosphäre, und dem *Wasserdampf* zusammen. Dieses Gemisch wird *feuchte Luft* genannt. Die Luft hat einen bestimmten Luftdruck p . Beide Komponenten, die trockene Luft und der Wasserdampf, üben jeweils einen Teildruck aus. Der Partialdruck des Wasserdampfes wird Dampfdruck e genannt. Der Partialdruck der trockenen Luft ist also $p - e$. Der Dampfdruck e hängt von der Wasserdampfzufuhr der Erdoberfläche ab. Dieser Wert hängt wiederum von der Temperatur ab. In der Atmosphäre mit wechselnden Temperaturverhältnissen ist der Dampfdruck von Gebiet zu Gebiet und von Höhe zu Höhe unterschiedlich. Zu jeder Temperatur gibt es einen bestimmten Sättigungsdampfdruck e_s , ein Gleichgewichtsdruck, bei dem der Dampf in der Luft gesättigt ist. Ist der Dampfdruck e kleiner als der Sättigungsdruck e_s der herrschenden Temperatur, dann ist der Dampf ungesättigt und Wasser verdunstet. Ist der Dampfdruck e größer als der Sättigungsdruck e_s , ist der Dampf in der Luft übersättigt mit der Folge, dass Wassermoleküle kondensieren.

Das Verhältnis von Dampfdruck und Sättigungsdampfdruck bezeichnet man als relative Feuchtigkeit r . Sie wird normalerweise in Prozent angegeben und ist lediglich ein Maß für den Sättigungsgrad der Luft, d.h. wie weit die Luft als feucht wirkt oder gefühlt wird. Ein direktes Maß ist die absolute Feuchtigkeit a , die die Menge an Wasserdampf in Gramm pro Kubikmeter feuchter Luft angibt.

Bei gegebener Luftfeuchtigkeit und Temperatur gibt es eine bestimmte Temperatur, bei der der Wasserdampf kondensiert; die relative Luftfeuchtigkeit beträgt 100%. Diese Temperatur wird *Kondensationstemperatur* genannt und ist druckabhängig. Diese Druck- und Temperaturbedingungen bezeichnet man zusammen als *Kondensationspunkt*. Der Kondensationspunkt des Wassers ist der sogenannte *Taupunkt* T_d . Verdampft ein Gas, benötigt dieser Prozess die Zufuhr von Verdampfungswärme. Beim Kondensieren wird die betragsmäßig identische Kondensationswärme wieder frei. Wasser kondensiert, sobald die Luft übersättigt ist. Dieser Prozess lässt sich jedoch beschleunigen, wenn sogenannte

Kondensationskeime vorhanden sind, die z.B. eine Voraussetzung zur Wolkenbildung sind. Dies können Staub-, Salz- oder Rußpartikel sein, aber auch ionisierte Gasmoleküle.

Die Luftfeuchtigkeit kann beispielsweise mit einem Psychrometer oder einem Haarhygrometer gemessen werden. Das Psychrometer besteht aus zwei gleichen, nebeneinander montierten Thermometern, wobei der Sockel des einen mit einem feuchten Tuch überzogen. Zusätzlich ist ein Ventilator angebracht. Das Wasser aus dem Tuch verdunstet, wobei die Menge des verdunsteten Wassers davon abhängt, wie viel Feuchte die Luft aufnehmen kann. Da bei dem Prozess Wärmezufuhr nötig ist, zeigt das feuchte Thermometer eine niedrigere Temperatur an als das trockene Thermometer. Aus der Temperaturdifferenz „trocken - feucht“ lässt sich die Luftfeuchtigkeit bestimmen. Die Funktionsweise des Haarhygrometers basiert auf der Eigenschaft der Haare, sich bei steigender Luftfeuchtigkeit minimal zu verlängern. Die Längenänderung kann auf einen Zeiger übertragen und so auf einer Skala abgelesen werden.

Eine amüsante Vorstellung waren auch die so genannten „Trinkenten“. Der Bauch dieser Enten ist zur Hälfte mit einer Flüssigkeit gefüllt. Verdampft die Flüssigkeit, drückt der Dampfdruck der Flüssigkeit diese in den Kopf der Enten. Zu Beginn wurde der Kopf der Enten in Wasser getaucht. Dieses verdunstet und die Verdunstungskälte wird frei, wodurch der Dampfdruck der Bauchflüssigkeit größer ist als der Dampfdruck im Kopf, die Flüssigkeit steigt somit in den Kopf, der sich langsam senkt. Taucht die Ente wieder mit dem Kopf im Wasser ein, ist eine Position erreicht, bei der die Flüssigkeit in den Bauch zurückströmen kann und die Ente wieder nach oben schwingt. Der Prozess startet von neuem. Mit Alkohol trinkt die Ente wesentlich häufiger, da Alkohol schneller verdunstet als Wasser. Der gesamte Vorgang wird vom Temperaturunterschied zwischen Bauch und Kopf getrieben.

Luftdruck

Unter dem Einfluss der Schwerkraft übt die Luft auf eine Fläche Druck aus, den so genannten hydrostatischen Druck. Die Größe des Druckes hängt von der Luftmenge oberhalb des betrachteten Niveaus ab, unabhängig von der Orientierung der Fläche. Demnach nimmt der Luftdruck mit zunehmender Höhe ab. Auf dem Gipfel des Mount Everest (8850m) beträgt der Luftdruck nur noch ein Drittel vom Wert auf Meereshöhe. Auch der Sauerstoffpartialdruck sinkt mit zunehmender Höhe linear zum Luftdruck, genau genommen sogar etwas mehr, da das O_2 -Molekül schwerer ist als ein N_2 -Molekül, sodass ein Kubikmeter Atemluft in der Höhe auch prozentual weniger Sauerstoff enthält als auf Meeresebene. Die Einheit des Druckes wird in „bar“ oder „Pascal“ (105 Pascal = 1 bar) ausgedrückt.

Quellen

- Gösta H. Liljequist, Konrad Gehak: *Allgemeine Meteorologie*, Springer Verlag
- Douglas C. Giancoli: *Physik*, Prentice Hall Verlag
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Kondensationstemperatur>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Kondensationsw%C3%A4rme>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Kondensationskeim>

4.6 Lichtbrechung

Marie-Louise Siegmann
Betreuer: Alexander Dick

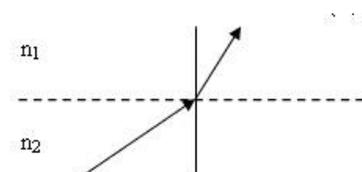
Lichtbrechung, auch „Refraktion“ genannt, ist ein allgegenwärtiges Phänomen, welches bei verschiedensten atmosphärischen Erscheinungen eine übergeordnete Rolle spielt, von denen hier beispielhaft drei gezeigt sind:



An der Grenzfläche von zwei Medien wird ein Lichtstrahl nach dem auf dem Fermat'schen Prinzip aufbauenden Brechungsgesetz gebrochen. Das Fermat'sche Prinzip besagt dabei, dass ein Lichtstrahl immer den Weg mit der kürzesten Laufzeit nutzt. Daraus lässt sich das Snelliuss'sche Brechungsgesetz herleiten:

$$n_1 \cdot \sin \alpha_1 = n_2 \cdot \sin \alpha_2 \quad n_1, n_2 \text{ sind die Brechungszahlen}$$

Beim Übergang vom optisch dünneren Medium (kleinere Brechzahl n_1) zum dichteren (größere Brechzahl n_2) wird der Strahl zum Lot hin gebrochen. Der umgekehrte Fall lässt sich analog herleiten.



Totalreflexion

Beim Übergang von dichteren in dünnere Medien kann es vorkommen, dass ein gebrochener Strahl nicht austritt, sondern an der Grenzfläche totalreflektiert wird. Dies passiert, sobald der Brechungswinkel nicht mehr reell ist, der kritische Einfallswinkel Θ_k mit $\sin \Theta_k = \frac{n_2}{n_1}$ also überschritten wird: $\frac{n_2}{n_1} \cdot \sin \alpha > 1$

Die Grenzfläche zwischen zwei Medien verhält sich nun wie eine Spiegelfläche. Dieses Prinzip wird besonders in der Faseroptik sehr oft angewandt und ist Grundprinzip für den verlustarmen Transport von Informationen bei der Telekommunikation oder auch bei der Endoskopie in der Medizin.

Dispersion

Zu beachten ist, dass der Brechungsindex n eines Stoffes von der Wellenlänge abhängt (Dispersion). Diese Tatsache hat die Farbaufspaltung bei der Brechung (z.B. bei einem Prisma) zur Folge. Diese wellenlängenabhängige Brechzahl kann beispielsweise durch die Cauchy-Gleichung beschrieben werden. Die Parameter B_0 bis B_j sind materialspezifisch.

$$n(\lambda) = B_0 + \sum_{i=1}^j \frac{B_i}{\lambda^{2i}}$$

Regenbogen

Der Regenbogen mit all seinen Varianten als bekanntes Phänomen ergibt sich durch ein Interferenzmaximum der Lichtwellenfront, die zweimal gebrochen und je nach Variante ein bis drei Mal innerhalb des Regentropfens totalreflektiert wird. Zwei Refraktionen treten dabei beim Hauptregenbogen zusammen mit einer, beim Nebenregenbogen mit zwei und beim tertiären Bogen mit drei Reflexionen im Inneren des Regentropfens auf. Für den Betrachter befindet sich der Hauptbogen in einem Winkel von $40,6^\circ$ bis $42,3^\circ$ mit der Farbreihenfolge von rot nach blau und der Nebenregenbogen, mit umgekehrter Farbreihenfolge, in einem Winkel von $50,6^\circ$ bis $53,6^\circ$ um den Gegenpunkt der Sonne. Der tertiäre Regenbogen hat einen Winkel von 138° bis $143,1^\circ$ um diesen Punkt und ist bedingt durch seine geringe Intensität und seine Nähe zur Sonne sehr schwer zu erkennen. Bedingt durch

die Einschränkungen durch die Totalreflektion ist der tertiäre Bogen der maximal mögliche. Das entsprechende Interferenzmaximum befindet sich in der Nähe des sogenannten Descartes-Strahls, der die minimal mögliche Ablenkung durch die Refraktion und Totalreflexion durch den Regentropfen erfährt. Die anderen entstehenden Interferenzmaxima, die durch Dispersion bei unterschiedlichen Winkeln liegen, ergeben die überzähligen Bögen, die mittig unterhalb des Hauptbogens zu sehen sind.

Quellen

- Helmut Kraus: *Die Atmosphäre der Erde*, Springer-Verlag
- Paul A. Tipler: *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure*, Spektrum-Verlag

4.7 Lichtstreuung

Lena Walter
Betreuer: Benedikt Weygandt

Allgemein versteht man unter Streuung die Wechselwirkung eines Teilchens mit einem Streuzentrum. Bei dieser wird ersteres von seiner ursprünglichen Ausbreitungsrichtung abgelenkt. Welche Art der Streuung vorliegt, ist selbstverständlich von den beteiligten Partikeln abhängig. Es ist beispielsweise eine Unterteilung in elastische und inelastische Streuprozesse möglich. Wird inelastisch gestreut (wie z.B. beim Comptoneffekt), so betrachtet man meist den Energieaspekt oder vielmehr die energetischen Zustandsänderungen der bestrahlten/gestreuten Anteile. Aus der Beobachtung einer elastischen Streuung (z.B. Lichtstreuung) lassen sich hingegen oft Informationen über die geometrische Struktur (Art, Größe oder Form) der Streuzentren ableiten.

Im Falle der Lichtstreuung handelt es sich um Photonen, die auf Materie treffen und an dieser gestreut werden. Um diesen Vorgang detailliert zu betrachten, sind einige Vorabinformationen zur Lichtvorstellung notwendig.

Grundlegend wird hier mit dem Wellencharakter des Lichts argumentiert. Laut diesem kann die Lichtausbreitung durch eine fortschreitende elektromagnetische Transversalwelle beschrieben werden. Diese ist nicht an Materie gebunden. Elektrischer und magnetischer Feldvektor schwingen senkrecht zueinander mit der gleichen Amplitude und beide senkrecht zur Ausbreitungsrichtung. Im Folgenden wird allerdings nur das elektrische Feld betrachtet.

Eine wichtige Angabe zur Charakterisierung der Lichtwelle stellt die Wellenlänge λ (Abstand zweier Wellenberge/-täler) dar. Beim weißen Licht der Sonne (im sichtbaren Spektrum), welches sich aus verschiedenen Farben zusammensetzt, besitzt jede dieser Farben eine unterschiedliche Wellenlänge. Diese spielt bei der Lichtstreuung eine große Rolle.

Zum einen wirkt sich das Verhältnis zwischen λ und der Teilchengröße d des Streuzentrum besonders gravierend auf die Art der Streuung aus. Beträgt d weniger als $\lambda/20$, so spricht man von *Rayleighstreuung*. Liegen Teilchengröße und Wellenlänge im gleichen Bereich, so findet *Miestreuung* statt.

Zum anderen ist die Intensität der Streustrahlung wellenlängenabhängig. Die Intensität verhält sich umgekehrt proportional zur vierten Potenz der Wellenlänge. Dies hat zur Folge, dass blaues Licht mit $\lambda = 380nm$ ungefähr 16 mal so stark gestreut wird, wie rotes mit $\lambda = 700nm$. Diese Tatsache ist auch der Grund dafür, dass wir den Himmel als blau wahrnehmen. Wenn die Lichtwellen der Sonne senkrecht auf die Erde treffen, werden die blauen Anteile aufgrund ihrer kürzeren Wellenlänge an den Luftmolekülen (hauptsächlich Stickstoff und Sauerstoff) mehrfach gestreut. Die gestreuten Lichtwellen treffen auf unser Auge, wenn wir in den Himmel blicken. Schauen wir hingegen in die Sonne, so erscheint der komplementäre Farbeindruck gelb.

Es bleibt die Frage, warum sich dieser abends bis hin zum Abendrot abändert. Der Unterschied besteht darin, dass zu dieser Zeit das Licht einen viel längeren Weg durch die Atmosphäre zurücklegen muss, da es schräg einfällt, bevor es beim Betrachter angelangt. Durch die erhöhte Anzahl der möglichen Streuzentren wird der blaue Anteil seitlich weggestreut. So erreichen uns nur noch die langwelligeren Anteile des sichtbaren Spektrums und der Himmel erscheint rötlich.

Von Mond aus gesehen fehlt die Farbigekeit des Himmels allerdings vollständig. Das liegt daran, dass hier schlichtweg die Partikel der Erdatmosphäre fehlen und so keine Streuzentren vorhanden sind. Wolken wiederum bestehen aus so großen Teilchen, dass die auftretende Streuung nicht mehr wellenlängenabhängig ist. Das Sonnenlicht wird folglich diffus reflektiert und wir sehen die Wolken weiß.

Die Entstehung der Farbeindrücke in der Atmosphäre lassen sich experimentell gut abbilden und nachvollziehen. Dafür wird eine Glas mit Wasser gefüllt und mit einigen Tropfen versetzt, um eine „Atmosphäre“ mit Streuzentren zu konstruieren. Durchleuchtet man diese nun mit einer Taschenlampe, kann man die beschriebenen Effekte, welche durch Lichtstreuung entstehen, an dem Modell beobachten.

Quellen

- Georg H. Liljequist, Konrad Cehak: *Allgemeine Meteorologie*, Springer Verlag

4.8 Atmosphärische Elektrizität

Gregor Angeloni
Betreuerin: Beate Esche

Ionisation

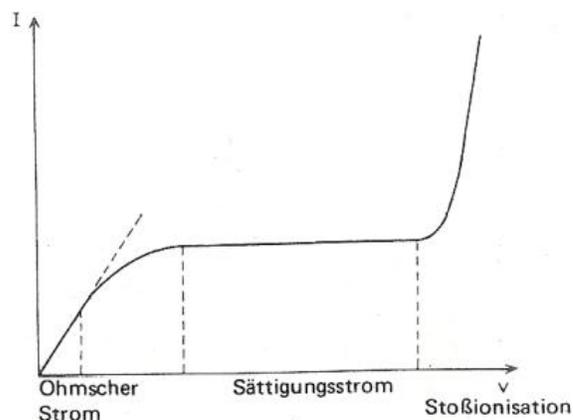
Wenn radioaktive oder kosmische Strahlung auf ein Luftmolekül trifft, kann dieses dadurch ionisiert werden, es entstehen ein positives Ion und ein frei fliegendes Elektron (Ladung $q = \pm 1,60210 \cdot 10^{-19} \text{C}$). Um diese lagern sich meist sehr rasch neutrale Moleküle an. Kleinionen genannte Komplexe von 10 - 30 Molekülen bilden sich. Wenn sich diese dann wiederum an Kondensationskeimen (Partikel in der Luft) anlagern, entstehen Großionen. Je mehr Partikel in der Luft vorhanden sind, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit der Bildung eines Großions.

Die ständige Bildung von Ionen geht aber nicht mit einem unendlichen Anstieg der Ionenanzahl einher, da sich Ionen mit unterschiedlichen Ladungen durch Stöße wieder neutralisieren, Ionen mit gleicher Ladung stoßen sich elektrisch ab. Es tritt ein Gleichgewichtszustand ein.

Das elektrische Feld der Erde

In der Atmosphäre existiert ein ständiges elektrisches Feld, deshalb setzen sich die Ionen in Bewegung. Die positiven bewegen sich in Richtung des Feldvektors, die negativen entgegengesetzt. Es entsteht ein von der elektrischen Feldstärke und der Leitfähigkeit abhängiger Vertikalstrom I ($I = E \cdot \lambda$), wobei die Ladungsträger freie Elektronen (in der höheren Atmosphäre) und Kleinionen sind (diese sind wegen der geringeren Masse weitaus beweglicher als Großionen; je reiner die Luft, desto besser also die Leitfähigkeit, da sich dann weniger Großionen bilden.)

Vergleichbar mit einem klassischen Kondensator, bei



dem sich ionisierte Luft zwischen den Kondensatorplatten befindet, wächst die Stromstärke zunächst linear zur Spannung. Der Sättigungsstrom tritt als Folge der stabilen Ionisierungsrate ein (alle gebildeten Ionen werden an die „Kondensatorplatten“ transportiert). Bei hohen Feldstärken werden die Ionen so stark beschleunigt, dass sie genügend Energie haben, um andere Luftmoleküle durch Stöße zu ionisieren. Die Ionisationsrate steigt lawinenartig an (Stoßionisation), die Stromstärke nimmt stark zu. Aus ihrer Schale gerissene Elektronen können dabei auch gleich darauf wieder von anderen freien Elektronen ersetzt werden, wobei elektromagnetische Strahlung ausgesandt wird. Dies ist als Büschel aus blauem Licht sichtbar (Corona, in der Atmosphäre St. Elmsfeuer).

Die Feldstärke beträgt nahe der Erdoberfläche ca. $130V/m$, nimmt jedoch mit wachsender Entfernung von der Erde sehr schnell ab (stärker als $\sim 1/r^2$). In der Atmosphäre existieren aber lokal stark geladene Gebiete, so genannte Raumladungen. Eine besonders hohe Ionisationsrate existiert in der oberen Atmosphäre. Durch Absorption kurzweiliger ultravioletter Strahlung und durch die hohe Lebensdauer der freien Elektronen ist die Luft hier ein besonders guter Leiter, ebenso wie die Erdoberfläche. Man kann diese beiden Schichten als leitende Schalen eines Kugelkondensators (mit der negativen Erde und der positiven Ausgleichsschicht) ansehen. Die Potentialdifferenz ($200 - 400kV$) ist der Grund für den Vertikalstrom (ca. $3 \cdot 10^{-12} A/m^2$) an Schönwettertagen.

An Schlechtwettertagen ist das elektrische Feld entgegengesetzt gerichtet und wesentlich stärker, dafür aber von relativ kurzer Dauer, d. h. der Ladungstransport erfolgt in kurzer Zeit. Dies geschieht vor Allem durch Blitze, aber auch durch Niederschläge oder Luftturbulenzen. Insgesamt heben sich diese beiden Ladungstransporte auf, die Elektrizitätsbilanz ist Null.

Gewitter

Cumulonimbuswolken (Gewitterwolken) sind zweigeteilt und haben entgegengesetzte Raumladungen im oberen und unteren Teil der Wolke (meist oben positiv und unten negativ). Die Höhendifferenz der beiden Zonen beträgt ca. $1km$, die Übergangstemperatur $-10^\circ C$ bis $-15^\circ C$ (in Mitteleuropa meist in $5 - 6km$ Höhe, dem Übergang zwischen Wassertropfen und Eiskristallen).

Wenn die Spannung zwischen den Raumladungen eine bestimmte Stärke erreicht hat, erfolgt die Entladung in Form von Linienblitzen, Flächenblitzen, Perlschnurblitzen etc. Um dies zu zeigen, haben wir mit dem Wimshurst-Generator durch mechanische Arbeit Spannung erzeugt, die sich ab einem bestimmten Punkt durch kurze Blitze entladen hat. Die benötigte Spannung für eine direkte Blitzentladung beträgt theoretisch $3 Mio. V/m$ bei trockener bzw. $1 - 3 Mio. V/m$ bei feuchter Luft. Bei einem Blitz von $1km$ Länge wären das $1 - 3 Mrd. V$, in der Realität wird aber „nur“ ein Potentialunterschied von einigen $10 Mio. V$ überwunden. Einem Blitz gehen eine Reihe von Vorentladungen voraus, dabei wird durch Stoßionisation ein Blitzkanal geschaffen, der wie ein elektrischer Leiter wirkt. Dabei entstehen sehr hohe Feldstärken. Bei der Hauptentladung haben sich die positiven Ladungen bereits an der Oberfläche gesammelt und es erfolgt der Ausgleich. Im Experiment haben wir dies mit dem Hörnertransformator (Bild) sichtbar gemacht. Hier wird zunächst ein kurzer Blitzkanal gebildet, den man dann auch trotz der normalerweise sehr schlechten Leitfähigkeit der Luft verlängern kann. Der Donner entsteht durch die plötzliche Erwärmung im und um den Blitzkanal.



Bei den meisten Gewittern wird der Atmosphäre überschüssige Ladung entzogen und der Erde zugeführt, die Stromstärke beträgt dabei im Schnitt $0,8A$, was im Verhältnis zur Spannung sehr gering

erscheint. Um dieses Phänomen zu zeigen, haben wir mit dem Tesla-Transformator (Bild) durch Induktion Hochspannung von über 100kV erzeugt. Man kann Blitze in der Luft sehen, die Stromstärke wird aber enorm verringert - man kann unseren Tesla-Transformator sogar gefahrlos anfassen.

Nimmt man alle Gewitter zusammen, fließt im Jahresmittel ein Strom von ca. 1500A. Der Vertikalstrom führt der Atmosphäre genau die ausgleichende Ladung zu. Das Gewitter, das das luftelektrische Feld der Atmosphäre aufrecht erhält, ist also notwendige Voraussetzung für den Schönwetterstrom, für den es wiederum Ionen in der Atmosphäre geben muss.



Quellen

- Ute Ebert: *Wenn der Funke überspringt*, Physik Journal 8/2009, Hrsg. Deutsche Physikalische Gesellschaft
- Georg H. Liljequist, Konrad Cehak: *Allgemeine Meteorologie*, Springer Verlag

4.9 Corioliskräfte

Astrid Haderlein
Betreuer: Alexander Dick

Allgemeines

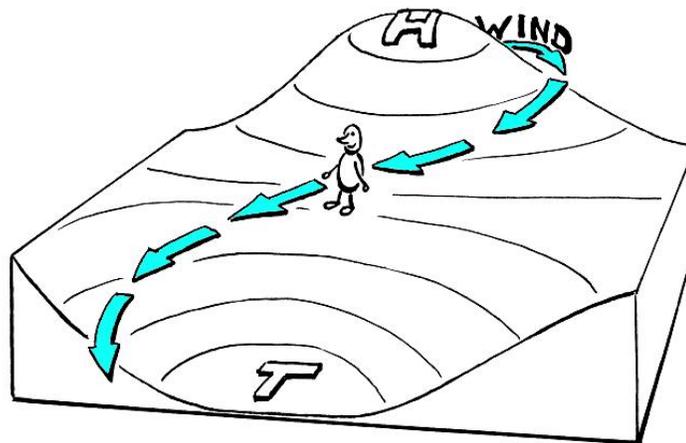
Der Corioliseffekt, benannt nach seinem Entdecker Gaspard Gustave de Coriolis, tritt in rotierenden Systemen auf. Hierbei wird ein sich bewegendes Körper, aufgrund seiner Trägheit und der unterschiedlichen Bahngeschwindigkeiten innerhalb des Systems, abgelenkt, weshalb die Corioliskraft als Trägheits- oder Scheinkraft bezeichnet wird.

Auswirkungen auf die globale Windzirkulation

Hoch- und Tiefdruckgebiete

Besonderen Einfluss besitzt die Corioliskraft in der Meteorologie, da sie maßgeblich für die vorherrschende Windzirkulation verantwortlich ist. Ein Körper in Äquatornähe bewegt sich durch die Erdrotation schneller als ein Körper, der sich an einem der Pole befindet. Bewegt sich ein Körper also zum Äquator hin, so gelangt er auf Punkte, die sich mit einer höheren Tangentialgeschwindigkeit drehen, sodass diese sich unter ihm hinwegbewegen und er scheinbar nach Westen abgelenkt wird. Erfolgt eine Bewegung in Richtung einer der Pole, so hat der Körper eine größere Tangentialgeschwindigkeit als die Erde unter ihm, sodass er sie „überholt“ und nach Osten abgelenkt wird. Auf der Nordhalbkugel gilt daher, dass Luft in Bewegungsrichtung nach rechts abgelenkt wird, und auf der Südhalbkugel nach links. Aus diesem Grund drehen sich Tiefdruckgebiete auf der Nordhalbkugel gegen den Uhrzeigersinn.

Dieses Phänomen haben wir in einem Modell nachgestellt: Luft wird durch ein kleines Feuer erhitzt und steigt auf, ein (sehr kleines) Tiefdruckgebiet entsteht. Von außen strömt neue Luft nach, wird aber durch ein rotierendes zylindrisches Metallgitter in Rotation versetzt. Durch die Corioliskräfte nimmt die Rotation beim Strömen zum Mittelpunkt stark zu, ein „Feuertornado“ entsteht.



Geostrophischer und Ageostrophischer Wind

Andere in einem Hoch- oder Tiefdruckgebiet wirkende Kräfte sind die Zentrifugalkraft, die radial nach außen wirkt, und die Druckgradientkraft, die stets zum geringeren Druck hin wirkt. Herrscht zwischen diesen Kräften ein Gleichgewicht, so strömt die Luft näherungsweise parallel zu den Isobaren, man spricht von einem geostrophischen Wind. In Bodennähe wirkt jedoch noch eine weitere Kraft, nämlich die Reibungskraft entgegen der Bewegungsrichtung. Diese bremst den Wind, sodass mit der Geschwindigkeit auch die Corioliskraft abnimmt, während die Zentrifugalkraft und die Druckgradientkraft konstant bleiben, sodass kein Kräftegleichgewicht mehr herrscht und der Wind somit auch nicht mehr geostrophisch weht. Dieses Phänomen nennt man den *ageostrophischen Wind*.

Jetstreams

Jetstreams sind starke geostrophische Winde, die erst ab einer Höhe von ca. 10km auftreten und daher speziell für den Flugverkehr genutzt werden. Sie entstehen durch dauerhafte Temperaturunterschiede in der Atmosphäre, sodass nur wenige Veränderungen auftreten. Anhand dieser Veränderungen kann man jedoch grob auf das Wettergeschehen in niedriger Höhe schließen, da beide stark voneinander abhängen.

Quellen

- www.corioliskraft.eu
- Douglas C. Giancoli: *Physik*
- Tom L. McKnight, Darrel Hess: *Physische Geographie*
- Gösta H. Liljequist, Konrad Cehak: *Allgemeine Meteorologie*

4.10 Deterministisches Chaos in der Physik und seine Anwendung auf das Wetter

Florian Thoß
Betreuerin: Beate Esche

„Der momentane Zustand des Systems „Natur“ ist offensichtlich eine Folge dessen, was er im vorigen Moment war, und wenn wir uns eine Intelligenz vorstellen, die zu einem gegebenem Zeitpunkt alle Beziehungen zwischen den Teilen des Universums verarbeiten kann, so könnte sie Orte, Bewegungen und allgemeine Beziehungen zwischen all diesen Teilen für alle Zeitpunkte in Vergangenheit und Zukunft vorhersagen.“

Pierre Simon Marquis de Laplace

„Eine sehr kleine Ursache, die wir nicht bemerken, bewirkt einen beachtlichen Effekt, den wir nicht übersehen können, und dann sagen wir, der Effekt sei zufällig. [...] Ein kleiner Fehler zu Anfang wird später einen großen Fehler zur Folge haben. Vorhersagen werden unmöglich, und wir haben ein zufälliges Ereignis.“ Henri Poincaré

Die Idee des Laplaceschen Dämons, die Pierre Simon Marquis de Laplace im 18. Jahrhundert entwickelte, hat mehrere praktische Probleme. Nicht allein, dass die Lichtgeschwindigkeit es ihm erschwerte, zu einem Zeitpunkt alle Informationen über ein abgeschlossenes System zu besitzen, und seine Berechnungen selbst das System beeinflussen würden (gesetzt er wäre Teil des Systems, denn andernfalls könnte er daraus keinen Nutzen ziehen), sondern zwei andere schwerwiegendere Probleme machen seine Aufgabe unmöglich: Zum einen, dass man von einem Quant nie gleichzeitig den exakten Ort und die exakte Geschwindigkeit kennen kann (Hier gilt echter Zufall!), zum anderen die Nichtlinearität, welche den meisten realen Systemen zugrunde liegt. Dies bedeutet, dass die Gleichungen, die das System beschreiben, Terme beinhalten, die beispielsweise quadratisch oder sinusförmig sind. Für die meisten dieser Systeme existiert keine analytische Lösung, was bedeutet, dass Systemzustände iterativ berechnet werden müssen, was den Rechenaufwand enorm erhöht.

Henri Poincaré widersprach Laplace nicht, er entdeckte lediglich, dass kleine Abweichungen in den Anfangsbedingungen zu späteren großen Abweichungen führen können (Sensitivität). Hieraus folgen zwei Arten von Kausalität: Die schwache Kausalität, die generell für jedes deterministische System gilt und besagt, dass gleiche Ursachen zu gleichen Wirkungen führen; und die starke Kausalität, die nur in linearen Systemen gilt und besagt, dass ähnliche Ursachen zu ähnlichen Wirkungen führen. Gilt letztere nicht, so löst sich die Vorhersagbarkeit eines Systems auf. Was folgt, ist deterministisches Chaos: Deterministisch, da es deterministischen Gesetzmäßigkeiten folgt; Chaos, da man es praktisch nicht mehr vorhersagen kann.

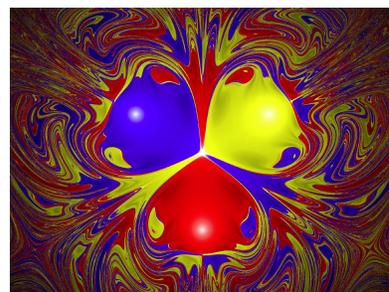
Die logistische Gleichung, welche eigentlich zur Berechnung demografischer Entwicklung aufgestellt wurde, ist für bestimmte Parameter ein mathematisches Beispiel für ein solches Verhalten:

$$x_{n+1} = r \cdot x_n \cdot (1 - x_n)$$

Sie ist iterativ zu berechnen, auch wenn für einzelne Parameter analytische Lösungen existieren. Man wählt x_0 und r , setzt diese in die Gleichung ein und berechnet somit den jeweils nächsten x -Wert. Für $r < 3$ pendelt sich der x -Wert bei einem Wert ein, für $3 \leq r < \sim 3,45$ springen die Werte abwechselnd zwischen zwei Werten, bei etwas größeren r zwischen 4, dann zwischen 8 etc. und ab etwa 3,57 beobachtet man ein chaotisches Verhalten. (Wobei jedoch auch immer wieder relativ stabile Bereiche auftreten.)

Führt man im chaotischen Bereich nun zweimal entsprechende Berechnungen durch und rundet dabei auf jeweils unterschiedlich viele Nachkommastellen, so wächst der Fehler schnell, wenn auch unregelmäßig, bis die beiden Berechnungen völlig von einander abweichen. Lorenz führte dies bereits früher mit ähnlicher Beobachtung am Lorenz-Attraktor durch, auf den wir jedoch später noch zu sprechen kommen.

Das Magnetpendel bietet aufgrund seines chaotischen Verhaltens die Möglichkeit, die Sensitivität eines Systems zu beobachten. Der Aufbau ist wie folgt: Drei gleichstarke und gleichgroße Magnete werden als Eckpunkte eines gleichseitigen Dreiecks gesetzt, welches senkrecht zur Gravitation steht. Über den Mittelpunkt des Dreiecks hängt man ein Pendel mit einer Eisenkugel. Versucht man, das Pendel zweimal von derselben Stelle loszulassen, so ergeben sich frappierende Unterschiede in den Bahnen und letztlich in dem Magneten, über dem die Kugel zum Stehen kommt. Die nebenstehende Grafik zeigt mittels Grauschattierung diesen Magneten für jeden Anfangs-



punkt an.

Der sogenannte Phasenraum eignet sich gut zum Untersuchen und Abbilden von dynamischen Systemen. Es handelt sich um ein Koordinatensystem, welches von den von der Zeit abhängigen Variablen (Freiheitsgraden) aufgespannt wird. Ein Punkt im Phasenraum steht für den Zustand des Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt. All diese Punkte zusammen bilden eine Trajektorie, welche sich mit der Zeit einem Attraktor annähert, der sehr unterschiedliche Formen haben kann. Ein gedämpftes Pendel beispielsweise endet in einem Punkt, ein ungedämpftes in einem geschlossenen, kreisförmigen Orbit. Es existieren auch seltsame Attraktoren, wie etwa der Lorenz-Attraktor.

Der Lorenz-Attraktor ist abgeleitet von einem thermodynamischen System, bei dem sich zwischen zwei eng zusammen liegenden Platten ein Fluid befindet. An der Unterseite wird die Flüssigkeit nun erhitzt. Erhitzt man stark genug, reicht die Wärmeübertragung zwischen den Teilchen nicht mehr aus und sie setzen sich selbst in Bewegung, wobei chaotische Verwirbelungen auftreten.

Der Ljapunow-Exponent λ dient der Analyse der zeitlichen Entwicklung eines wie oben beschriebenen Fehlers $\Delta x(0)$ im Phasenraum.

$$\Delta x(t) = \Delta x(0) \cdot e^{\lambda t}$$

Ist der Ljapunow-Exponent negativ, nähern sich eigentlicher und abweichender Wert exponentiell aneinander an; ist er gleich Null, bleibt der Fehler konstant; ist er positiv, entfernen sie sich exponentiell (Chaos).

Anwendungsgebiete der Chaostheorie sind vielfältig. Beispiele sind etwa das Finanzwesen, Hirnstromanalysen und die Meteorologie.

Ein Beispiel ist der Reynoldsche-Strömungs-Versuch. Durch ein Rohr wird mit einer bestimmten Geschwindigkeit Wasser gepumpt. In die Mitte des Rohres führt man ein weiteres, schmaleres Rohr ein, aus der eine gefärbte Lösung fließt. Abhängig von Dichte, Fließgeschwindigkeit, Durchmesser des Rohres und der dynamischen Viskosität der strömenden Flüssigkeit lässt sich die Reynolds-Zahl bestimmen, anhand derer man Aussagen über das Strömungsverhalten der Flüssigkeit treffen kann. Ist die Fließgeschwindigkeit klein, fließt das schmale, gefärbte Band annähernd in der Mitte des Rohres. Erhöht man sie, so entstehen auch hier erste Turbulenzen und anschließend absolut chaotische Strukturen.

Da viele Systeme in der Meteorologie auf Strömungen oder Konvektionen beruhen, ist es verständlich, dass auch das Wetter nur sehr schwer vorherzusagen ist. Eine Verbindung ist der allgemein bekannte Schmetterlingseffekt: Ein winziger Unterschied wie ein Schmetterling, der mit den Flügeln schlägt oder nicht, kann sich im Verlauf der Zeit zu gewaltigen Unterschieden entwickeln, beispielsweise ob ein Wirbelsturm entsteht oder nicht. Ihn als Auslöser oder Ursache zu bezeichnen, wäre jedoch falsch. Dies entspricht wieder der sensiblen Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen eines Systems.

Um nun eine vernünftige Wettervorhersage zu entwickeln, berechnet man deshalb auch häufiger das gleiche Modell mit leicht veränderten Startwerten. Aus dem Durchschnitt bestimmt man die wahrscheinlichste Wetterlage, aber eine langfristige Wettervorhersage ist nicht möglich.

Quellen

- <http://kleini.comlab-md.org/Kurse/Chaos/Phasenraum/phasenraum.pdf>
- http://www.physikdidaktik.uni-frankfurt.de/Mitarbeiter/Dr__Friederike_Korneck/Forschung/index.html
- <http://www.tarphos.de/facharbeit/html/node3.html>
- <http://www.katharinen.ingolstadt.de/chaos/sensi1.htm>
- <http://bugman123.com/Fractals/MagneticPendulum1-large.jpg>

5 Informatikkurs

Visualisierung und Rendering

Ein Bild kann mehr aussagen als tausend Worte, ein Diagramm erlaubt es, Daten besser zu überschauen als eine Tabelle. Visualisierungen haben das Potential, Wissen zu vernetzen und lassen Zusammenhänge, die nicht unmittelbar erkennbar sind, deutlicher hervortreten.

Unter Visualisierung bzw. Veranschaulichung wird verstanden, Daten nach einem Abstraktionsvorgang in eine visuell erfassbare Darstellung zu bringen. In fast allen Wissenschaftsbereichen werden mit Messgeräten erfasste oder empirisch gewonnene Daten auf das Wesentliche oder einzelne Aspekte reduziert und graphisch dargestellt. Hierzu bietet die graphische Datenverarbeitung Methoden und Strategien an, und es existieren Lösungen sowie Software für die unterschiedlichsten Einsatzgebiete.

In dem Kurs werden Grundkonzepte sowie Anwendungen untersucht, das Verhältnis zur Statistik betrachtet und an Beispielen verdeutlicht.

Kursleitung

Dr. Detlef Krömker, Professor für Informatik (Graphische Datenverarbeitung) an der Johann Wolfgang Goethe - Universität / Frankfurt

Dr. Jürgen Poloczek, Fachleiter für Informatik und Mathematik am Studienseminar Oberursel, Lehrbeauftragter für Didaktik der Informatik an der Johann Wolfgang Goethe - Universität / Frankfurt

5.1 Aufbereiten und Darstellen von Informationen

Ann-Kathrin Brunner, Alina Braun
Betreuer: Florian Kroh

Warum Visualisierung?

Die Zusammenhänge zwischen den Daten in einer Datenmenge sind oftmals nicht sofort klar erkennbar. Die Visualisierung soll diese verborgenen Verknüpfungen für den Betrachter sichtbar machen. Die Visualisierung sollte dabei die Wirklichkeit widerspiegeln, der Betrachter soll sie nicht nur sehen, sondern auch Zusammenhänge erkennen, verstehen und bewerten können.

Um aus Daten ein Bild zu entwickeln, werden die Schritte der sogenannten *Visualisierungspipeline* durchlaufen. Es gibt drei Schritte: Der erste Schritt wird „Filtering“ genannt. Es ist die Datenaufbereitungsphase. Die Rohdaten werden gefiltert, die Datenmenge wird vervollständigt oder Daten, die nicht zur Problemlösung beitragen, werden aussortiert. Gegebenenfalls werden Datenwerte interpoliert und eventuelle Fehler korrigiert. Der zweite Schritt ist das Mapping, es ist das Kernstück der Pipeline. Die Daten werden mit ihren Attributen auf geometrische Primitive abgebildet (Daten-zu-Geometrie-Abbildung). Die Darstellungsart wird unter Berücksichtigung der Expressivität und Effektivität ausgewählt und Anordnungsfragen werden geklärt. Im letzten Schritt erfolgt die Bildgenerierung. Dabei wird unter anderem zwischen realitätsnahen oder abstrakten Bildern und Animationen unterschieden.

Die Datenauswahl findet in jedem Schritt der Pipeline statt. In der Visualisierungspipeline gibt verschiedenen Arten von Daten: die Rohdaten (aus der realen, theoretischen oder künstlichen Welt), die aufbereiteten Daten, die Geometriedaten und die Bilddaten.

Die Daten werden aus einem Beobachtungsraum gewonnen, die dort untersuchten Beobachtungspunkte unterscheiden sich durch ihre Dimensionalität (Dimensionen sind unabhängige Variablen), ihren Wirkungsbereich (Umgebung, in der ein Beobachtungspunkt wirkt [punktuell, global oder lokal]) und ihre Beziehung zueinander. Beobachtungspunkte können beliebig gewählt werden oder in einem bestimmten Gitter vorliegen. Es wird zwischen regelmäßigen Gittern, unregelmäßigen unstrukturierten Gittern, blockstrukturierten Gittern, strukturierten Gittern („kurvenlinearen Gittern“) und hybriden Gittern unterschieden. Daten können verschiedene Merkmale aufweisen. Für die Visualisierung der Merkmale sind vor allem folgende Aspekte von Bedeutung: der *Datentyp* (vektorielle Größe, skalare Größe oder tensorielle Größe), die *Dimensionalität* (Anzahl der Werte pro Beobachtungspunkt), der *Wertebereich* (qualitativ (ordinal oder nominal) oder quantitativ) und die *Strukturierung der Merkmale* (Speicherungsform der Merkmale (sequentiell, relational, hierarchisch und netzwerkartig).

Die Visualisierung zielt auf die große Leistungsfähigkeit des menschlichen visuellen Systems ab, um die charakteristischen Eigenschaften einer Datenmenge zu verstehen. Ziele der Visualisierung sind Effektivität, Expressivität und Angemessenheit. Die Expressivität, auch Ausdrucksfähigkeit genannt, besagt, dass die Datenmenge möglichst unverfälscht wiedergegeben werden soll. Sie ist abhängig von der Struktur und Art der Daten. Wie die Daten am besten präsentiert werden, wird in der Effektivität ausgedrückt. Sie hängt von den visuellen Fähigkeiten des Betrachters und den charakteristischen Eigenschaften des Ausgabegerätes ab, sodass die effektivste Visualisierung nicht immer auch die beste Wahl ist. Die Angemessenheit drückt das Verhältnis zwischen Kosten und Nutzen des Visualisierungsprozesses aus. Die Bearbeitungszeit sind gleichzeitig auch Probleme der Visualisierung, da das Erreichen des einen Ziels die Verwerfung eines anderen Ziels bedeuten könnte. Daraus ergeben sich verschiedene Problemklassen, unter anderem das Identifikationsproblem. So kann meist nicht direkt der Zahlenwert eines Datenpunktes abgelesen werden. Zur Behebung dieser Probleme lassen sich weitere Ziele formulieren, wie zum Beispiel die Mittelwertbildung oder die Extremwertberechnung.

Verschiedene Faktoren beeinflussen den Visualisierungsprozess. Robertson fasst diese Einflussgrößen in Datenmodellen zusammen. Diese Modelle helfen bei der Erfüllung des Expressivitäts-, des Effektivitäts- und des Angemessenheitskriterium. Modell der Bearbeitungsziele:

- Spezifikation der Problemstellung, das heißt es muss ein konkretes Bearbeitungsziel vorausgesetzt werden
- Modell der Wahrnehmungsfähigkeit (Abhängigkeit der Visualisierung vom Betrachter)
- Nutzermodell (Auswahl der Nutzergruppe)
- Ressourcenmodell (auch als Modell des Ausgabegerätes bezeichnet, es geht um die Charakteristika des Darstellungsmediums)
- Anwendungsmodell (beschreibt eine konkrete Anwendung bzw. das Anwendungsgebiet)

Bei Datensammlungen gestaltet sich die Organisation der Daten schwierig, da Daten nicht immer sequentiell vorliegen, die Behandlung des Parameters Zeit (Zeit als unabhängige Variable, als zusätzliche Dimension), Fehlende und fehlerhafte Daten „missing value“ müssen kenntlich gemacht werden) und die Datenauswahl (Hier geht es um die richtig formulierte Anfrage, sodass die Ergebnisse zu der Problemlösung beitragen und die geschickte Auswahl der Teilmenge.) Der Begriff *Graphische Semiotik* nach Bertin ist die Wissenschaft der graphischen Zeichen. Sie ist eine Methodik zur Erzeugung effektiver Abbildungen. Die Wahrnehmung der Bedeutung eines Symbols wird nach Bertin sofort erfasst, da bei ihnen die Gesamtheit einer Information dargestellt wird. Dagegen erfolgt die Wahrnehmung einer graphischen Darstellung in zwei Schritten. Es müssen erst die Elemente in der Darstellung erkannt werden (externe Identifizierung). Dann wird nach Beziehungen zwischen den Elementen gesucht. (interne Identifizierung). Graphische Darstellung sind Zeichensysteme, sie nutzen die Eigenschaften der Ebene, um Ähnlichkeits-, Ordnungs- oder Proportionalitätsbeziehungen

zwischen einer vorgegebenen Gesamtheit von Informationen anschaulich darzustellen. Bertin nennt sie auch *monosemiotische Stufe der Welt der Bilder*.

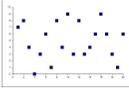
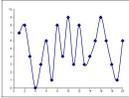
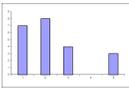
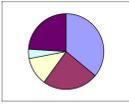
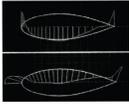
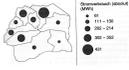
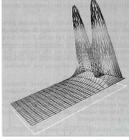
Bertin definiert acht visuelle Variablen eines graphischen Bildes, die für 2-dimensionale, statische Darstellungen gelten. Nicht alle Variablen eignen sich um bestimmte Eigenschaften darzustellen. Die vier Variablen Farbe, Muster (Textur), Richtung (Orientierung) und Form nennt Bertin die trennenden (selektiven) Variablen für graphische Bilder. Sie eignen sich besonders zum Trennen der Elemente. Sie sind flach, ohne Relief. Die Variablen des Bildes (Größe, Helligkeitswert, Position auf x- und y-Achse) stellen Strukturen dar und machen Formen auf dem Hintergrund sichtbar. Alle acht Variablen wirken spontan auf die Wahrnehmung. Für den Betrachter werden die Ordnung (ordinal) und das Verhältnisse (proportional) offensichtlich. Eine schlecht sichtbare Darstellung führt gegebenenfalls zu Fehlinterpretationen. Schlecht sichtbar bedeutet, dass sich einzelne Elemente nicht trennen lassen. Dabei gilt, dass undifferenzierte Elemente nutzlos sind und die Sichtbarkeit verschlechtern. Zu undifferenzierten Elementen gehören Elemente, die die gleichen Merkmale haben, die Verwendung einer ganzen Länge einer visuellen Variablen (z.B. komplette Skala von Schwarz bis Weiß), um Unterschiede sichtbar zu machen und bedeutungslose Elemente, die die visuelle Wahrnehmung stören (z.B. Verzierungen).

Daten lassen sich verschieden abbilden. Es gibt Abbildungen auf Position, Größe und Orientierung. Position oder Größenverhältnisse und Lokalisierung werden vom menschlichen visuellen Wahrnehmungssystem sofort verarbeitet bzw. am intensivsten wahrgenommen. Man verwendet Abbildung auf Struktur und Form, um Daten mit Ortsbezug darzustellen. Dadurch werden räumliche Strukturen wiedergegeben. Es werden Formen und Symbole zur Kodierung von Variablen benutzt. Farbe stellt bei der Visualisierung ein wichtiges Hilfsmittel dar. Vom Menschen werden Farben spontan wahrgenommen und auf einer sehr frühen Stufe der menschlichen Wahrnehmung erkannt. Sie wird als retinale Variable bezeichnet und lässt sich mit allen angesprochenen Visualisierungstechniken verbinden.

(nächste Seite: Übersicht über verschiedene Visualisierungsmethoden)

Quellen

- <http://cartographie.sciences-po.fr>, abgerufen am 30.07.2010
- Jacques Bertin: *Graphische Semiologie Diagramme, Netze, Karten*, De Gruyter-Verlag, 1974
- http://www.lwl.org/westfalen-regional-download/PDF/076n_Windjahre_mittel.pdf, abgerufen am 30.07.2010
- www.wetteran.de, abgerufen am 30.07.2010
- Wolfgang Müller, Heidrun Schumann: *Visualisierung: Grundlagen und Allgemeine Methoden*, Springer-Verlag, Berlin, 1999
- http://www.wetteran.de/maps/00_5-t.jpg, abrufen am 30.07.2010
- http://www.lwl.org/westfalen-regional-download/PDF/076n_Windjahre_mittel.pdf, Abb.1, abgerufen am 30.07.2010

Punktediagramm		Nutzt die Fähigkeit, relative Positionen einzuschätzen und vergleichen zu können.
Linien- /Kurvendiagramm		Nutzen die Fähigkeit, Positions- und Längendifferenzen einschätzen zu können.
Säulen- /Balkendiagramm		Unabhängige Variablen auf der x-, abhängige Variablen auf der y-Achse (Säulendiagramm). Beim Balkendiagramm sind die Achsen vertauscht.
Kreis- /Kuchendiagramm		Mit Kreisdiagrammen lassen sich Größenverhältnisse sehr gut darstellen.
Igelkurve		Abszissen müssen nicht rechtwinklig zueinander stehen. Eignet sich zur Darstellung von Größen im Kontext eines anwendungsspezifischen Bezugssystems.
Kreissignaturen		Kreissignaturen visualisieren lokale Eigenschaften mit Hilfe von Kreisgrößen.
Isoplethen/Isolinien		Kurven, die Punkte des Beobachtungsraumes verbinden, für welche gleiche Datenwerte vorliegen (Isolinien). Isoplethen sind eine Art der Isolinien.
Höhenfelder		Erweiterung der Kurvendiagramme im Raum.

5.2 Darstellung dreidimensionaler Körper und geometrische Operationen: Raytracing

Marc Milternberger, Leon Strauss
Betreuer: Stefan Thoß

Raytracing ist eine Methode, um möglichst naturgetreue Bilder aus einer virtuellen Welt mit verschiedenen Objekten (wie zum Beispiel Kugeln, Quader oder andere dreidimensionale Elemente, die auch Gegenstände oder Gebäude nachahmen können) zu erzeugen.

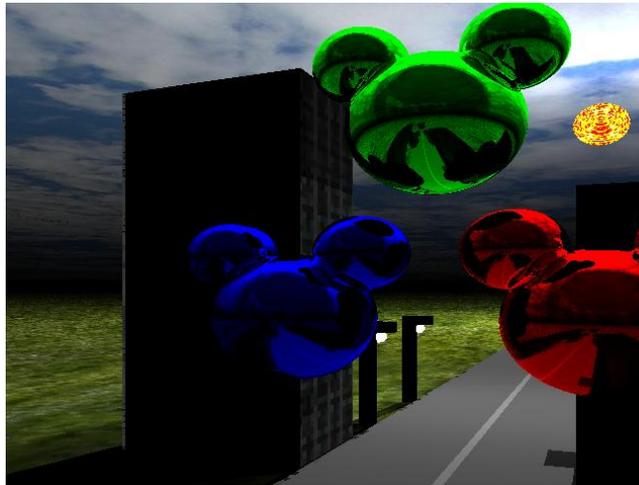


Abbildung 1: eine mit Raytracer erstellte Szene

Das Prinzip des Raytracers kehrt die Funktionsweise der Natur um: Während in der Wirklichkeit die Lichtstrahlen meist von der Sonne ausgehen, von Objekten reflektiert werden und in unser Auge gelangen, werden sie beim Raytracing vom Auge (der Kamera, die sich in der virtuellen Welt befindet), über eine Projektionsfläche geschickt und treffen auf Objekte in der Welt. Diese Vorgehensweise ist wesentlich effizienter, weil wir sonst sehr viele Strahlen verfolgen würden, die gar nicht in das Auge gelangen (und damit irrelevant sind). Es wird geprüft, wie der Kollisionspunkt eines Objektes mit dem Strahl aus der virtuellen Kamera zu den Lichtquellen steht: Wenn sich zwischen dem Kollisionspunkt und der Lichtquelle ein anderes Objekt befindet entsteht Schatten, da es nicht von dieser Lichtquelle beleuchtet wird.

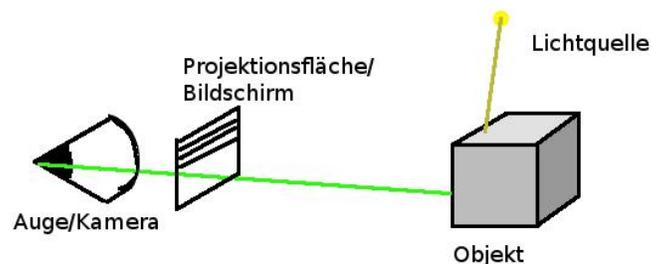


Abbildung 2: Funktionsweise eines Raytracers

Falls ein Objekt Licht reflektiert (wie beispielsweise Wasser oder ein Spiegel), wird ein weiterer Strahl ausgehend vom Kollisionspunkt ausgesandt und mit dem Originalstrahl verrechnet. Dabei kann ein Strahl auch mehrmals reflektiert werden.

Raytracing ermöglicht die Erstellung von sehr realitätsnahen Bildern: Im Gegensatz zu Techniken, die Spiele verwenden, um sehr viele Bilder in kurzer Zeit berechnen zu können, wird bei Raytracing die Physik nachgebildet. So ist beispielsweise eine Kugel beim Raytracing mathematisch perfekt und enthält keinerlei Ecken. Der Nachteil ist die lange Rechenzeit. Durch die Betrachtung des Lichts als Strahl werden zudem die Welleneffekte des Lichts missachtet, was dazu führt, dass spezielle physikalische Effekte wie Interferenz nicht dargestellt werden kann.

Ein weiterer Vorteil ist, dass ein Raytracer ziemlich einfach erweitert werden kann: Weiche Schatten, Texturierung (das „Umwickeln“ von Bildern um Objekte, um sie realistisch erscheinen zu lassen) und

viele weitere Features können mit wenig Aufwand in den Raytracer eingebaut werden. So kommt man der Realität immer näher. Grundlegende Voraussetzungen für die Umsetzung eines Raytracers sind ein grundlegendes Mathematikverständnis und Kenntnisse über Vektoren. Die Feststellung, ob ein Strahl ein Objekt schneidet, erfolgt mit Schulmathematik der zwölften Klasse: Ein Gleichungssystem wird erstellt, welches ausschließlich aus Variablen und Parametern besteht und aufgelöst. Im Prinzip ist das alles, was man für die Implementierung eines Raytracers benötigt.

Raytracing wird verwendet, wenn der Realitätsgrad gegenüber der Geschwindigkeit Priorität hat, wie beispielsweise bei professionellen Animationsfilmen. Meist wird auch eine Kombination aus Raytracing und anderen Visualisierungstechniken eingesetzt.

Quellen

- Bender/Brill: *Computergrafik*, München, 2006
- Dieter Fellner: *Computer-Grafik*, BI-Wiss.-Verlag, 1988
- Hoschek/Lasser: *Grundlagen der geometrischen Datenverarbeitung*, Stuttgart, 1992

5.3 Auge, Farbempfindung und Umsetzung auf dem Computer

Antje Loyal, Jan-Gunther Gosselke
Betreuer: Philipp Finke

Aufbau des Auges

Licht fällt durch die Pupille in das Auge ein geht durch die Linse und den Glaskörper, bis es auf die Netzhaut trifft. Die Linse ist durch einen Ringmuskel regulierbar und kann somit ihre Brennweite verändern und immer ein scharfes Bild auf die Netzhaut projizieren. Auf der Außenseite der Netzhaut befinden sich Sinneszellen und Photorezeptoren, die Sinneszellen lassen sich unterteilen in Stäbchen (110-125 Mio.) und Zapfen (4-7 Mio.). Dabei sind die Zapfen für die Farbwahrnehmung (photopisches Sehen, Tagessehen) und die Stäbchen für die Nachtwahrnehmung, d.h. Hell-Dunkel-Sehen verantwortlich. Der Blinde Fleck, wird so genannt, weil hier der Sehnerv das Auge verlässt und somit kein Platz für Photorezeptoren ist. In ihm werden die von den Ganglienzellen kommenden Nervenfasern des Auges gebündelt zum Gehirn geführt.

Da es weniger Neuronen als Photorezeptoren gibt, werden letztere zu sogenannten „Rezeptiven Feldern“ zusammengefasst. Diesen Prozess bezeichnet man als Signalkonvergenz. Den Bereich der Netzhaut (Retina), in dem sich die zusammengefassten Photorezeptoren eines Neurons befinden, nennt man sein rezeptives Feld. Die Felder nebeneinanderliegender Neuronen überlappen sich, daher sind einzelne Photorezeptoren mehreren Ganglienzellen zugeordnet. Durch Vergrößerung dieser Felder erhöht sich die Lichtempfindlichkeit, da dieselbe Information eines Photorezeptors nun von mehreren Zellen verarbeitet wird. In den Photorezeptoren löst Licht ein Aktionspotenzial aus, d.h. es entsteht eine geringfügig höhere Spannung als im Ruhezustand. Dies sorgt in den Ganglienzellen für elektrische Impulse. Dabei ist die Impulsfrequenz ein Maß für die Erregung, eine höhere Frequenz als die Ruhfrequenz (Erregung) bedeutet einen höheren Lichteinfall, eine niedrigere (Hemmung) einen geringeren.

Die Dreikomponenten-Theorie nach Young und Helmholtz

Der Physiker Thomas Young nahm erstmals an, dass das Auge verschiedene Arten von Zapfen (Sinneszellen) beinhaltet, die jeweils verschiedene Frequenz(Spektral-)bereiche des Lichts abdecken, den roten, den grünen und den blauen (RGB). Wenn durch die Addition der drei verschiedenen Farbreize

trotz unterschiedlicher Ausgangswerte in den einzelnen Summanden das gleiche Ergebnis herauskommt, so sind diese Reize für den Menschen nicht unterscheidbar. Dadurch lassen sich verschiedene Phänomene erklären, so z.B. die Farbfehlsichtigkeit (Zapfen einer bestimmten Farbgruppe fehlen, so dass z.B. Farben, die gleiche Rot- und Grün-Anteile besitzen und sich nur im Blau-Anteil unterscheiden, aufgrund fehlender „Blau-Zapfen“ nicht unterschieden werden können. Auch die Tatsache, dass man nach der Betrachtung eines roten Kreises auf einem weißen Blatt auf einmal einen grünen Kreis sieht, folgt daraus: Weiß sendet zwar rote, grüne und blaue Reizungen zu gleichen Teilen aus, jedoch sind die roten Zapfen von der vorherigen Anstrengung bereits „ermüdet“. Eine weitere Auffälligkeit besteht darin, dass eine weiße Fläche bei allen Farbstimmungen (warmes Kerzenlicht, kaltes Neonlicht etc.) gleich weiß aussieht: Die Zapfen stellen ihr Verhältnis immer auf die jeweiligen Lichtverhältnisse ein. Das wurde durch J. von Kries im Koeffizientensatz festgehalten, dem zufolge sich eine Farbstimmung durch drei Koeffizienten beschreiben lässt, nämlich diejenigen, die die Empfindlichkeitsänderungen der einzelnen Zapfen beschreiben.

Verschiedene Beobachtungen

Ab einer bestimmten Grenze der Bild-Wechsel-Frequenz sind Farbänderungen für den Menschen nicht mehr feststellbar. Selbiges gilt für Helligkeitsänderungen jedoch erst bei einer höheren Frequenz. Ähnlich verhält es sich bei räumlichen Konturen: Feine Hell-Dunkel-Unterschiede sind viel eher feststellbar als z.B. Rot-Grün-Unterschiede (z.B. bei gestreiften Strukturen). Außerdem ist die Grenzfrequenz bei Rot-Grün-Strukturen immer noch größer als bei Gelb-Blau-Strukturen. Daraus lässt sich schließen, dass diese einzelnen Informationen jeweils in verschiedenen Kanälen verarbeitet werden, also in Rot-Grün, Blau-Gelb und Hell-Dunkel-Kanälen, die wiederum jeweils abhängig von der zeitlichen und der räumlichen Wechselfrequenz der Farben/Helligkeit eingeteilt werden. Danach müssen sich auch die verschiedenen Reproduktionstechniken (Bildschirme, Drucker, usw.) richten.

Liquid Crystal Display

Liquid Crystals (Flüssigkristalle) sind Stoffe, die in einem bestimmten Temperaturbereich zwar flüssig sind, aber bestimmte Eigenschaften haben, die man sonst nur bei Kristallen findet. So können sie Doppelbrechungen zeigen, d.h. sie nehmen verschiedene Brechungsindizes für Licht unterschiedlicher Polarisation an. Beim LCD bringt man eine dünne Schicht eines Flüssigkristalls zwischen zwei Glasplatten, auf denen durchsichtige Elektroden angebracht sind, so lassen sich durch Variation der Spannung die optischen Eigenschaften dieser Flüssigkristallzelle verändern. Für Farbbildschirme benutzt man die gescherten oder gedrehten nematischen Flüssigkristalle. Sie bilden Schichten geordneter Moleküle, wobei die Vorzugsrichtungen benachbarter Schichten gegeneinander gedreht sind. Dadurch wird der Flüssigkristall doppelbrechend. Wird eine solche Flüssigkristallzelle zwischen zwei parallele oder gekreuzte Polarisatoren gebracht, so wird sie für durchgehendes Licht je nach Lage der Polarisationssebene (und damit der angelegten Spannung) transparent oder intransparent. Damit daraus ein Farbbildschirm wird muss es so viele unabhängig voneinander schaltbare Flüssigkristallzellen wie Bildpunkte geben. Hinzu kommen mosaikförmige Rot-, Grün- und Blaufilter, die die Farbe der jeweiligen Zelle bestimmen.

Vom Bildschirm zum Angezeigten - Die Computergrafik

Der große Vorteil der Computergrafik liegt darin, dass sich Daten wesentlich anschaulicher und informativer (als zum Beispiel eine Tabelle) anzeigen lassen. Durch eine grafische Darstellung kann die Übersichtlichkeit gesteigert werden (zum Beispiel durch Verwendung verschiedener Farben und Kontrasten) und die visuellen Fähigkeiten des Menschen werden besser genutzt. Innerhalb der Computergrafik haben sich mehrere eigenständige Teilbereiche gebildet, die grafische Datenverarbeitung, die Bilderverarbeitung und die Mustererkennung. Das Auge kann pro Sekunde 30-40 Millionen Bit an Informationen aufnehmen. Sind 7 Bit ein Zeichen und 5 Zeichen ein Word, so kann der Mensch

über diesen Kanal 48-72 Millionen Words pro Minute aufnehmen. An geschriebenen Infos kann er nur 600-1200 Words pro Minute aufnehmen.

Farbdruck

Beim Farbdruck werden Pigmente entsprechend den subtraktiven Grundfarben (Gelb, Cyan und Magenta) verwendet. Fast immer kommt als viertes Pigment Schwarz hinzu. Zwischenfarben entstehen durch das übereinander drucken der verschiedenen Druckfarben nach dem Prinzip der subtraktiven Farbmischung. (Gelb + Magenta = Rot, Magenta + Cyan = Blau, Cyan + Gelb = Grün). Voraussetzung für die Art der Farbmischung ist, dass die verwendeten Pigmente lasierend sind (so transparent, dass das Licht durch die Schichten bis zur Papierunterlage und wieder zurück an die Oberfläche gelangen kann). Da lasierende Druckfarben Lichtstreuend sind, ist das Ergebnis von der Reihenfolge abhängig, mit der die verschiedenen Farben gedruckt werden.

Schwarz als vierte Druckfarbe

Durch das übereinander drucken von drei bunten Farben erhält man kein wirklich unbuntes Schwarz. Durch ein Schwarzpigment als vierte Druckfarbe kann man die Grauwiedergabe (Graubalance) in den Schatten erheblich verbessern. Des Weiteren ergibt ein Schwarzpigment ein tieferes Schwarz, verbessert den Kontrast und reduziert Druckkosten.

Quellen

- Werner Backhaus: *Color vision: perspectives from different disciplines*, de-Gruyter-Verlag, 1998
- Heinwig Lang: *Farbwiedergabe in den Medien: Fernsehen, Film, Druck*, Muster-Schmidt-Verlag, 1995
- Dieter Fellner: *Computer-Grafik*, BI-Wiss.-Verlag, 1988

5.4 Erstellen von 3D-Bildern (Stereographie)

Philipp Risius
Betreuer: Stefan Thoß

Avatar - das ist der Titel eines der erfolgreichsten Kinofilme der Geschichte. Mit 2,8 Milliarden Dollar hat der Film so viel Geld eingespielt wie kein anderer zuvor. Es ist nicht nur die Geschichte des Films, die die Zuschauer in Scharen in die Kinos trieb. Avatar spielt in allen drei Dimensionen - ein Erlebnis, das nur mit spezieller Technik zu erreichen ist.

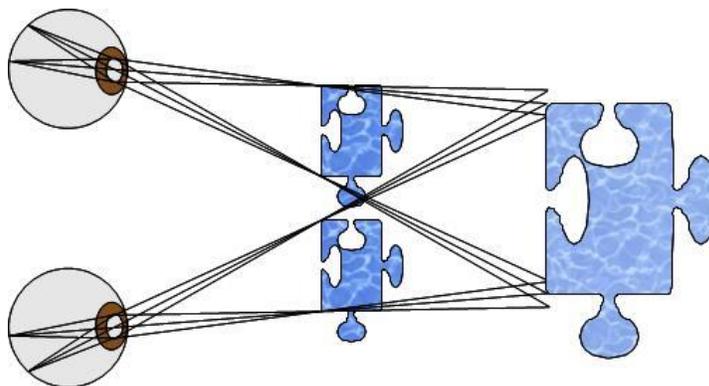
Doch was steckt hinter dieser Technik? Wie kann man Bilder und Filme in 3D aufnehmen?

Das Prinzip ist ganz einfach. Statt mit nur einer Kamera zu drehen, dreht man mit zwei Kameras gleichzeitig. Diese sind wie unsere Augen waagrecht nebeneinander angeordnet. Hier bietet sich eine Stereoschiene an, die für konstanten Abstand zwischen den Kameras sorgt und Höhenunterschiede minimiert. Doch es gibt noch weitere Hürden zu nehmen: Man muss die Aufnahme beider Kameras zum exakt gleichen Zeitpunkt starten, und beide Kameras müssen die gleichen Bewegungen vollführen, damit ein makellooses Bild entsteht.

Wenn der 3D-Film erst einmal aufgenommen ist, ergibt sich noch das Problem der Wiedergabe. Jedes Auge muss das für sich bestimmte Bild sehen, es darf nicht wie bei einem normalen 2D-Film beiden Augen das gleiche Bild gezeigt werden. Hierzu gibt es verschiedene Methoden:

Als einfachste Möglichkeit bieten sich Stereogramme an: Man ordnet die beiden Einzelbilder direkt nebeneinander an und betrachtet sie dann mit einer speziellen Blicktechnik, die auch in der Buchreihe „Das Magische Auge“ gefordert wird: Beim Parallelblick werden die Augen entspannt, so als

würde man ein weit entferntes Objekt betrachten. Das rechte Auge betrachtet nun das rechte Bild und das linke Auge das linke Bild. Beim Kreuzblick ist es gerade umgekehrt: Das rechte Auge betrachtet das linke Bild, das linke Auge das rechte Bild. Mit diesen Techniken entsteht ein virtuelles dreidimensionales Bild, beim Kreuzblick vor, beim Parallelblick hinter den Originalbildern.



Eine etwas kompliziertere, aber benutzerfreundlichere und platzsparende Technik sind Farbanaglyphen, die mit einem roten und einem cyan-farbenen (früher auch grün) Bild arbeitet. Um eine Anaglyphendarstellung zu erreichen, werden rote (rechtes Bild) bzw. grüne und blaue (linkes Bild) Farbanteile weggelassen und die Farbanteile der Einzelansichten kombiniert. Das fertige Bild kann nun mit einer Rot-Cyan-Brille betrachtet werden. Trotzdem müssen bei der Anaglyphentechnik einige Nachteile in Kauf genommen werden: So wirken die Farben unecht und Anaglyphenbilder und -filme lassen sich nicht ohne 3D-Brille betrachten.

Eine professionellere Methode sind Shutterbrillen. Diese verdunkeln mit Flüssigkristallen, wie sie auch im LCD-Fernseher eingesetzt werden, abwechselnd rechtes und linkes Auge, und zwar so schnell, dass der Zuschauer bei einer ausreichenden Bildrate lediglich einen kleinen Helligkeitsverlust bemerkt. An die Leinwand werden - zu den Brillen passend - abwechselnd Bilder für rechtes und linkes Auge projiziert. Das Ergebnis ist überwältigend, denn mit der XpanD-Technik - wie das Verfahren offiziell heißt - können 3-D-Bilder in realistischen Farben dargestellt werden. Allerdings sind recht teure Brillen vonnöten, um das Bild zu betrachten.

Neben den vorgestellten Methoden gibt es noch einige weitere, die jedoch teils noch nicht ausgereift sind. Hier ist zum Beispiel die Holografie zu nennen, die bisher nur einfarbige Bilder darstellen kann. Die Technik, die aktuell in großem Maßstab angewandt wird, ist die mit Polarisationsfiltern: Zwei Bilder werden komplementär polarisiert an eine matte Metallscheibe geworfen. Entsprechende Polfilter vor den Augen filtern für jedes Auge das andere Bild raus, sodass das richtige Bild zu sehen ist. Der Nachteil ist, dass der Kopf genau in der Bildebene gehalten werden muss, sonst entstehen „Geisterbilder“ und auf Dauer Kopfschmerzen. Polfilterbrillen werden zur Zeit im Kino für die 3D-Filme genutzt.

Wer auf seinem Heim-PC in 3D spielen will, sollte am ehesten die Anaglyphentechnik benutzen. Die Farben sind zwar weit von einem guten Eindruck entfernt, aber es gibt kostenlose Anaglyphentreiber und die Brillen kann man selbst aus blauen, roten und grünen Folien und ein wenig Pappe herstellen.

Wenn im Computer ein Spiel mit 3D-Ansicht berechnet werden soll, geschieht zuerst auch das, was in 2D passiert: Die Spieleumwelt wird auf eine Ebene projiziert. Ein beliebiger Punkt $P(x,y,z)$, der bei einer Kamera-Position von $(0,0,-a)$ auf die X-Y-Ebene projiziert werden soll (siehe Abb. 2). Doch will man wirklich 3D sehen, braucht man zwei Ansichten. Für diesen Zweck werden alle Objekte zunächst um den Augenabstand in x-Richtung verschoben und dann erneut projiziert.

Insgesamt betrachte ich die 3D-Technik als ausgereift, Heimbau-Anwendungen liefern bei geringen Kosten akzeptable Ergebnisse. Das größte Problem der 3D-Technik ist meiner Ansicht nach die geringe Verbreitung, nicht die Kosten oder die Qualität.

Quellen

- Bender/Brill: *Computergrafik*, München, 2006
- Hoschek/Lasser: *Grundlagen der geometrischen Datenverarbeitung*, Stuttgart, 1992
- c't Magazin: *3D neu entdecken*, Heft 15/2009
- c't Magazin: *Augen frei*, Heft 10/2010

5.5 Psychologische Aspekte von Farben

Alice Bertram
Betreuer: Philipp Finke

„Die Farben sind vom Hirn generierte Erlebnisquellen bloßer elektromagnetischer Strahlung in einer absolut farblosen Welt.“ (Eckard Voland)

Die beschriebene biologische „Übersetzung“ der Energie von Licht in Farbe dient zur besseren Orientierung in der Welt. Dass unsere Farbwahrnehmung nicht als Maß für den tatsächlichen Farbwert der Umwelt betrachtet werden kann, wird dann ersichtlich, wenn man bedenkt, dass es durchaus Tiere gibt, die ultraviolettes Licht als Farbe wahrnehmen. Entscheidend für die Wahrnehmung ist allerdings nicht nur der im vorangegangenen Referat von Antje Loyal und Jan-Gunter Gosselke behandelte objektive Prozess der Farbwahrnehmung, vielmehr kann, wie die Bilder von Lagerfeuer und Waldbrand suggerieren, ein annähernd identischer physiologischer Eindruck zu völlig unterschiedlichen Perzeptionen bzw. psychologischen Reaktionen führen.

So wirkt blau beruhigend, rot erregend und grün wird mit giftig assoziiert. Alles Eindrücke, die durch physiologisch nicht erklärbar, in der Praxis aber bekannt sind und genutzt werden.

Eine Kategorisierung, die sich mit dem Wahrgenommen befasst, ist die so genannte „Farbtemperatur“. Sie wird als Temperatur eines idealen schwarzen Strahlers in Kelvin angegeben und dient als Maß für die Farbe im Allgemeinen oder als Farbe von abgestrahltem Licht im Besonderen. Im niedrigen Temperaturbereich befinden sich die Rottöne, die über Weiß bei circa 6000 Kelvin ins Blaue übergehen. Farben niedriger Farbtemperatur werden psychologisch als warme Farben empfunden, hoher als kalt, wobei meist Orange als die wärmste und grünliches Blau als die kälteste Farbe genannt werden.

Ist Licht gefärbt, wird dies im Rahmen der präkognitiven Wahrnehmung ausgeglichen. Beispielsweise werden weiße Wände auch bei rötlichem Kerzenschein weiß wahrgenommen, obwohl eine Kamera (ohne Weißabgleich) eine rötliche Wand abbilden würde. Die Farbkonstanz zählt zur Metamerie: Unterschiedliche Farbzusammensetzungen können den gleichen Farbeindruck hervorrufen. So macht es für das Auge keinen Unterschied, ob es sich um monochromatisches (Licht der gleichen Wellenlänge) oder polychromatisches („Lichtmischung“ unterschiedlichen Wellenlängen) Licht oder auch die Reflexion von einer einfarbigen Fläche handelt. Violettes Licht ist das kurwelligste, wahrnehmbare Licht. Der gleiche Farbeindruck kann jedoch durch das Mischen von langwelligerem roten und blauem Licht hervorgerufen werden. Die körperliche und psychische Wirkung von Farben ist nicht zu unterschätzen. Insbesondere das Lichtspektrum kann gesundheitliche Effekte hervorrufen. Ein Beispiel dafür lässt sich auf folgender Website betrachten: <http://www.kommdesign.de/fakten/dusche.htm>

Anders als die beobachteten Wirkungen differieren Farbpräferenzen regional. Dieses Phänomen wird in der Arbeit „Farben in Europa“ von C. J. Häberle sehr anschaulich behandelt. Aus verschiedenen

Regionen Europas werden typische Farbschemen von Städten, Landschaft und Konsumgütern zusammengetragen, wodurch kulturelle Differenzen farblich aufgezeigt werden. Jedoch gibt es im Bezug auf individuelle Farbpräferenzen ein globales Schema: Am beliebtesten ist Blau, dann Rot, Grün, Violett, Orange und Gelb.

Bei der Visualisierung sind Farbpräferenzen jedoch eher sekundär, da der Fokus auf der Lesbarkeit liegt. Bei Texten ist zu beachten, dass der Kontrast zwischen Schrift und Hintergrund ausreichend hoch ist. Gleichzeitig sollte man aber nicht Schwarz und Weiß gegenüberstellen; es ist für das Auge angenehmer dunkelgrau auf hellgrauem Grund zu lesen. Im Allgemeinen sollte von stark gesättigten Farben abgesehen werden. Diese verfügen über eine starke Signalwirkung, die auch hinderlich sein kann. So treten nachweislich beim Arbeiten mit gelbem Papier oder Hintergrund mehr Fehler auf. Die Verwendung von Pastelltönen ist vorzuziehen, wobei eine Kombination von warmen und kalten Farben hier besonders ansprechend ist. Im Gesamten sollten jedoch für Textdarstellungen höchstens drei Farben verwendet werden, da zu viele Farben vom Inhalt ablenken. Werden Daten visualisiert, beträgt die in einer Graphik maximal zu verwendende Anzahl von Farben sieben. Mehr können bei der Betrachtung nicht im Kurzzeitgedächtnis behalten werden.

In der Studie von S. Garlandini und S. I. Fabrikant „Evaluating the Effectiveness and Efficiency of Visual Variables for Geographic Information Visualization“ gibt es unter den Probanden den allgemeinen Konsens, dass Farben ansprechender als Grautöne wirken, aber das Auge anstrengen. Abschließend muss noch gesagt werden, dass es keine ideale Farbkombination gibt, lediglich obig genannte Richtlinien. Es muss je nach gewünschtem Effekt und Anwendungsgebiet abgewogen werden.

Quellen

- <http://www.dma.ufg.ac.at/assets/15518/intern/farbtemperatur.gif>, Zugriff am 11.08.2010
- <http://www.managementpro.nl/wp-content/uploads/2009/10/bush-fire.jpg>, Zugriff am 11.08.2010
- http://en.sauerland.com/var/gallery/storage/images/intranet/startseite/material_zum_sauerland_wanderfestival/material_zum_sauerland_wanderfestival/lagerfeuer/285656-2-ger-DE/lagerfeuer.jpg, Zugriff am 11.08.2010

5.6 Visualisierung großer Datenmengen und multivariater Daten

Thore Walch, Julian Corbet
Betreuer: Florian Kroh

Visualisierungen erlauben es dem Nutzer, sich schnell in komplexe Zusammenhänge einzuarbeiten und erlauben so die explorative Analyse der verarbeiteten Daten. Bei zunehmend größeren und komplexeren Daten stoßen konventionelle Visualisierungsmethoden jedoch schnell an ihre Grenzen. Besonders multivariate Daten, d.h. Daten, die von mehr als zwei Variablen abhängen, stellen eine Herausforderung dar. Deshalb wollen wir hier auf die theoretischen Grundlagen zur Visualisierung großer Datenmengen eingehen und möchten dazu Panel-Matrizen, Streckenzüge, Ikonen-, Netzwerk- und Pixelbasierte Techniken vorstellen.

Bei Panel-Matrizen werden durch Projektionen oder Schnitte 2-dimensionale Darstellungen eines multivariaten Merkmalsraumes gewonnen, die jeweils zwei der Variablen visualisieren. Durch Anordnung aller Kombinationen aller Variablen in einer Matrix lässt sich ein Überblick über den gesamten Merkmalsraum gewinnen. Ein Beispiel dafür ist die Scatterplot-Matrix, in der mehrere Punktwolken kombiniert werden (siehe Abbildung). Eine andere Methode sind Streckenzüge, dort wird für

jede Variable des m-dimensionalen Merkmalsraums eine Achse konstruiert und passend zur Variablen skaliert. Die einzelnen Datensätze werden auf den Achsen aufgetragen und zu einem Streckenzug verbunden. Die Achsen können parallel oder sternförmig angeordnet werden. Darüber hinaus können die Achsen mit Histogrammen kombiniert werden, um zusätzlich die Häufigkeitsverteilung von jedem Wert zu visualisieren.

Bei der Visualisierung mit Ikonen, auch Glyphen genannt, werden kleine Graphiken genutzt, in deren Parameterwerte die Merkmalsausprägungen codiert werden. Bei sehr großen Datenmengen entstehen dabei Texturen, bei denen einzelne Datensätze nur schwer auszumachen sind.

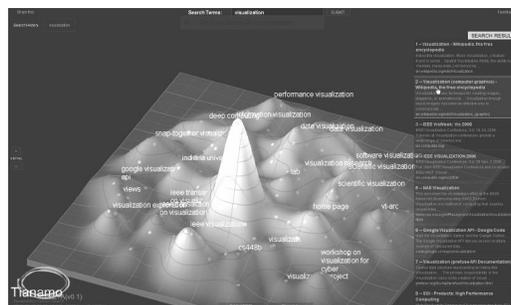
Bei pixelbasierten Techniken wird jedem Datensatz genau ein Pixel zugeordnet; die Merkmalsausprägungen werden farblich codiert. Auf diese Weise lässt sich platzsparend eine große Menge an Daten visualisieren. Die Pixel können dann auf folgende Arten angewandt werden: Zeilenweise, anhand einer Raumkurve oder rekursiv. Bei der Recursive-Pattern-Technik wird zunächst eine Gruppe von Daten zu einer tabellarischen Grafik, Pattern genannt, gebündelt. Dieses Pattern ist dann wiederum Teil eines übergeordneten Pattern usw. Diese Technik ist dem Betrachter nur dann schlüssig, wenn diesem das Verfahren bekannt ist. Bei Verzweigungsbaumdaten werden die Daten hierarchisch angeordnet. Eine Möglichkeit ist, dabei von Knoten auszugehen, sodass verschiedene Datenebenen entstehen.

Eine andere Möglichkeit sind Treemaps, bei denen Rechtecke einzelne Bereiche repräsentieren, in denen sich wiederum Bereiche befinden. Treemaps kann man zum Beispiel für die Visualisierung von Festplatten verwenden. Neben der hierarchischen Anordnung von Daten bietet sich auch die Möglichkeit, sie in einem Netzwerk darzustellen. Dabei ist jeder Punkt des Datensatzes ein Knotenpunkt und in dem Netzwerk mit anderen verbunden.

Im Folgenden möchten wir nun drei Projekte vorstellen, die Visualisierungstechniken zur Anwendung bringen.

Tianamo

Tianamo ist ein Internetsuchdienst, der durch die Darstellung der Suchergebnisse in einer intuitiven 3D-Grafik besticht. Dabei werden die Suchergebnisse mithilfe von Algorithmen nach Tags, Schlüsselwörtern und Links durchsucht, sodass Ergebnisse in Clustern zusammengefasst auf der 3D-Karte auftauchen. Die Anzahl der Treffer zu einem Schlüsselwort bestimmt dabei die Höhe der „Berge“; rechts neben der Grafik findet sich ein Vorschaufenster mit einer konventionellen Darstellung der Suchergebnisse.



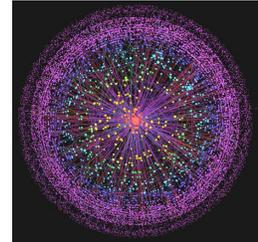
Smalltalk

Smalltalk ist ein Dienst, der aufgrund von Tweets versucht, das Wetter an einem Standort innerhalb der USA zu bestimmen. Dabei werden die Kurznachrichten von verschiedenen Usern nach Tags durchsucht, die auf die Wetterlage hindeuten. Das Tool verfügt über eine Zoomfunktion, sodass auch kleinere Orte gefunden werden können. Zur Darstellung der Häufigkeit der Tweets werden Kreissignaturen genutzt, die Anzahl der Messages bestimmt dabei die Größe des Kreises. Die Farbe kodiert

das aktuelle Wetter. Das Programm ist jedoch sehr ungenau, es bezieht Nachrichten mit ein, die sich gar nicht mit dem Wetter beschäftigen, sondern nur passende Wörter verwenden.

Internetvisualisierung

Die hier dargestellte Visualisierung des Internets stammt aus dem Jahr 2008. Dabei wird die Struktur des Internets analysiert, indem die Datenmenge auf die wichtigsten Knotenpunkte reduziert wird. Dann wurden die Daten nach Traffic und anhand der zentralen Router/Rechner in der Mitte eines Kreises platziert; durch Sortierung wird die Übersichtlichkeit maßgeblich erreicht. Im zweiten Schritt wurden die Knotenpunkte nach Traffic eingefärbt und die Verbindung der Rechner untereinander eingezeichnet, wiederum nach Traffic eingefärbt. Die fertige Grafik bietet einen schnellen Einblick in die Struktur des Netzwerks, die Visualisierung bewährt sich aufgrund ihres intuitiven Zugangs.



Entscheidend für Visualisierungen ist ihre Usability, also ob der Nutzer schnell und intuitiv genau die gewünschten Informationen aus einer Visualisierung ziehen kann. Gute Visualisierungen, wie zum Beispiel Tianamo, geben dem Nutzer daher einen echten Mehrwert, Visualisierungen wie Smalltalk hingegen lassen sich kaum produktiv nutzen und müssen als Spielerei abgetan werden. Daher ziehen wir das Fazit, dass nicht zu jeder Zeit Visualisierung nötig ist, manchmal ist sie jedoch klar kontraproduktiv; ein kritischer und bedachter Umgang ist vonnöten.

Quellen

- Wolfgang Müller, Heidrun Schumann: *Visualisierung: Grundlagen und Allgemeine Methoden*, Springer Verlag, Berlin, 1999
- Thomas Weinhold, Bernard Bekavac, Sonja Hierl, Sonja Öttl, Josef Herget: *Handbuch Internet-Suchmaschinen*, AKA Verlag, 2009
- *Beispiele für Visualisierungstools*, Hrsg. Institut für Bibliotheks- und Informationswissenschaft (IBI) der Humboldt-Universität Berlin, PDF-Dokument, URL: <http://www.ibi.hu-berlin.de/infokomp/materialien/tools/linktools/visualisierung>, Version vom 03.09.2008
- <http://www.ofoghlu.net/log/Lanet-vi-Internet-Map.jpg>

6 Geschichtskurs

Geschichtswissenschaft wozu?

Wohl die allermeisten Menschen reden vom Ersten Weltkrieg, ohne sich zu fragen, ob es überhaupt ein Weltkrieg war, und wenn, ob es auch wirklich der Erste Weltkrieg war. Schließlich: Warum ist er eigentlich ausgebrochen? Bei den beiden ersten Fragen geht es um Fakten, bei der dritten um Erklärungen. Damit sind die vielleicht grundlegendsten Arbeitsfelder professioneller Historiker benannt. Denn insbesondere auf Grundlage von ihnen festgestellter Fakten erklären sie historisches Geschehen. Aber gelingt ihnen dies überzeugend? Erweisen sich vermeintlich harte historische Fakten nicht immer wieder als bloße Deutungen? Immerhin erachten manche Historiker den ersten bereits als siebten oder achten Weltkrieg! Und die Gründe für seinen Ausbruch sind nach wie vor höchst umstritten. Damit ist auch schon beschrieben, worum es in unserem Kurs letztlich geht: Was kann Geschichtswissenschaft als Wissenschaft leisten? Ja, handelt es sich überhaupt um eine Wissenschaft (aber was ist Wissenschaft überhaupt?) oder nicht vielmehr um eine Art Kunst? Hierüber streiten sich nicht nur Historiker spätestens seitdem sich ihre Disziplin im 19. Jahrhundert als (so genannte?) Wissenschaft herausgebildet hat. Wir werden solche fundamentalen Fragen behandeln, uns dabei intensiv mit der Arbeitsmethode von Historikern, der so genannten historisch-kritischen Methode, befassen, und zudem analysieren, wozu die Befassung mit Geschichte überhaupt gut ist.

Kursleitung

apl. Prof. Dr. Ch. Berger Waldenegg, Universität Heidelberg

6.1 Einleitende Sitzung

Christoph Berger Waldenegg

Im Zentrum dieser Sitzung standen sechs Aspekte: Erstens lernten wir uns ein wenig näher kennen, stellen uns also gegenseitig vor, wobei es nicht zuletzt um schulische und außerschulische Interessengänge ging. Zweitens besprachen wir unsere Erwartungen an diesen Kurs. Nicht zuletzt wurde erwartet, sich mit den spezifischen heuristischen Methoden der Geschichtswissenschaft näher vertraut machen zu können. Drittens erörterten wir unsere Motivationen für die Beschäftigung mit Geschichte und damit auch für die Geschichtswissenschaft. Es stellten rasch ganz unterschiedliche Motivationen heraus. Die relative Mehrheit der Kursteilnehmer nannte als primäre Motivation die Hoffnung bzw. die Überzeugung, aus Kenntnissen über die Vergangenheit etwas für heute und für die Zukunft lernen zu können. Viertens besprachen wir unser Kursprogramm sowie die mit dem Kurs verfolgten Zielsetzungen und fünftens den grundsätzlichen Ablauf der einzelnen Sitzungen: kurze inhaltliche Einführung durch den Kursleiter, danach zumeist Referat eines Kursteilnehmers (gehalten auf Basis eines Textes), anschließend allgemeine formal-inhaltliche Bemerkungen zu dem Referat und schließlich dessen inhaltliche Diskussion (auf Basis eines geraume Zeit vor dem Seminarbeginn verschickten Readers, der sämtliche, für den Kurs relevante Texte enthielt). Im Übrigen wurde zu Beginn jeder Sitzung (natürlich mit Ausnahme der ersten Sitzung) der Inhalt der jeweils vorangegangenen Sitzung kurz zusammengefasst und gegebenenfalls wurden noch offene Fragen erörtert. Ganz am Ende unserer ersten Sitzung hat jeder für sich eine Antwort auf folgende Frage auf einen Zettel notiert: „Was kann Geschichte als Wissenschaft leisten?“ Die Zettel sammelten wir ein und verwahrten sie in einer Schachtel. In der letzten Sitzung holten wir diese Zettel dann wieder hervor, um festzustellen, ob sich unsere diesbezüglichen Meinungen oder auch Überzeugungen in der Zwischenzeit geändert hatten.

6.2 Geschichte und Geschichtsschreibung

Alina Ecke

Betreuer: Christoph Berger Waldenegg

Was ist das beides überhaupt?

In dieser Sitzung ging es nicht zuletzt darum, wie Geschichte definiert werden kann. Dazu hat Alina das erste Referat gehalten. Zuvor diskutierten wir allerdings über die Sinnhaftigkeit von Definitionen generell, angesichts der Tatsache, dass sich über Definitionen bekanntlich oftmals trefflich streiten lässt. Handelt es sich bei ihnen also um eine Frage der „Wahrheit“ oder aber nicht vielmehr lediglich um eine der „Zweckmäßigkeit“, wie der Soziologe und Wissenschaftstheoretiker Hans Albert 1995 feststellte? Anders gefragt: Müssen Definitionen möglichst präzise sein? Ganz einigen konnten wir uns hierbei nicht, womit wir uns freilich in bester Gesellschaft befinden. Denn auch so genannte Experten streiten hierüber seit langem. Einigung herrschte freilich darüber, dass ein Historiker seine zentralen Begriffe schon deshalb definieren sollte, damit seine Leser wissen, wie er sie verwendet.

Die Basis des Referates von Alina bildete ein Text des 2006 verstorbenen britischen Historikers Arthur Marwick. Alina legte zunächst seine Interpretation des Begriffes „history“ (Geschichte) im Zusammenhang mit dem Begriff „past“ (Vergangenheit) dar, wobei Marwick beides auf die Zeit eingrenzt, seit der es Menschen gibt. Was also bedeutet Geschichte laut ihm? Er differenziert sechs Bedeutungen: (1) (tatsächlich) in der Vergangenheit Geschehenes; (2) Erforschung dieser Vergangenheit mittels einer bestimmten Methode (sorgfältiges Quellenstudium) und bestimmter Zielsetzungen, wie nicht zuletzt die Aufdeckung bzw. Entlarvung historischer Mythen; (3) Interpretation(en) der dabei erzielten Ergebnisse; (4) (an)gesammeltes, oftmals provisorisches und manchmal widersprüchliches Wissen über die Vergangenheit; (5) noch heute bzw. zu einer bestimmten Zeit für bedeutsam/aktuell erachtete Aspekte der Vergangenheit; (6) Geschichte als wie auch immer gearteter/strukturierter Prozess. Seine daraus resultierende eigene Definition von Geschichte lautet: „(...) the past as we know it [or, if a more cautious phrasing is preferred, 'what we know of the past'] from the interpretations of historians based on the critical study of the widest possible range of relevant sources, every effort having been made to challenge, and avoid the perpetuation of, myth.“ Diese Definition ist relativ detailliert. Üblicherweise wird Geschichte nämlich - zurückgehend auf die Antike - so definiert, wie es bereits Gottfried W. Hegel in seinen Vorlesungen über die Philosophie der Weltgeschichte getan hat: „Geschichte vereinigt in unserer Sprache die objektive sowohl und subjektive Seite und bedeutet ebensowohl die *historiam rerum gestarum* [die Erzählung geschehener Dinge, von Handlungen] als die *res gestas* [Handlungen, Taten] selbst.“ Letzteres wäre demnach die Vergangenheit, unter Ersterem ließe sich hingegen auch die Tätigkeit von Berufshistorikern fassen. Zuweilen werden auch drei Bedeutungsebenen unterschieden: (1) „Sachverhalt“ (*res gestae*), (2) „Darstellung“ (*historia rerum gestarum*) und (3) „Wissenschaft als 'G.[eschichte]'.“ (A. Verlaart, 2004). Alina pflichtete Marwicks zuvor genannter Definition bei, wobei sie sich darüber bewusst war, dass man hinterfragen könnte (und dies geschieht auch), ob wir „wirklich etwas über unsere Geschichte wissen“ können. Denn schließlich müssen auch die so genannten harten Fakten (hierzu noch später mehr) erst einmal von Historikern als solche herausgearbeitet werden aus dem vorhandenen Quellenmaterial. So gesehen, ist selbst der einfache und scheinbar schlicht wahre Satz „Willy Brandt hat gelebt.“ zunächst einmal eine (Re-)Konstruktion.

Ausgehend von diesem Befund, drehte sich die anschließende Diskussion nicht zuletzt um die Frage, ob es sinnvoller sei, von „Geschichtswissenschaft“ oder von „Geschichtsschreibung“ zu sprechen. Einige Teilnehmer plädierten für den letzteren Begriff, weil er den Grad an Wissenschaftlichkeit dieser Disziplin etwas niedriger hängt. Allerdings hängt die Frage der adäquaten Bezeichnung auch von

der gewählten Definition von Wissenschaft ab. Versteht man darunter etwa notwendigerweise auch die Durchführung von Experimenten, so kann die Disziplin keinesfalls als Wissenschaft bezeichnet werden. Wählt man hingegen eine Definition, die auf diesen Aspekt verzichtet und sich mit Punkten wie logische Konsistenz, intersubjektive Nachvollziehbarkeit und andere mehr gleichsam begnügt, so wäre dies doch möglich. Wie auch immer: Im weiteren Verlauf des Kurses sind wir immer wieder auf diese Frage zurückgekommen.

6.3 Funktionen von Geschichte und Geschichtsschreibung

Samira Hoock

Betreuer: Christoph Berger Waldenegg

Wozu soll das denn überhaupt gut sein, was Historiker da so treiben?

Schon in der einleitenden Sitzung herrschten unter den Teilnehmern durchaus strittige Ansichten über die Frage, wozu die berufsmäßige, letztlich aber generell die Beschäftigung mit Geschichte gut sein soll. Genauer erörtert haben wir die Frage auf Basis eines Referates von Samira bzw. eines auch in Veranstaltungen in Universitäten gerne benützten grundsätzlichen, teilweise speziell auf den bundesdeutschen Kontext bezogenen Textes des 1992 verstorbenen Historikers Thomas Nipperdey. Er trägt den in Anlehnung an F. Nietzsche formulierten Titel „Neugier, Skepsis und das Erbe. Vom Nutzen und Nachteil der Geschichte für das Leben.“

Nipperdey legt dar, wie sich die der (Beschäftigung mit) Geschichte zugeschriebenen Funktionen im Laufe der Zeit teilweise grundlegend verändert haben. Einst diente sie vor allem als Gründungs- und Legitimationsgeschichte und behielt zudem durch lange Zeit ihre schon von Cicero erkannte Funktion als „Lehrmeisterin des Lebens“ („*historia magistra vitae*“) bei. Demnach ließ sich aus Geschichte also etwas lernen. Im Zuge der zunehmenden „Verwissenschaftlichung“ der damit verbundenen Disziplin hat Geschichte diese Funktion aber zunehmend eingebüßt. Hinzu kamen nicht zuletzt in Deutschland einschneidende desillusionierende historische Erfahrungen (vor allem Stichwort Auschwitz), die zu zeigen schienen, dass Menschen nichts aus der Geschichte gelernt haben oder doch wenigstens nichts für immer. Aber viele sind dennoch der Meinung, dass uns Geschichte dabei hilft, zu verstehen, warum unsere Gegenwart so ist wie sie ist.

Insgesamt unterscheidet Nipperdey diachron wenigstens acht Funktionen von Geschichte: (1) Geschichte als bloße „Erinnerung“; (2) „Gründungsgeschichten“ bzw. Geschichte als „Legitimation“; (3) Geschichte als „Lehrmeisterin für das Leben“, (4) Geschichte als „Tradition“; (5) Geschichte als „Wissenschaft“, eine Entwicklung, die sich seit dem 19. Jahrhundert vollzieht.; (6) Geschichte als „Lebensmacht“; (7) Geschichte als Begründerin von „Ziele(n) und Normen“; (8) Geschichte als Orientierungsgeberin für die „Zukunft“. Er erwähnt aber noch eine weitere Funktion, die - so wichtig sie auch ist (was auch unserer Auffassung entsprach) - offenbar so selbstverständlich erscheint, dass sie oft gar nicht eigens erwähnt wird: eben Neugier, wobei hier auch an Freude, an Spaß gedacht werden kann.

In der Diskussion sprachen wir unter anderem über ein Zitat J. Burkhardts: „Wir wollen durch Erfahrung nicht sowohl klug für ein anderes Mal, als vielmehr weise für immer werden.“ Nicht wenige Teilnehmer stimmten dieser These zu, die letztlich wohl so zu verstehen ist, dass der Mensch also nichts Konkretes, unmittelbar Anwendbares aus der Vergangenheit lernen könne. Andere stritten dies ab. Insgesamt gesehen, schien die Auffassung vorherrschend, dass Menschen - wenn überhaupt - nur vorübergehend etwas aus der Geschichte lernen können. Anders gesagt: Einmal Gelerntes und

auch Funktionierendes mag sich langfristig als nicht mehr funktionell erweisen. Beispielhaft diskutierten wir diese These an Hand der nicht-Volkswahl des Bundespräsidenten: diese Verankerung im Grundgesetz bildete eine Reaktion auf die (vermeintlich) negativen Konsequenzen, welche die Volkswahl des Reichspräsidenten in der Weimarer Republik zeitigte. Ob ein Verzicht auf die Direktwahl des Bundespräsidenten aber heute noch erforderlich ist?

Christoph hat uns abschließend ein von ihm sozusagen gebautes Haus der Geschichte vorgestellt. Darin sind ganz verschiedene mögliche Funktionen von Geschichte versammelt, jede in einem eigenen Zimmer mit jeweils einem Fenster (wobei sich der Leser die Fensterrahmen dazu denken muss). Als nicht eigens angeführtes Fundament des Hauses dienen Neugier, Freude und/oder Spaß. Wer das Haus betritt, kann sich seine eigene Funktionsmischung gleichsam kochen und überlegen, was für ihn am Ende herauskommt: Wissen, Klugheit, Weisheit, vielleicht am Ende auch gar nichts Sinnvolles? Auszuschließen ist dies nicht, meinen doch manche, durchaus ernst zu nehmende Wissenschaftler (vor allem Wissenschaftstheoretiker), dass Historiker mehr oder minder bessere (oder auch schlechtere) Romanerzähler sind!



6.4 Historiker, ihr Arbeitsmaterial und ihre Arbeitsmethoden in der Theorie

Martin Müller
 Betreuerin: Constanze Thomas

Wie und womit arbeiten Historiker eigentlich normalerweise?

Martin hat sein Thema an Hand eines Kapitels aus dem speziell in Einführungsseminaren recht oft verwendeten Buches Einführung in die Geschichtswissenschaft von Volker Sellin (geb. 1938) erörtert. Sellin bemüht sich zunächst um eine genauere Definition des Begriffes Quelle. Sie kann auf einer metaphorischen sowie auf einer realen Ebene erfolgen. Metaphorisch betrachtet, wecke der Begriff

Assoziation an eine klare Wasserquelle, aus der „geschöpft“ werden könne. Für einen Wissenschaftler seien Quellen aber Schriftstücke, Gegenstände sowie Tatsachen. Dazu führt er die Definition seines Kollegen P. Kirn an, die er für mehr als adäquat erachtet: Demnach sind Quellen „alle Texte, Gegenstände oder Tatsachen, aus denen Kenntnis der Vergangenheit gewonnen werden kann“. Was dabei Tatsachen anbetrifft, so würden diese oftmals nicht als solche erkannt oder nachvollzogen. Da aber prinzipiell alles noch heute Bestehende (etwa Bräuche und Traditionen) einer historischen Entwicklung geschuldet sei, die ergründet werden müsse, seien auch Tatsachen als Quellen anzusehen.

Anschließend beschäftigt sich Sellin mit der Frage, wie vorliegende Quellen analysiert werden können: Zunächst sei deren Echtheit und Aussagekraft zu prüfen. Sinnvoll und gebräuchlich sei deshalb die Aufgliederung der Quellen in *Überrest* und *Tradition*. Überreste sind demnach alle aus dem Alltagsleben der Vergangenheit zufällig erhalten gebliebene Zeugnisse. Tradition seien absichtlich verfertigte Quellen, um nachfolgenden Generationen Informationen mitzuteilen oder zu bewahren. Überschneidungen zwischen beiden Kategorien seien selbstverständlich, so z.B. bei Akten und Verwaltungsschriften, die mit dem Zweck angelegt wurden, Informationen mitzuteilen und aufzubewahren, dies aber für einen praktischen und „alltäglichen“ Zweck. Probleme ergeben sich bei dieser Aufgliederung bei Tagebüchern, wie unsere anschließende Diskussion ergab. Eine Einordnung solcher Quellen in Überrest bzw. Tradition kann wohl zumindest meistens deshalb nicht klar gelingen, da kaum festzustellen ist, ob Tagebuchverfasser Einträge schon mit Blick auf die Nachwelt (und seien es auch nur die eigenen Kinder) vornehmen oder nicht.

Wichtig ist außerdem, dass eine Quelle selbst dann von Belang sein kann, wenn zu einem bestimmten historischen Aspekt eine noch aussagekräftigere Quelle existiert: denn erstens können sich trotzdem neue Fragestellungen aus ihr ergeben, und zweitens können spätere Historiker durch neue/andere Perspektiven und/oder Fragestellungen neue Interpretationen und Erkenntnisse aus dieser Quelle ziehen. Eine Quelle sei, so Sellin, niemals „leer“ oder „ausgelesen“. Zuletzt erläutert er den Nutzen, den Aufbau und die Vorteile quellenkritisch aufbereiteter Quelleneditionen. Sie würden dem Historiker ihre Arbeit wesentlich erleichtern, da sie von den Herausgebern unter anderem zeitlich eingeordnet, leserlich gemacht und mit einem Register versehen würden. Allerdings seien Quelleneditionen stets unter bestimmten Gesichtspunkten publiziert, weshalb sie z.B. kaum einmal sämtliche potentiell relevante Quellen zu einem Thema enthalten.

Ergänzend zu Sellins Text ist mit Blick auf die Quellenanalyse noch die so genannte historisch-kritische Methode anzuführen, vereinfacht auch als *W-Fragen-Methode*. Schematisch kann sie in etwa wie folgt dargestellt werden:

HISTORISCH-KRITISCHE METHODE	
WAS?	Inhalt
WER?	VerfasserIn/VerfasserInnen
WANN?	Zeitpunkt Entstehung
WO?	Ort Entstehung
WIE?	allgemein → Stil speziell → objektiv, subjektiv
WARUM?	Zielsetzung(en)
FÜR WEN?	Zielgruppe(n)
WORIN?	Art der Quelle
IN WELCHEM ZUSTAND? <small>27.10.2008</small>	Komplett oder bruchstückhaft, etc. pp. ¹⁹

Die möglichst zuverlässige, freilich nicht immer zu leistende Beantwortung dieser Fragen bietet eine ebenso unerlässliche wie hilfreiche Grundlage zur Bearbeitung von Quellen. Dabei können - je nach Fragestellung - auch ursprünglich als Forschungstexte verfasste Arbeiten zu einer Quelle werden. An Quellen lassen sich noch weitere Fragen stellen: Wie werden etwa Metaphern verwendet und worin besteht deren spezifische Funktion? Was für einen „mode of emplotment“ (gleichsam dramaturgische Verkodierung) verwenden Historiker - bewusst oder unbewusst? (siehe hierzu im einzelnen M. Dobson/B. Ziemann, 2009)

Martin zufolge können selbst manipulierte, ja sogar ganz gefälschte Quellen wichtige Aussage enthalten. Diese These fand Zustimmung in der anschließenden Diskussion. Als Beispiel nannte er die Fotografie einer Rede Lenins, an dessen Rednerpult im Original Trotzki stand. Unter J. Stalin jedoch wurde dieser aus dem Foto retuschiert, um seine Rolle in der russischen Oktoberrevolution zu dementieren. Daraus können wir z.B. etwas über den Umgang des damaligen Regimes bzw. Stalins mit Menschen lernen, die in Ungnade gefallen waren.

6.5 Historiker, ihr Arbeitsmaterial und ihre Arbeitsmethoden in der Praxis

Christoph Berger Waldenegg

Was können Historiker nun wirklich mit Hilfe der Quellen herausfinden?

Diese Sitzung fand ohne Referat statt. In der vorherigen Sitzung hatten wir uns ausführlich mit theoretisch-methodischen Aspekten der Quellenanalyse beschäftigt. Nunmehr wollten wir unsere dabei gewonnenen Erkenntnisse an Hand eines konkreten Fallbeispiels umsetzen, betrieben also konkrete Quellenanalyse. Dabei ging es um das Thema „Die Bombardierung von Dresden in der Nacht vom 13. auf den 14. Februar 1945“. Bekanntlich starben dabei bis zu 25.000 Menschen (nach neuesten Forschungen), große Teile der Stadt und dabei wiederum auch der Altstadt wurden zerstört.

Dazu lasen wir mehrere Quellen, um sie anschließend mittels der W-Fragen-Methode zu analysieren. Dabei wollten wir erkennen, wie viel einigermaßen Zuverlässiges wir dadurch über die Quellen herausfinden können, in welcher Hinsicht wir noch Zusatzinformationen benötigen würden (die in der historiographischen Praxis nicht immer vorliegen) und welche Fragen vielleicht für alle Zukunft nur sehr unsicher, wenn überhaupt beantwortet werden können.

Insbesondere interessierte uns die zeitweise insbesondere in der Öffentlichkeit heftig diskutierte Frage, ob die Alliierten während des zweiten Weltkrieges auch Tiefflieger eingesetzt haben. Dies wurde und wird in Zeitzeugenberichten dies nicht selten behauptet. Eine speziell auch dazu eingesetzte Historikerkommission ist in ihrem offiziellen, 2010 vorgelegten Abschlussbericht jedoch zu dem Ergebnis gekommen, dass dies nicht der Fall gewesen sein dürfte. Nun handelte es sich bei zwei der insgesamt drei uns vorliegenden Quellen um zeitlich erst mit großem Abstand verfasste Erinnerungsberichte, wobei es Historiker überhaupt sehr, sehr häufig mit Erinnerung zu tun haben. Gegenüber jeglicher Erinnerung besteht aber ein „Anfangsverdacht“ (J. Fried, 2004). Allerdings hatten wir diesbezüglich auch folgende Feststellung Nipperdeys in Erinnerung: „(...); die Historiker belehren uns, daß unsere Erinnerungen an die Nazizeit oder an die Nachkriegszeit oder gar an die Weimarer Republik 'falsch' sind und daß sie es besser wissen als wir, die sich noch erinnern.“ Hierüber diskutierten wir des Längeren und stellten unter anderem fest, dass wohl oft eine mehr oder minder große und unüberbrückbare Kluft vorliegt zwischen dem, was Zeitzeugen von einem Ereignis erinnern, und dem, was Historiker über eben dieses Ereignis nachträglich feststellen. Ob allerdings der Historiker

im Zweifelsfall recht hat, wie Nipperdeys Zitat suggeriert, ist eine andere Frage. Zudem gibt es weder die Erinnerung an ein Ereignis noch die historiographische Beurteilung eines Ereignisses, wobei sich beides im Laufe der Zeit auch wandeln kann, ja vielleicht sogar zwangsläufig wandeln wird. Zudem vertreten manche Historiker auch andere Positionen: So hat der 2004 verstorbene J. Rovin es 1987 „wirklich faszinierend“ genannt, „sich vorzustellen, in welchem Ausmaß all das falsch sein muß, was wir unseren Studenten berichten oder bei unseren eigenen Recherchen finden“: „Denn, sobald sich Historiker und Zeitzeugen gegenüberstehen, wird deutlich, daß die Historiker wie die nachfolgenden Generationen überhaupt immer ein Stück an der Wahrheit vorbei gehen müssen, die sie nicht erlebt haben.“ Insgesamt gesehen, ist wohl folgendes festzustellen: Einerseits meinen Zeitzeugen - wenn schon nicht immer, so doch oft - es als Miterlebende im Zweifelsfalle besser zu wissen als nachträglich beurteilende Historiker. Andererseits meinen diese wiederum im Zweifelsfall, als Wissenschaftler - also als Experten - eher beurteilen zu können, wie es sich nun wirklich verhalten hat.

6.6 Subjektivität und Objektivität

Max Bieri

Betreuer: Moritz Nocher

Wie sehr sind Historiker zwangsläufig Kinder ihrer Zeit?

Eine zentrale Frage methodisch-theoretischer Diskussionen in der Geschichtswissenschaft lautet: Inwieweit können Historiker objektiv sein bzw. sind sie nicht unauflöslich in ihrer Subjektivität verfangen? Und wenn letzteres zutrifft, inwiefern beeinträchtigt dies die Relevanz ihrer Aussagen über vergangenes Geschehen? Max erörterte dieses Thema an Hand eines Textes von Marwick mit dem Titel „The Auteur Theory of History and the Question of Subjectivity“.

Laut der in den letzten Jahrzehnten an Einfluss gewinnenden „Auteur Theory of History“ sind sämtliche historiographische Darstellungen selbst bei sorgfältigster Anwendung der kritisch-historischen Methode mehr oder minder unzuverlässig. Die radikalsten Vertreter dieser Position erachten sogar sämtliche Darstellungen für gleich wahr bzw. gleich falsch, also für hoffnungslos subjektiv gefärbt. Wie schon weiter oben angedeutet, mündet dies in die These, dass Historiker nichts sind als Geschichtenerzähler, als so etwas wie Verfasser von Romanen. Demnach sollte man nur noch von Geschichtsschreibung sprechen, Geschichte sei eine Art Kunst. Gute, qualitätsvolle Geschichtsschreibung wäre dann nicht mehr die, welche sich einer - freilich niemals bekannten - historischen Wahrheit möglichst stark annähert; entscheidend ist vielmehr diejenige, welche Geschichte dem Leser am besten gefällt.

Nun schreibt Marwick seiner Disziplin durchaus künstlerische Elemente zu, betrachtet sie aber dennoch als Wissenschaft. Deshalb geht er mit der Autorentheorie, für die stellvertretend P. Novick genannt sei, letztlich scharf ins Gericht. Ernsthafte Geschichtsschreibung setze sich kritisch mit den Quellen auseinander, wobei grob gesagt zwei Regeln gelten würden: (1) Quellen liefern Tatsachen; (2) Historiker kombinieren diese Tatsachen infolge persönlicher bzw. jedenfalls niemals völlig objektivierbarer Perspektiven. Marwick konzidiert, dass Quellen nicht gleich Tatsachen sind, stecken doch auch in diesen schon Interpretationen. Man kann sich den (historischen) Tatsachen allenfalls annähern. Zudem ist der Autor bis zu einem gewissen Grad gefangen in der Zeit und der Gesellschaft, in der er lebt (Standortgebundenheit). Doch kann sich Marwick zufolge ein Historiker bis zu einem gewissen Grad von besagter Standortgebundenheit befreien, etwa indem er die Geschichte sehr vieler Gesellschaften über verschiedene Zeiträume studiert. Dadurch würden Subjektivitäten mehr oder

minder stark eingeebnet. Überdies ergäben sich im Laufe geschichtswissenschaftlicher Debatten neue Erkenntnisse, man arbeite mit (immer) besseren Methoden und werde so doch objektiver. Auch strebten Historiker nicht nach integrierten Synthesen, sondern versuchten vielmehr, in überschaubaren Teilfragen vorwärts zu kommen, indem sie bestehende Thesen etc. ergänzen, modifizieren und korrigieren. Dies haben wir bezweifelt, da doch auch immer wieder so genannte Gesamtdarstellungen zu einer Epoche, einem Thema etc. vorgelegt werden, die durchaus als Versuche von Synthesen zu verstehen sind und auch so verstanden werden wollen.

Laut dem einflussreichen, 1982 verstorbenen englischen Historiker E. H. Carr ist „history ... an unending dialogue between past and present“. Marwick erachtet *Dialog* nicht für das richtige Wort, denn einen verstorbenen Autor vom Gegenteil zu überzeugen, sei unmöglich. Vielmehr gebe es einen steten Dialog zwischen Schreiber und Leser. Letzterer müsse schließlich darüber befinden, ob ein Historiker *plausibel* (richtig) argumentiert. Anders als insbesondere die radikalen Vertreter der Autorentheorie meinen, gehe es hier aber um wohl begründete Argumente, nicht um völlig unobjektivierbare subjektive Darlegungen.

Die Diskussion konzentrierte sich sehr rasch auf die Frage von „Fakten“ als Grundlage der Arbeit von Historikern. Thematisiert wurde die Nachprüfbarkeit von deren Richtigkeit, ihre Übermittlung in Quellen, sowie die Frage von Objektivität. Dabei ging es nicht zuletzt um eine von Max formulierte These. Sie lautete: Historiker können sich bis zu einem gewissen Grad von ihrer Standortgebundenheit befreien. Vorgeschlagen wurde ihre Modifizierung, indem man auch auf die Stringenz - also Widerspruchsfreiheit - der jeweiligen Argumentation abhebt. Anschließend diskutierten wir über die Frage einer etwaigen Verobjektivierung verschiedener Interpretationen durch deren Vergleich. Gegen Ende wurden etwaige Parallelen zwischen Geschichtswissenschaft und Kunst thematisiert. Kunst ist ja (immer?) auch ein Handwerk, ähnlich wie auch Historiker ein Handwerkszeug haben, um die Vergangenheit zu erforschen (historisch-kritische Methode). Reduziert man unsere Disziplin allerdings auf eine Kunst, so fragt sich, wie Historiker auf dieser Grundlage überhaupt noch den Anspruch erheben könnten, wissenschaftlich tätig zu sein. Wir einigten uns schließlich darauf, dass zum Verständnis historischer Ereignisse letztlich eine nachvollziehbare Darstellungsweise der kleinste gemeinsame Nenner jeder Art von Geschichtsschreibung sein müsse.

6.7 Fakten und Interpretationen

Ingeborg Heuschkel
Betreuerin: Constanze Thomas

Was sind Tatsachen, was sind Deutungen?

Ingeborgs Referat basierte auf einem Text von Robert F. Berkhofer, Jr., der sich unter anderem mit der Frage beschäftigt, was Fakten sind und ob es überhaupt solche gibt. Dem Verfasser zufolge erweisen sich wenigstens viele so genannte Fakten bei näherem Hinsehen als Interpretationen, als Konstruktionen, was noch nicht bedeutet, dass sie völlig haltlos sind. Als Beispiel führt er einfache Sätze über den US-Präsidenten G. Washington an, die als Fakten gehandelt werden, die aber beispielsweise Metaphern enthalten. Letztlich gibt es also viel weniger Fakten, die „independent of interpretations“ sind, als man annehmen könnte. Vielleicht gibt es sogar gar keine, denn selbst ein scheinbar so unzweideutiges Faktum wie der Satz „Es gab Adolf Hitler“ kann letztlich als ein Konstrukt gedeutet werden, denn wir müssen ihn aus den uns vorliegenden Quellen erst als Faktum rekonstruieren. Methodische Probleme erblickt Berkhofer nun aber insbesondere in dreierlei Hinsicht: Erstens erachten

viele Historiker die Feststellung von Fakten für relativ leicht. Zweitens handeln sie oftmals auch eindeutige Interpretationen als Fakten: So schreiben sie etwa einfach vom *Ersten Weltkrieg*, obgleich man plausibel machen könnte, dass es sich bereits um den siebten oder auch sechsten Weltkrieg gehandelt hat; es kommt eben stets auf die zugrunde gelegten Kriterien an, die nicht gleichsam vom Himmel fallen, sondern festgelegt werden müssen und also nicht einfach *wahr* sind. Oder man nehme eindeutige Konstrukte bzw. Interpretationen wie Absolutismus oder Nationalismus. Was das eigentlich ist bzw. gewesen sein soll, weiß offenbar niemand so ganz genau, angesichts - gelinde gesagt - *sehr vieler* Abhandlungen darüber, unterschiedlicher Definitionen dieser Termini sowie unterschiedlicher, damit zusammenhängender Theorien. Dennoch wird oftmals etwa einfach von *dem* Absolutismus gesprochen. Drittens sind sich Historiker oftmals gar nicht über die grundsätzliche geschichtstheoretische Fragwürdigkeit eines solchen Vorgehens im Klaren. Dies zeugt von einer gewissen methodischen Naivität.

Berkhofer zufolge ist eines klar: Es gibt zwar viele verschiedene Interpretationen, aber nur eine Geschichte, nur eine Vergangenheit. Ingeborg teilte diese These. Zudem gibt es laut Berkhofer nicht die einzig richtige oder beste Interpretation. So verfügen Historiker schon über zu wenige Fakten, um die Adäquatheit einer Interpretation beweisen zu können. Auch diese These fand Ingeborgs Zustimmung, wobei ihr zufolge jede Interpretation beachtenswerte Aspekte aufweisen kann. Ziehe man zudem nicht nur das Kriterium der Richtigkeit, sondern auch der literarischen Schönheit heran, so könne man nicht sagen, dass der jeweilige Inhalt einer Interpretation von vornherein das wichtigste Bewertungskriterium sei.

Die Diskussion orientierte sich an von Ingeborg formulierten Thesen. Die erste lautete: Im Allgemeinen stellt die Geschichtswissenschaft einen Dialog zwischen Autor und Leser dar, wobei dieser seine eigene Meinung jedoch nur durch das Studium von Quellen bilden kann. Diese These wurde kontrovers diskutiert. So wurde etwa bezweifelt, dass sich die meisten Menschen überhaupt eine eigene Meinung über historische Vorgänge bilden können. Da von Lesern kein eigenes Quellenstudium verlangt werden könne, seien sie auf die Arbeiten von Historikern angewiesen bzw. müssten sich darauf verlassen können, dass Historiker die Quellen so sorgfältig wie möglich ausgewertet haben. In ihrer nächsten These behauptete Ingeborg, dass es beim Studium von geschichtswissenschaftlichen Texten hilfreich sei, näheres über den jeweiligen Verfasser zu wissen. Dies traf auf Zustimmung, denn allenfalls so könne man z.B. einschätzen, welche Aspekte er unterschlagen haben könnte. Widerspruch ertete sie allerdings mit ihrer These, wonach Historiker durch ihr größeres Vorwissen und ihre fachspezifischen methodischen Kenntnisse Fachliteratur besser lesen könnten als „Durchschnittsleser“ bzw. Laien. Vorwissen könne schnell zu Voreingenommenheit führen, wurde insbesondere eingesetzt, was wiederum Objektivität trüben könne. Zudem könne die vermeintliche Naivität eines Nichthistorikers durchaus den Blick auf neue Aspekte öffnen, die von einem Fachmann vielleicht übersehen würde, nach dem Motto: Wer zu viel weiß, sieht den Wald vor lauter Bäumen nicht!

6.8 Fakten, Interpretationen und Erklärungen

Fabian Angeloni
Betreuerin: Constanze Thomas

Was sind Erklärungen und welche Kausalzusammenhänge können Historiker plausibel kreieren?

Diese Sitzung war kausalen Erklärungen in der Geschichtswissenschaft gewidmet. Wie dabei der niederländische Historiker Chris Lorenz in seinem von Fabian erörterten Text „Fakten, Interpretationen

und Erklärungen“ zeigt, lässt sich der Begriff der *Kausalität* aus der Geschichtswissenschaft nur dann eliminieren, wenn man sich mit der bloßen Aufzählung von Fakten begnügt, etwa in Form von Zeitleisten. Die Feststellung von Fakten bildet jedoch für die allermeisten, ja wohl für sämtliche Historiker lediglich die Basis für ihr eigentliches Ziel: die Verknüpfung dieser Fakten zu Interpretationen bzw. Erklärungen historischer Ereignisse etc. (wobei Interpretationen und Erklärungen hier einmal nicht weiter unterschieden seien).

Grundsätzlich unterscheidet man drei Arten von Bedingungen für das Auftreten von Ereignissen: hinreichende, notwendige sowie hinreichende und zugleich notwendige (wie auch in der Mathematik).

1. B ist eine hinreichende Bedingung für A, wenn A eintritt, wenn B vorhanden ist. Allerdings können weitere Bedingungen A auslösen. „Wenn es regnet, wird die Straße nass“ ist hierfür ein gutes Beispiel. Die Straße wird zwar nass, wenn es regnet, sie kann aber z.B. auch durch das Ausschütten eines Eimers Wasser nass werden.
2. B ist eine notwendige Bedingung für A, wenn A nur dann eintritt, wenn B auch dagewesen ist, B allein aber nicht ausreichen muss, um A auszulösen. So kann in Deutschland nur derjenige für den Bundestag wählen, der 18 Jahre alt ist. Allerdings reicht die Volljährigkeit nicht aus, man muss zusätzlich deutscher Bürger sein und das Wahlrecht nicht entzogen bekommen haben.
3. Wenn A dann und nur dann ausgelöst wird, wenn auch B stattfindet, spricht man davon, dass B notwendig und hinreichend zugleich (englisch if-Bedingung für „if and only if“) für das Auslösen von A war.

Was nun die Geschichtswissenschaft anbetrifft, so wird man nur schwerlich hinreichende Bedingungen für ein Ereignis finden, wie etwa schon der Philosoph H. Lübke feststellte. Nehmen wir etwa die Ermordung des österreichisch-ungarischen Thronfolgers Franz Ferdinand am 28. Juni 1914 in Sarajevo. Angesichts der folgenden Entwicklung könnte man meinen, dieses Ereignis sei hinreichend für den Ausbruch des Ersten Weltkrieges gewesen. Tatsächlich jedoch ließe sich ebenso gut behaupten, erst der einige Tage danach ausgestellte so genannte Blankoscheck der Berliner Regierung sei hinreichend gewesen. War er dies aber tatsächlich oder war es nicht vielmehr die Tatsache, dass die serbische Regierung das österreichische Ultimatum nicht ganz akzeptiert hat? Diese Argumentationskette könnte man weiter spinnen, vermutlich ohne zu einem klaren Ergebnis zu kommen.

Überdies dürfte es unmöglich sein, eine notwendige und zugleich hinreichende Bedingung zu finden, wie etwa: „Wenn ein bestimmtes Ereignis stattfindet, kommt es zu Krieg“ oder „Krieg bricht immer dann und nur dann aus, wenn...“. Und wie steht es mit der Möglichkeit, notwendige Bedingungen festzustellen? Wiederum bezogen auf den Ausbruch des Ersten Weltkrieges, ließe sich wohl plausibel begründen, dass radikaler Nationalismus oder auch die starke Aufrüstung notwendige Bedingungen waren, daneben aber auch scheinbar so selbstverständliche Aspekte wie die Existenz von Menschen, von Staaten, von Geld. So gesehen, gibt es sozusagen unzählige notwendige Bedingungen, die wir wohl gar nicht alle erkennen können. Und wirklich schwierig wird es dann, wenn wir sie nach ihrer Bedeutung gewichten wollen.

Lorenz analysiert den Ursachenbegriff am Beispiel der Geschichte einer „Stadion-Tragödie“: „Während eines Fußballspiels wird [...] Bier verkauft. Ein Mann betrinkt sich und gießt der vor ihm sitzenden Frau Bier über die Haare. Die wird wütend und nimmt ihm das Bier weg.“ In einem folgenden Streit mit dem Begleiter der Frau rollen die zwei Männer eine Treppe hinunter und stoßen dabei einen anderen Zuschauer an, der fällt und sich die Wirbelsäule bricht. Er wird dabei gelähmt. Eine Analyse dieses Vorfalles erweist mehrere Dinge:

- Ursachen können komplex bzw. zusammengesetzt sein; ein Ereignis muss also nicht immer nur eine Ursache haben. Im Alltag jedoch werden nur einige von sämtlichen vorliegenden notwendigen Bedingungen als Ursachen genannt (und vielleicht auch erkannt).

- Allerdings können sich verschiedene kausale Erklärungen zu einer (scheinbar) vollständigen Erklärung ergänzen. Dabei analysiert jeder Mensch ein Ereignis aus seinem eigenen Blickwinkel
- Zudem kann man bei der Suche nach Ursachen für ein Ereignis zwar ad infinitum zurückgehen (so genannter *infiniter Regress*), man muss aber in der Praxis irgendwann abbrechen, will man sich nicht in seiner eigenen Analyse verlieren.
- Es werden zumeist nur Handlungen, die aus freiem Willen geschehen sind, als Ursache für Ereignisse angesehen (gibt es aber überhaupt freie Willensentscheidungen?). Damit werden Historiker auch stets zu Richtern, indem sie Schuld zuweisen müssen.
- Notwendige Bedingungen bewegen sich immer in einem „kausalen Feld“, das heißt: das kausale Feld aus Ursache U_1 (Trunkenheit), U_2 (Schimpfen), U_3 (Prügelei) und U_n (...) führte zum Ereignis W (Lähmung). Es hätte aber auch anders sein können, z.B. würden U_1 (Bananenschale), U_2 (harter Boden), U_3 (schlechte Falltechnik) und U_n (...) auch zu W (Lähmung) führen. Jede dieser Ursachen ist also ein unzureichender, aber nicht überflüssiger Teil einer nicht notwendigen, aber hinreichenden Bedingung (englisch: „an insufficient non-redundant part of an unnecessary but sufficient condition“ - eine INUS-Bedingung nach dem australischen Philosophen J. Mackie).

Um zu prüfen, wie Historiker mit dem Ursachenbegriff arbeiten, zitiert Lorenz aus zwei Arbeiten der englischen Historiker J. Joll und A.J.P. Taylor, die sich mit den Ursachen des ersten und zweiten Weltkrieges auseinandersetzen. Erstens fällt die Heterogenität der genannten Faktoren auf. Auch wird die Abwesenheit von Faktoren als Grund für den Ausbruch der Kriege angeführt (wie das Fehlen eines kollektiven Sicherheitssystems), sie machen also Gebrauch von sogenannten „negativen Ursachen“. Dieser Begriff geht auf S. Mill/J. Mackie zurück. Zweitens wird bei der Ursachennennung kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Drittens wird die Gewichtung einzelner Ursachen offen gelassen. Schließlich unterscheiden Joll/Taylor die Art der von ihnen genannten Ursachen.

Hierzu hat der französische Historiker F. Braudel das „Drei-Schichten-Modell“ der Kausalität aufgestellt. Er unterschied strukturelle von konjunkturellen Ursachen sowie Ereignissen. Dabei wies er strukturellen Ursachen stets ein größeres kausales Gewicht als konjunkturellen zu und diesen wiederum ein größeres kausales Gewicht zu als Ereignissen. Allerdings wird hier einfach eine Hierarchie von Ursachen postuliert. Der englische Historiker L. Stone betrachtet die Ursachen hingegen im „Trichtermodell“. Er unterscheidet zwar zwischen „preconditions“, „precipitants“ und „triggers“, setzt dabei allerdings keine kausale Hierarchie voraus, das Ereignis wird nur immer wahrscheinlicher, je tiefer man in den Trichter rutscht. P. Gay schließlich postulierte das „Sanduhrmodell“ der Kausalität, um zu verdeutlichen, dass man die Folgen eines Ereignisses in gleicher Weise, wie die Ursachen verdeutlichen kann.

Lorenz kommt zum Schluss, dass Joll/Taylor in ihren Texten jeweils INUS-Bedingungen (Jede Ursache als unzureichender aber nicht-überflüssiger Teil einer nicht notwendigen, aber hinreichenden Bedingung) für den Ausbruch der beiden Weltkriege definieren. Die INUS-Interpretation kausaler Erklärungen korrespondiere mit dem „Possibilismus“ zahlreicher Historiker, dass die Geschichte so, wie sie verlaufen sei, nur eine Möglichkeit darstelle, es aber auch anders hätte verlaufen können.

6.9 Verstehen und Richten

Johanna Bube
Betreuer: Moritz Nocher

Dürfen sich Historiker in ihre Helden hinein versetzen und Werturteile vornehmen?

1987 versuchten der deutsche Historiker Martin Broszat und der israelische Historiker Saul Friedländer via eines veröffentlichten Briefwechsels eine von ihnen geführte Kontroverse zu klären. Dabei ging es um ein Plädoyer Broszats für eine so genannte Historisierung des Nationalsozialismus.

Unter Historisierung versteht man Unterschiedliches, unter anderem die Einzigartigkeit jedes historischen Ereignisses. Ein anderes, auch von Broszat vertretenes Verständnis betont die Notwendigkeit, historische Ereignisse in ihrem Gewordensein möglichst umfassend zu verstehen, wobei er dies durchaus auch im Sinne von Erklären meint.

Als der Briefwechsel geführt wurde, war der Nationalsozialismus noch weniger gut erforscht als heute. Dabei wurde er weithin - also auch in der Öffentlichkeit - als das negativ-Beispiel der deutschen Geschichte angesehen, von dem man sich mit aller Vehemenz abgrenzen müsse. Broszat zufolge war eine solche gleichsam dämonisierende Sichtweise jedoch nicht dazu geeignet, die Epoche des Nationalsozialismus in ihrer ganzen Komplexität und in ihren ganzen Facetten zu erforschen und verständlich zu machen. So wurde demnach übersehen, dass es auch so etwas wie normales Alltagsleben in der Diktatur und nicht nur negative Aspekte gab. Deshalb plädierte Broszat für eine Historisierung im oben beschriebenen Sinne, allerdings stets auf Grundlage einer grundsätzlichen moralischen Verurteilung der Epoche, die sich ihm zufolge durch ihre verbrecherische Dimension gar nicht relativieren ließe. So wollte er tiefere historische Einsichten (Verstehen) über das Geschehene gewinnen und auf einer möglichst objektiven Ebene vermitteln können, was überhaupt alles passiert war. Diesen Jahren sollte (soweit möglich) die Befremdlichkeit genommen und so ein verändertes Geschichtsbewusstsein in der Bevölkerung geschaffen werden.

Friedländer hingegen befürchtete, eine solche Vorgehensweise, die zudem auf möglichst nüchterner, sachlicher Darstellung beruhen sollte, könne zu einem Abbau der moralischen Distanz vor dem Nationalsozialismus führen. Es könne auf diese Weise zu einer Empathie für die Verbrecher, aber auch zu einem zu großen Verständnis für das Verhalten anderer damaliger Zeitgenossen (etwa Mitläufer) kommen. Er leugnete nicht die Existenz von Alltagsphänomenen, befürwortete auch grundsätzlich deren Erforschung. Doch musste für ihn der Focus weiterhin auf den politischen sowie insbesondere vernichtungs-politischen Aspekten liegen, die den unverrückbaren Kern des Nationalsozialismus bildeten. Das Ende (Auschwitz) sei bekannt, die Geschichtsschreibung müsse auf diesen Fluchtpunkt ausgerichtet sein.

Damit aber, so wiederum Broszat, werde der Nationalsozialismus unter eine Art „Generalquarantäne“ gestellt, was nicht (mehr) angehe. Die jüngere Historikergeneration könne den emotionalen Abstand zu den Geschehnissen beibehalten und dennoch distanziert urteilen. Auch würde sie ein rationales Begreifen des Nationalsozialismus anstreben. Doch laut Friedländer reagierte gerade die junge Historikergeneration besonders sensibel auf die moralischen Fragen, die durch das dritte Reich aufgeworfen werden. Auch sei die nationalsozialistische Vergangenheit noch viel zu gegenwärtig. Schon deshalb seine keine (ganz) objektiven Urteile möglich, aber eben auch nicht wünschenswert (siehe oben).

Broszat möchte die Jahre 1933 bis 1945 in den nationalen Geschichtsverlauf integriert sehen. Wie konnte es zu der „Katastrophe“ kommen und wie ging es danach weiter? Friedländer hingegen sieht die Epoche als abgeschlossene Einheit, die man für sich betrachten müsse.

Letztlich dürften die unterschiedlichen und im Verlaufe des Briefwechsels sich noch zuspitzenden Standpunkte mit dem unterschiedlichen Schicksalshintergrund der beiden Historiker zu tun haben. Broszat gehört gewissermaßen zu dem Tätervolk, Friedländer hingegen zu den Opfern. Wer von beiden recht hat, lässt sich wohl kaum entscheiden: Einerseits lehrt die historische Erfahrung, dass mit zunehmendem Zeitabstand einstmals als - gelinde gesagt - problematisch beurteilte Ereignisse bzw. Vorgänge nüchterner und weniger drastisch beurteilt werden. Andererseits: Wer wollte etwa Friedländer das (moralische) Recht nehmen, in „Auschwitz“ den unverrückbaren Fixpunkt des Nationalsozialismus zu erblicken? Oder, um es mit H.-U. Wehler zu formulieren: „(...) spätestens im Zeitalter zweier totaler Kriege, der Führerdiktatur Hitlers, des Vernichtungskrieges im Osten, des Zivilisationsbruchs im Holocaust sind klare Urteilsmaßstäbe, die durchaus auch 'Schwarz und Weiß' anerkennen müssen, völlig unvermeidbar.“ (2003)

6.10 Periodisierung

Yorck Kessler
Betreuerin: Constanze Thomas

Wie kann man Vergangenes sinnvoll ordnen bzw. kann man das überhaupt?

Dieses Referat beschäftigte sich mit einem wichtigen Aspekt geschichtswissenschaftlichen Vorgehens, der Periodisierung, also der wie auch immer gearteten zeitlichen Untergliederung vergangenen Geschehens. Erörtert hat das Thema Yorck an Hand eines Textes des Frühneuzeitlers Rudolf Vierhaus von 1992 mit dem ebenfalls an Nietzsche angelehnten Titel „Vom Nutzen und Nachteil der frühen Neuzeit“.

An Hand des Textes ließen sich einerseits grundsätzliche Fragen erörtern, wie etwa: Wozu ist Periodisierung überhaupt sinnvoll? Andererseits konnten wir an Hand des konkreten Fallbeispiels der Frühen Neuzeit darüber diskutieren, ob es sinnvolle Kriterien gibt, von einer solchen Epoche zu sprechen und sie auch für eine bestimmte Zeitspanne anzusetzen.

Klar schien uns zunächst: Historiker kommen ohne irgendwelche zeitliche Einteilungen nicht aus. Nur so ist es möglich, sich überhaupt zu verständigen, womit sich Historiker aber nicht von dem Rest der Menschen unterscheiden. Schon die Verwendung scheinbar unschuldiger Worte wie jetzt, früher und später setzt wenigstens unbewusst Vorstellungen darüber voraus, wann das jetzt einsetzt, wann es aufhört und so weiter. Insofern geht es also primär darum, festzustellen, was gute (plausible) und weniger gute bzw. schlechte (unplausible) Periodisierungskriterien sind. Dabei betont Vierhaus richtig, dass jede Periodisierung (auch) abhängig ist von Erkenntnisinteressen der Gegenwart, Standpunkten von Historikern und Themengebieten, die untersucht werden sollen.

Konkret für die Frühe Neuzeit nennt Vierhaus eine Liste von Kriterien, an Hand derer es plausibel erscheint, tatsächlich von einer solchen Epoche zu sprechen. Er erwähnt etwa das Kriterium einer Agrargesellschaft mit Landadel, bei schon einsetzender Urbanisierung; eine von Missernten und Epidemien geprägte Lebensweise, bei dennoch stetigem Bevölkerungswachstum; eine Zeit des Niedergangs der kirchlichen Macht, die durch den Humanismus bedrängt wurde. Dies wiederum erleichterte die Entwicklung der Wissenschaft als Form der Erkenntnisgewinnung unabhängig von kirchlich-religiösen Vorgaben und Dogmen. Die prägnante Staatsform in dieser Epoche bildete die Monarchie. In ökonomischer Hinsicht kann man den beginnenden Seehandel und die weltweite Kolonialisierung nennen. Noch weiteres lässt sich anführen: 1482 die Eroberung Konstantinopels und die Entdeckung

Amerikas; 1452 die Erfindung des Buchdrucks; nicht selten wird auch N. Macchiavelli als Begründer der modernen politischen Theorie genannt.

Allerdings herrscht kein Konsens über die zeitliche Abgrenzung der Frühen Neuzeit: Zumeist wird sie auf die Zeit von ungefähr 1500-1800 eingegrenzt, doch manchmal wird auch die Zeit von 1500-1680 genannt, dann das 18. Jahrhundert, dann die Industrialisierung und nach 1945 die Gegenwart. J. Burckhardt hingegen grenzte die frühe Neuzeit auf 1450-1763 ein, wovon er ein bis zum Wiener Kongress dauerndes Zwischenzeitalter unterschied. Ähnlich sehen es noch heutige Historiker. So geht A. Palmer von einem „Age of Democratic Revolution“ aus. Hieran sieht man, dass Einteilungskriterien stets auf Interpretationen beruhen und niemals Tatsachen sein können. Dies erweist sich auch daran, wenn etwa immer wieder vom langen 19. Jahrhundert (1789-1914) und vom kurzen 20. Jahrhundert gesprochen wird (1914-1989).

Vierhaus nennt zudem mehrere Kritikpunkte. Der erste richtet sich gegen den Begriff selbst. Wir leben ja stets in einer neuen Zeit, auch wenn wir die jüngste Geschichte mit dem Etikett *Zeitgeschichte* belegen und damit von der Neuzeit abgrenzen. Wann also ist die Neuzeit zu Ende, oder wollen wir sie ewig fortschreiben? Wann ist es nicht mehr sinnvoll, von früher und später Neuzeit zu sprechen? Zweitens sei es problematisch, drei Jahrhunderte unter einem Begriff zusammenzupacken und bedeute eine Überdehnung des Kontinuitätsprinzips. Schließlich sei die Rede von *Früher* oder auch *Später* Neuzeit sehr europazentrisch. In einer mehr oder minder globalisierten Welt trage sie nicht mehr. Wichtig erscheint in diesem Zusammenhang überdies, dass selbst in europäischen Staaten teilweise unterschiedliche Einteilungskriterien verwendet werden.

6.11 Der Beruf des Historikers - Teil 1

Christoph Kreiss

Betreuer: Christoph Berger Waldeneegg

Was machen Historiker eigentlich so alles?

Christoph erörterte sein Thema an Hand eines 2001 erschienenen Textes der Historiker E. Opgenoorth und G. Schulz, der als Einführung für Studienanfänger gedacht ist. Mag es früher noch so etwas wie Universalhistoriker gegeben haben, die also über Geschichte an sich forschten, schrieben und sprachen, so bildet die Geschichtswissenschaft heute eine weit ausdifferenzierte Disziplin, ganz ähnlich wie es sich auch in den wohl allermeisten anderen Wissenschaften verhält. Es gibt Ideengeschichtler, Militärhistoriker, Geschlechtergeschichtler, Wirtschaftshistoriker und viele andere Arten von Historikern mehr. Zudem liegen zahlreiche Überschneidungen vor, so untersuchen beispielsweise auf Wirtschaftsgeschichte spezialisierte Historiker auch militärgeschichtliche Aspekte (etwa den Zusammenhang von Aufrüstung und Wirtschaftswachstum), um nur ein Beispiel zu nennen. Laut Ansicht der Autoren sollen Historiker unter anderem „Brücken [...] zwischen allen Disziplinen (schlagen), deren Gegenstand einen geschichtlichen Aspekt“ aufweisen.

Die erwähnte starke Ausdifferenzierung bildet wohl einerseits die Folge einer zunehmenden Verwissenschaftlichung bzw. Institutionalisierung der Disziplin. Andererseits betrachten Historiker heute auch Aspekte der Vergangenheit als untersuchungsrelevant, die früher entweder als irrelevant oder bestenfalls von sekundärer Bedeutung erachtet wurden, oder aber noch gar nicht im Erkenntnishorizont lagen. Ein Beispiel hierfür bildet die Geschlechtergeschichte oder auch die Alltagsgeschichte.

Die besagte Ausdifferenzierung bietet Vorteile, aber auch Nachteile: Vorteilhaft erscheint etwa, dass man wesentlich facettenreichere Einblicke in vergangenes Geschehen erhält als dies früher der Fall war. So dominierte etwa noch bis weit ins 20. Jahrhundert hinein die Politische Geschichte.

Ein Nachteil ist unter anderem, dass es praktisch keinen Historiker mehr gibt, der sozusagen den Forschungsüberblick über eine bestimmte Epoche hat. Diesbezüglich kann mit Blick auf die zunehmende Ausdifferenzierung auch noch festgestellt werden, dass z.B. auch ein ausgesprochener Militärgeschichtler nicht mehr Fachmann für Militärgeschichte an sich ist, sondern entweder nur für bestimmte Zeitspannen oder für bestimmte Einzelaspekte, wie etwa Kriegs- oder Waffengeschichte.

In der Diskussion kamen wir zu dem Ergebnis, dass dieser Spezialisierungsprozess vermutlich fortgeschritten dürfte und dass es also insbesondere das Erstellen von Synthesen in Zukunft noch schwieriger werden dürfte, als es ohnehin schon ist.

6.12 Der Beruf des Historikers - Teil 2

Lukas Wehrheim

Betreuer: Christoph Berger Waldenegg

Mentalitätsgeschichte als Beispiel. Wie sieht eine Teildisziplin konkreter aus?

In dieser Sitzung wollten wir nun ein wenig näher kennen lernen, was ein spezialisierter Historiker, in diesem Fall ein *Mentalitätshistoriker*, tut, und wo die Vorzüge, aber auch Problematiken seiner Teildisziplin liegen. Dazu hielt Lukas ein Referat, wobei ihm als Grundlage ein 1997 publizierter Text von Peter Burke diente, mit dem programmatisch anmutenden Titel „Stärken und Schwächen der Mentalitätsgeschichte“. Unter *Mentalitäten* kann man Unterschiedliches verstehen, im Sinne der Mentalitätshistoriker werden darunter aber meistens tief verankerte, unbewusste individuelle/kollektive Einstellungen verstanden, die meistens von so genannter *langer Dauer* sind, das heißt: Sie beeinflussen das Denken und Verhalten von Generationen von Menschen, und zwar ohne dass sich dieselben dessen bewusst sind bzw. sein müssen. Auch Menschen, die sich für säkularisiert halten, mögen dies tatsächlich weniger sein, als sie es annehmen.

Die Stärken mentalitätsgeschichtlicher Ansätze liegen zunächst darin, dass sie im besten Falle erweisen, wie langsam sich menschliches Denken wandelt und dass mehrere mentale Tiefenschichten existieren. Auch zeigen sie auf, dass menschliches Verhalten durch Einstellungen beeinflusst wird, die auf den ersten und oft auch auf den zweiten Blick gar nicht erkennbar sind. Ihre Schwächen liegen insbesondere in der Schwierigkeit begründet, Mentalitäten zu erforschen. Oft fehlt dazu geeignetes - insbesondere seriell vorliegendes - Quellenmaterial, insbesondere für weit zurück liegende Zeiten. Und obgleich grundsätzlich fast jeder Quellentypus herangezogen werden kann (so etwa auch Postkarten und Filme), so großer Dissens herrscht zugleich doch oftmals darüber, wie diese Quellen in mentalitätsgeschichtlicher Hinsicht am besten auszuwerten sind und welche Schlüsse also aus ihnen gezogen werden können. In unserer Diskussion haben wir uns konkrete Beispiele überlegt und nicht zuletzt darüber nachgedacht, welche Mentalitäten in unserer heutigen Zeit vorherrschend sein mögen.

6.13 Geschichtsphilosophie

Ramin Karbalaie
Betreuer: Moritz Nocher

Warum, woher, wohin?

Das Thema *Geschichtsphilosophie* wurde von Ramin präsentiert, an Hand eines Textes von Herbert Schnädelbach („Philosophie und Geschichte“). Zunächst entwickelt der Verfasser das Geschichtsverständnis mehrerer Philosophen, wobei er das gesamte Spektrum von griechischer Antike über den deutschen Idealismus bis zur Moderne beachtet. Dann stellt er diverse Probleme einer Geschichtsphilosophie vor und versucht schließlich eine Verbindung zwischen Philosophie und Geschichte herzustellen.

Bei Aristoteles war die so genannte Historik noch unterhalb der Poesie angesiedelt und die Geschichte nicht als so etwas wie eine Wissenschaft anerkannt, wobei wichtig ist, dass *historía* so viel wie *Bericht*, *Erkundung*, *Erzählung* bedeutete. Erst 1765 schrieb Voltaire eine Abhandlung über die „Philosophie de l’histoire“ als Reaktion auf das Erdbeben in Chile, wobei der Begriff „Geschichtsphilosophie“ erst im 19. Jahrhundert auftritt. Neben Aristoteles führen auch Arthur Schopenhauer und Jacob Burkhardt aus, dass Geschichte keine Wissenschaft, sogar eine wie Burkhardt sagt: „*contradictio in adjecto*“, sei. „Hat einer den Herodot gelesen, so hat er, in philosophischer Absicht, schon genug Geschichte studiert.“ (A. Schopenhauer). Eine Art Wissenschaftliche Revolution begann mit Droysen und seinem Werk „Historik“, in dem er das juristische bzw. literarische Hilfsmittel der *Hermeneutik* mit der Geschichte verband und somit der Textdeutung eine größere Bedeutung zukommen ließ. Die Problemschwerpunkte liegen hierbei zum einen auf der Verbindung zwischen Interpret und Text, zum anderen auf dem so genannten hermeneutischen Zirkel: Der Interpret muss sich das Vorverständnis, dass er mitbringt, bewusst machen und bereit sein sich von dieser Vorstellung zu lösen. Ausgeweitet wurde die Hermeneutik von W. Dilthey, der neben dem Vorverständnis noch kulturelle Einflüsse auf den Interpreten berücksichtigte. Schließlich sei, nach Dilthey, die „Kritik durch eine Vernunft [eine,] die sich als historisch erweist“; wir alle unterliegen unserer Zeit und dem vorherrschenden Zeitgeist. Mittels der Hermeneutik war es auch möglich, die lang diskutierte Sinnproblematik, was denn nun der Sinn von Geschichte sei, zu lösen; vielleicht bestand der Sinn in der Deutung von Quellen? Suchten einige Flucht in der Teleologie, in der Hoffnung, dass geschichtliches Geschehen zweckmäßig sei, oder doch wenigstens die Zielsuche eine mögliche Lösung sein könne, landeten andere bei dem Mitteilungssinn und kamen zurück zur Hermeneutik: Geschichte, aus der wir mittels des Quellenstudiums lernen können. Andere Philosophen wie Hegel zum Beispiel verstanden unter dem Mitteilungssinn das Erkennen Gottes in der Geschichte. Hier stand die Symbolik der Geschichte im Vordergrund. Nachdem man sich nach der Aufklärung von dem angeklagten Gott distanzierte, war dieser auch nicht mehr für das menschliche Übel verantwortlich. Der Kläger wurde hier zum Angeklagten selbst und die theologische Theodizee wandelte sich zur Anthropodizee, der Mensch stand nun im Vordergrund und trug, wie Kant bemerkte, die Verantwortung für sein Handeln und für das was geschehen war. An dieser Stelle sollte erwähnt werden, dass dies ein zentraler Punkt des sich später durch J.-P. Sartre entwickelten Existentialismus sein würde.

Die Frage bleibt offen, ob sich vielleicht aus dieser Verantwortung heraus der Sinn für Geschichte ergibt; können wir nicht doch aus ihr lernen? Der Einfluss der Historik bleibt unangefochten, schließlich wird Politik, Wissenschaft und alles menschliche Tun nicht unabhängige von geschichtlichen Ereignissen bleiben, so dass die Ausübung des Einfluss doch allein für sich schon sinnig ist, um moralisch verwerfliche Ereignisse zu verhindern, die Geschichte nun also präventiv fungiert. Dennoch ist es ungewiss, ob der geschichtliche Verlauf für sich gesehen „sinnhaft“ ist. Die Synthese von Geschichte und Philosophie gelingt dem Autor letztendlich nicht; er kommt zur Erkenntnis, dass es keine Geschichtsphilosophie gibt. Auch in unserer Diskussion kamen wir zu diesem Ergebnis.

6.14 Kontrafaktische Geschichtsschreibung

Nele Höser
Betreuer: Moritz Nocher

Was wäre, wenn...?

Nele bezog sich auf einen Ausschnitt aus dem 2010 publizierten Buch „Forbidden Fruit. Counterfactuals and International Relations“ von Richard N. Lebow. Er ist zwar kein Historiker, sondern ein auf internationale Beziehungen spezialisierter Politologe, arbeitet aber auch historisch und ist jedenfalls einer der sich momentan am intensivsten mit methodischen und konkreten kontrafaktischen Problemen auseinandersetzenen Wissenschaftler.

Wer schon ein wenig Vorwissen besitzt, versteht, warum Lebow sein Buch mit „Forbidden Fruit“ überschrieben hat. Denn tatsächlich ist nach wie vor recht umstritten, wozu insbesondere explizite und dabei wiederum in Form von regelrechten Fallstudien angestellte kontrafaktische Analysen gut sein sollen. Zu Beginn aber legte Nele dar, was speziell unter kontrafaktischer Geschichtsschreibung überhaupt zu verstehen ist. Hauptsächlich werden darunter der Vorgang der gedanklichen Veränderung historischer Tatsachen und das darauf folgende systematische Durchdenken der verschiedenen Möglichkeiten an Folgen verstanden. Typischerweise fragt man also: Was wäre gewesen, wenn dies und/oder jenes nicht eingetreten wäre? Zielsetzung ist insbesondere, einen Erkenntnisgewinn über mögliche historische Alternativen zu gewinnen, wobei Entscheidungssituationen historischer Akteure im Mittelpunkt stehen. Beliebte sind etwa was-wäre-wenn-Überlegungen, die sich mit Adolf Hitler befassen, wie etwa: Was wäre geschehen, wenn Hitler den Zweiten Weltkrieg gewonnen hätte? Der Textabschnitt Lebows ist zunächst einer imaginären kontrafaktischen Welt gewidmet, in der W.A. Mozart nicht 1791, sondern erst 30 Jahre später (1821) im Alter von 65 Jahren stirbt. Lebow fragt nun in dieser Welt: Was wäre gewesen, wenn Mozart doch schon mit 35 statt mit 65 Jahren gestorben wäre? Dabei erfindet er eine Akteurin (Erika), die einen geschichtlichen Verlauf durchspielt, der sich weitgehend mit dem deckt, was tatsächlich geschehen ist. Anhand dieses Gedankenexperiments lassen sich viele Probleme kontrafaktischer Analysen verdeutlichen, da die in der Erzählung dargestellte fiktive die eigentlich (für uns) reale Welt darstellt.

Vor allem zweierlei ist zu nennen: Zum einen das Problem der Wahrscheinlichkeit, zum anderen jenes der Zwangsläufigkeit. Kontrafaktische Überlegungen sind vergleichbar mit einem Wahrscheinlichkeitsbaum der Stochastik. Die Frage ist, ob eine bestimmte kontrafaktische Überlegung unrealistisch bzw. unwahrscheinlich wird, wenn ein einziger Schritt bzw. eine einzige Überlegung in der Kette unrealistisch ist. Auch die Anzahl der Abzweigungen bzw. Schritte spielt eine wichtige Rolle: Je mehr Abzweigungen bzw. Schritte der kontrafaktische Ideengang beinhaltet, desto unrealistischer/unwahrscheinlicher wird das Ergebnis. Davon ausgehend, lässt sich leicht eine weitere Problematik darstellen: Je größer der zeitliche Abstand der Veränderung in der Geschichte ist, desto unvorhersehbarer und unrealistischer werden die Ergebnisse, da unendlich viele Zwischenschritte und Details zu berücksichtigen wären.

Das Problem der Zwangsläufigkeit lässt sich am besten mit der Frage „Ist es zwangsläufig, dass in einer kontrafaktischen Überlegung die Dinge so passieren, wie sie passieren?“ erläutern. In Lebows kontrafaktischer Geschichte behauptet Erika, dass, wenn in ihrer fiktiven (also der für uns realen) europäischen Welt Fußball anstatt Baseball die populärste Sportart geworden wäre, es niemals zu gewalttätigen Auseinandersetzungen zwischen Demonstranten und der Polizei gekommen wäre, da die Menschen sich nicht gegenseitig mit Steinen hätten abwerfen können. Diese Behauptung kann widerlegt werden. Tatsächlich ist es in unserer europäischen Welt ja trotz des populären Fußballsports zu gewalttätigen Auseinandersetzungen bei Demonstrationen gekommen. Auch hätte Erika zufolge die Postklassik genauso gut von einem anderen Künstler, Schriftsteller oder Komponisten als

Mozart entwickelt werden können. Hierüber lässt sich allerdings nur spekulieren, man kann diese Behauptung weder plausibel bestätigen noch widerlegen.

Kontrafaktische Analysen weisen also beträchtliche Problematiken auf, die ein diese Methode nutzender Historiker nicht einfach übergehen kann. Lebow betont jedoch zugleich, dass es sich um einen wichtigen wissenschaftlichen Teilbereich handelt, und zwar nicht nur der Politologie, sondern etwa auch der Geschichtswissenschaft.

Wir diskutierten unter anderem diese Behauptung, ausgehend von Neles These, dass ohne kontrafaktische Aussagen keine Wertungen und Gewichtungen geschichtlicher Ereignisse und Vorgänge getroffen werden können. Rekurrierend auf unsere in einer früheren Sitzung gewonnene Erkenntnis, dass das primäre Erkenntnisinteresse nicht im Erkennen von Fakten, sondern in deren Verknüpfung besteht (also im Interpretieren bzw. Erklären), pflichteten wir dieser These zunächst bei: So beinhaltet etwa der Satz „Österreich-Ungarn ging unter, weil es den Ersten Weltkrieg verlor“ die folgende implizite kontrafaktische Aussage: „Hätte Österreich-Ungarn diesen Krieg nicht verloren, wäre es nicht untergegangen.“ Näheres Hinsehen erweist, dass geschichtswissenschaftliche Texte voll von solchen, zumeist nur implizit formulierten Aussagen sind. Allerdings wurde hinterfragt, ob Historiker überhaupt werten, also etwa moralische Urteile fällen sollen. Wir diskutierten noch eine zweite These Neles. Demnach können Historiker deshalb keine verwertbaren kontrafaktischen Aussagen treffen, weil sich aus einem veränderten Ausgangsereignis (etwa der Form „Österreich-Ungarn hat den Krieg nicht verloren“) sozusagen unzählige Alternativszenarien entwickeln lassen. Eingewendet wurde hierzu, dass dies mit Blick auf Aussagen mit eher langen Zeithorizonten zutreffe, aber nicht unbedingt bei solchen mit eher kurzen. In diesem Kontext wurde auf die Chaostheorie verwiesen, wonach schon kleine Veränderungen in den Anfangsbedingungen zu nicht voraussagbaren Folgen in der Zukunft führen können. Auch der so genannte *Schmetterlingseffekt* wurde ins Feld geführt. Gefragt wurde auch, was *verwertbar* konkret bedeuten soll. Verstehe man hierunter plausible, nicht aber wahre Aussagen, so sei nicht auszuschließen, dass sinnvolle kontrafaktische Aussagen getroffen werden können.

6.15 Abschließende Sitzung

Christoph Berger Waldenegg

In unserer abschließenden Sitzung erörterten wir zunächst Aspekte, die einzelnen Teilnehmern noch besonders am Herzen lagen. Anschließend holten wir unsere in der ersten Sitzung verfassten Zettel hervor und verglichen das dort Festgehaltene mit unseren nunmehrigen Eindrücken über das, was Geschichte als Wissenschaft leisten kann. Insgesamt gesehen, herrschte diesbezüglich mehr Skepsis als zu Beginn. Schließlich diskutierten wir über den inhaltlichen und Verlauf des Kurses und die Atmosphäre in ihm (was wir auch schon nach der Hälfte des Kurses getan hatten, um gegebenenfalls anders als bisher vorzugehen). Insgesamt darf wohl gesagt werden, dass der Kurs allen Teilnehmern Spaß gemacht und auch inhaltlich viel - wie man so schön sagt - gebracht hat. Wer von ihnen aber nun wirklich Geschichte studieren wird, das muss sich erst noch zeigen.

7 Kursübergreifende Angebote

Das kursübergreifende Angebot enthielt bei der Schülerakademie 2010 Chor, Kammermusik, Kontraltanz, Englisches Theater, Bühnenbild, Italienisch, Akademiezeitung, Improvisations-Theater, Film, Slackline/Volleyball und Naturkunde. Einige dieser Aktivitäten waren schon in der Ausschreibung enthalten, die übrigen ergaben sich durch Angebote während des Vorbereitungsseminars.

7.1 Chor

Leitung: Cornelia Samuelis
Bericht: Madita Schrödter

Nach dem gemeinsamen Einsingen in den ersten beiden Tagen war festzustellen, dass der Chor dieses Jahr mit sieben Leuten recht klein ausfiel. Die kleine Gruppe war jedoch umso motivierter und füllte so die Lieder mit viel Leben. Eine bunte Mischung verschiedenster Musikgattungen, u.a. ein rhythmischer Sprechgesang, ein Kanon und verschiedene mehrstimmige Lieder, brachte die Chorleiterin Cornelia Samuelis mit in die Runde. Als geheimer Elvis-Fan entpuppte Cornelia sich bei dem Lied „Teddybear“, welches wir mit viel musischem und tänzerischem Ausdruck sangen. Das Lied „Evening Rise“ entwickelte sich zum gemeinsamen Favorit, sodass wir regelmäßig singend über den Burghof liefen und diesen Ohrwurm auch beim Abendessen beibehielten. Dank der Geduld und guten Laune von Cornelia hat sich die Gruppe sozial und musisch weiterentwickelt. Ein großes Dankeschön für die schöne Zeit!

7.2 Kammermusik

Leitung: Cornelia Samuelis
Bericht: Nora Schotten, Marie-Louise Siegmann

Auch dieses Jahr trafen sich Musiker unter den Teilnehmern, um gemeinsam Stücke aus den verschiedensten Genres zu erarbeiten. Unter der ambitionierten Leitung von Cornelia Samuelis beschäftigten sich die begeisterten Instrumentalisten mit einer interessanten Kombination mehrerer Lieder und Stücke. Neben dem gemeinsamen Song „Caravanseraï“ von Loreena McKennit, welcher die Teilnehmer in eine orientalische Stimmung versetzte, trafen sie sich in kleinen Ensembles. Im Vordergrund stand dabei, dass eine Kombination aus irischer Folklore, Jazz, Rock/Pop und Jiddischer Musik zustande kam. Als moderne populäre Musik wurden „He’s a pirate“ mit Geige und Klavier und Jack Johnson’s „Better Together“ mit Gesang, Gitarre und Cajon in das Programm aufgenommen. Um ein großes Spektrum an musikalischen Stilen darzubieten, wurde „All that Jazz“ mit Gesang und Klavier besetzt. Ein rhythmisches Tanzlied aus Irland wurde mit Geige, Gitarre und Djembe verwirklicht. Um auch ein Stück weit in die Richtung der klassischen Musik zu gehen, beschäftigten sich zwei Teilnehmer mit Gesang und Gitarre mit einem außergewöhnlichen Stück in jiddischer Sprache, genannt „Dem Milners Trem“.

Auch wenn das Arrangieren und Zusammenwirken der verschiedenen Instrumente und Musikern teilweise schwierig wurde, waren immer alle mit Spaß dabei und stolz auf die große Vielfalt an musikalischer Darbietung, welche in kürzester Zeit zustande kam.

7.3 Kontratanz

Leitung: Moritz Nocher, Ingeborg Heuschkel
Bericht: Madita Schrödter

Auch dieses Jahr fanden sich vier Schülerinnen und vier Schüler zum gemeinsamen Kontratanzen zusammen. Der altenglische Kontratanz wird in Paaren getanzt, die in einer Formation verschiedene Figuren darstellen. Moritz Nocher erwies sich als guter Lehrer, doch auch die schnelle Auffassungsgabe der Tanzpaare ließ die komplexen Figuren leicht erlernen. Binnen der ersten Stunde hatten wir bereits einen ganzen Tanz gelernt und hatten Spaß dabei, das Tanzbein zu schwingen. Wir tanzten in verschiedenen Grundaufstellungen und jeder Tänzer musste mitdenken, da es verschiedene Schritte und Figuren gibt, die aufeinander folgen. Schon bald hatten sich alle an die etwas andere Art des Tanzens gewöhnt und mit Freude tanzten wir diverse Figuren, von der „Mühle“ über „Mogeln“ bis zum „Viereck“. Auch nachdem Moritz die Akademie aus persönlichen Gründen verließ, feilten wir an zweien der Tänze in selbständiger Arbeit. An dieser Stelle möchte sich die Tanzgruppe bei allen Mitwirkenden bedanken, darunter Moritz Nocher als Choreograph und Ingeborg Heuschkel als Flötistin; des weiteren einen herzlichen Dank für die tatkräftige Unterstützung von Cornelia Samuelis für die musische Begleitung durch ihr Geigenspiel und schließlich Natalija Krüger, die uns bei der Ausarbeitung für die Präsentation des Tanzes zur Seite stand.

7.4 Englisch Theater

Leitung: Ingrid Metzler
Bericht: Albrun Knof, Annika Walter

From the very beginning of the HSAKA, an Academy without English Theatre was unthinkable. On our third day at Burg Fürsteneck, we met in the Great Hall for the first time. It was a nice mixture of new members and old experienced actors, who all together were very eager to be on stage and to create their own characters.

For a good play you need characters who are clear and definite and who can be developed during rehearsals. Theatre's demand is to give life to the story, time to practice, and to perform the play on the stage in the end.

Now, our plot is simple enough: Fullheart is not a very intelligent man, but he is scrupulous and impudent, and he knows on which side one's bread is buttered. Moreover he is a very charming person, so in our story he has managed to become the favorite employee of the Minister Redfern and the darling of the Minister's women. Fullheart intends to win the daughter's heart - maybe even to marry her - and he uses the Redferns' maid to get more private information about the family...

Actors

Paul Redfern:	Max Bieri
Lady Redfern:	Lena Walter
Claire Redfern:	Annika Walter
Grandmother:	Albrun Knof
Denis Fullheart:	Christoph Bläser
Stuart Benton:	Gregor Angeloni
Edgar Wilcocks:	Yorck Kessler
Roger Wilcocks:	Ramin Karbalaie

Scenery Paintings

Christoph Bläser

Martin Müller

Franziska Larisch

Leon Strauss

Julia Ruff

Sinja Langer

Birthe Anne Wiegand

Anna Krüger

Stage Manager

Christian Englisch

Light

Florian Thoß

Fabian Angeloni

Plot and Direction

Ingrid Baumann-Metzler

Many thanks to all those who helped realizing this project!

7.5 Bühnenbild

Leitung: Birthe Anne Wiegand

Bericht: Julia Ruff

Um für das Englische Theater eine Hintergrundkulisse zu erstellen und so den Zuschauer zu unterstützen, sich in die entsprechende Situation hineinzusetzen, wurde die Bühnenbild-KüA gegründet. Sieben ambitionierte Hobbykünstler fanden sich zusammen, um Farben und Leben auf sechs große Leinwände zu bringen.

Der Inhalt der Motive, zunächst auf Papierskizzen dargestellt, wurde von der Leitung des Englischen Theaters vorgegeben. Somit konnte am ersten Tag gleich die unterste Grundierschicht mit Acrylfarbe aufgetragen werden, um am darauffolgenden Tag viel Raum für die kreative Umsetzung der Motive auf der Leinwand zu ermöglichen.

Es wurden zahlreiche Farbauftragetechniken angewendet, um die Leinwände zu kolorieren und zu schattieren, und sämtliche Regeln der perspektivischen Verzerrung berücksichtigt, sodass die recht realistische Wirkung der Bilder den Zuschauer in eine andere - von den Schauspielern inszenierte - Welt befördern konnte.

In intensiver Teamarbeit und einigen Überstunden haben wir unsere gemeinsame Zeit genossen, sind stolz auf unser Werk und freuen uns, dass es als eine zentrale Requisite des Englischen Theaters verwendet werden konnte.

7.6 Italienisch

Leitung: Fabian Angeloni

Bericht: Florian Thoß

Italiener reagieren immer sehr emotional, können nicht Auto fahren, essen eigentlich die ganze Zeit nur Nudeln und fuchteln gerne mit den Händen. Deutsche essen dafür immer nur Weißwurst, Kartoffeln und Sauerkraut, tragen gerne Lederhosen, sind verbissen und überpünktlich. In der Italienisch-KüA unter der Leitung von Fabian Angeloni (übersetzt: *große Engel*) setzten wir uns mit der italienischen Kultur auseinander. Hierzu gehörte es, sich erst einmal über gegenseitige Vorurteile klar zu werden und zu erörtern, inwiefern diese zutreffend oder eben nicht zutreffend sind. Desweiteren beschäftigten wir uns mit Themen wie der Politik, Akzenten, Unterschieden zwischen Nord- und Süditalien, aber insbesondere mit der Esskultur und dem Alltagsverhalten. Nicht zu vergessen ist

natürlich noch die richtige Begrüßung (Handschlag, Umarmung oder Wangenküsse in unterschiedlicher Intensität), bei der deutsche Sitten im Vergleich sehr distanziert sind, und das korrekte Rollen von Spaghetti, was wir dann beim Mittagessen gleich auch üben konnten.

Die meiste Zeit verbrachten wir jedoch damit, Grundzüge der italienischen Sprache zu erlernen. So waren die Teilnehmer nach eineinhalb Wochen in der Lage, sich auf Italienisch zu begrüßen („Buongiorno...“), etwas Small-Talk zu halten („Come stai?“ - „Bene, grazie, e tu?“), ein Hotelzimmer mit Meerblick zu reservieren („una camera con vista sul mare“), ein Vier-Gänge-Menü zu bestellen („Per me...“), mehrere Verben zu konjugieren und - unabdingbar für die italienische Aussprache - hatten ihre Fähigkeiten im R-Rollen verbessert.

Fabian agierte als Kursleiter immer sehr engagiert und kompetent, verstand es aber auch, etwa durch lustige Anekdoten die Atmosphäre sehr entspannt zu halten.

Abschließend entwarfen wir ein kurzes und amüsanter Bühnenstück mit dem Titel „Wie man als Italiener flirtet“ - und das Ganze natürlich auf, wie sollte es anders sein: Italienisch.

7.7 Akademiezeitung

Leitung: Florian Kroh, Stefan Thoß
Bericht: Florian Thoß, Stefan Thoß

Zum fünften Mal in Folge durfte auch dieses Jahr die Zeitung als kursübergreifende Aktivität nicht fehlen. Mit einem neunköpfigen Redaktionsteam, bestehend aus Fabian Angeloni, Alice Bertram, Thomas Maetz, Marc Miltenberger, Philip Risius, Leon Strauss und Florian Thoß unter der Leitung von Florian Kroh und Stefan Thoß, entstand täglich eine Zeitungsausgabe, die jeden Abend von den Akademieteilnehmern mit Spannung erwartet wurde. Innerhalb von nur 90 Minuten beriet man sich über mögliche Themen, schrieb anschließend genug Artikel für eine vier- bis sechsseitige Ausgabe, korrigierte Texte, druckte und faltete. Wenn die Zeit dann mal doch nicht reichte, so war immer jemand bereit, einen Teil seiner Freizeit und damit anschließenden Mahlzeit zu opfern. Der Inhalt der sogenannten „Die BURG“ (als satirischer Gegenentwurf zu einer bekannten Tageszeitung) bot dem Leser eine Mischung aus Berichterstattung über das Burg- und Kursgeschehen, Zitaten, aktuellen Trends und Rätseln. All das war natürlich stets gepaart mit Humor und Ironie, sodass in der Redaktion trotz der ernsthaften und motivierten Arbeitshaltung immer ein angenehmes Klima herrschte.

7.8 Improvisations-Theater

Leitung: Constanze Thomas, Christoph Cuno
Bericht: Jan-Gunther Gosselke

Improvisations-Theater - das ist spontanes Schauspielern mit viel Eigeninitiative. Denn nur so entstehen witzige und für das Publikum interessante Szenen. Doch dafür braucht es Spontanität, Schauspielkunst und Kreativität, und genau das haben wir in unserem kursübergreifenden Angebot geübt. So haben wir z.B. letzteres mit dem Spiel „Freeze“ trainiert: Zwei Schauspieler beginnen eine Szene ihrer Wahl und versuchen, sie möglichst interessant darzustellen. Zu einem beliebigen Zeitpunkt darf einer der momentan nicht auf der Bühne befindlichen Mitspieler „Freeze“ rufen; die Schauspieler erstarrten. Nun nimmt der Rufende die Position eines der beiden Schauspieler ein und initiiert mit dem Verbliebenen eine völlig neue Szene. So entstehen jedes Mal lustige Situationen, auch dank der ungezwungenen Atmosphäre. Diese wird durch anfängliche Entspannungsübungen, etwa Autogenes Training oder Massagen, gefördert. Daraufhin folgt meist das Training des Körpergefühls: Wir alle

durchqueren den Raum und fühlen uns je nach Situation so, als ob keine Schwerkraft wirken würde oder als ob wir im Lotto gewonnen hätten. Je nach Tagesprogramm geht es dann weiter mit dem Darstellen von Emotionen im „Emotionstaxi“ in dem alle Mitfahrer die Gefühle des zuletzt zugestiegenen teilen, oder mit Spielen wie eben „Freeze“ oder „Der verrückte Professor“. Zum Abschluss besprachen wir die Ergebnisse in einer Feed-Back-Runde, bevor es dann für uns zum Mittagessen ging.

7.9 HSAKA-Film

Leitung: Bendikt Weygandt, Christian Englisch
Bericht: Christian Englisch

Unser Ziel war es, einen Film über die Hessische Schülerakademie zu drehen und auch zu schneiden, sodass wir uns noch einmal leichter an schöne Momente würden zurückerinnern können.

Die Videoaufnahmen wurden teils von den Betreuern, teils von den Schülern selbst getätigt, ebenso das Auswählen der Szenen und das Zusammenschneiden. Insbesondere wurde viel Wert darauf gelegt, dass jeder sowohl am Filmen als auch am Schneiden beteiligt ist - so konnte jeder Erfahrungen sammeln, um nach der Akademie auch eigene Projekte angehen zu können. Zum Filmen und Fotografieren stand jeweils ein Gerät zur Verfügung, und zum Bearbeiten der Aufnahmen wurde ein von den Betreuern bereitgestelltes Programm benutzt. Alle waren sehr motiviert und hatten viel Spaß an der Sache. Leider war zu wenig Zeit übrig und zu viel Filmmaterial vorhanden, um alle Szenen auf der Burg zu schneiden, sodass dies noch im Nachhinein von den Betreuern erledigt werden musste.

7.10 Slackline und Volleyball

Leitung: Philipp Finke, Johannes Bufe
Bericht: Philipp Finke

Volleyball - gut... Aber was bitteschön ist *Slackline*? Diese Frage stellten sich die meisten Schüler, als sie zum ersten Termin erschienen. Slackline ist eine Trendsportart, die von Kletterern entwickelt wurde, und bei der man über einen Spanngurt zwischen zwei Bäumen hin und her balanciert. Nach anfänglichen Schwierigkeiten machten die Schüler schnell Fortschritte und verbesserten sich von Termin zu Termin. Mit Übungen wie dem gemeinsamen Gehen als Paar auf der Slackline lernten die Schüler allmählich, sich frei auf der „Line“ zu bewegen. Insgesamt verbesserte sich die Gleichgewichtsfähigkeit aller Schüler deutlich, und das Ziel, die Schüler auf eine kurze Kür am Präsentationsabend vorzubereiten, wurde mehr als erreicht.

Volleyball ist, wie eher bekannt sein dürfte, eine Mannschaftssportart, bei der sich zwei Mannschaften mit jeweils sechs Spielern auf einem durch ein Netz geteilten Spielfeld gegenüberstehen. Das Spiel bietet dabei Wettkampf und Konkurrenz, aber gleichzeitig auch die Möglichkeit, als Teil einer Mannschaft Teamfähigkeit zu trainieren und unter Beweis zu stellen. Im Volleyballkurs wurden zunächst grundlegende Techniken, Regeln und Strategien trainiert sowie im Spiel eingesetzt. Ebenso wie das Erlernen der Grundlagen standen dabei auch der Spaß an Bewegung und das Spielen im Team im Vordergrund.

7.11 Naturkunde

Leitung: Wolf Aßmus, Alexander Dick

Im Rahmen der Naturkunde-KüA begaben wir uns auf die Suche nach Tieren und Pflanzen in der Nähe der Burg. Dabei entstanden zahlreiche Photographien, von denen viele im Rahmen des Abschlussprogramms gezeigt wurden. Hier eine kleine Auswahl:



8 Interdisziplinäre Vorträge

In einem Morgenplenum berichtete Nadine Langguth über ihr Promotionsvorhaben „The impact of physical activity on depressed mood in adolescents: A motivational intervention“, und Christoph Berger-Waldenegg steuerte einen Abendvortrag bei, in dem er eines der Themen seines Kurses, die „kontrafaktische Geschichtsschreibung“, für alle Teilnehmer darlegte. Diplomphysikerin Claudia Blöser, die zur Zeit in Philosophie promoviert und Mitglied des Großen Konvents der Evangelischen Akademie Arnoldshain ist, referierte und diskutierte mit uns ein Thema, welches momentan besonders aktuell ist:

8.1 Freiheit und Verantwortung - Neue Fragen durch die Hirnforschung?

Vortragende: Claudia Blöser

Die Debatte um Freiheit und Verantwortung hat eine lange philosophische Tradition. In den letzten Jahrzehnten wurden in dieser Debatte neue Stimmen laut, und zwar die der Neurowissenschaftler.

In den Libet-Experimenten wird der Zeitpunkt einer Willensentscheidung gemessen, zu dem die Versuchsperson die Hand heben möchte. Das überraschende Ergebnis ist, dass sich ein neuronales Bereitschaftspotential zur Handlung aufbaut, noch *bevor* die Person die Willensentscheidung vollzieht. Daraus folgern Hirnforscher wie Gerhard Roth und Wolf Singer, dass „das Gehirn entscheidet“, und somit das bewusste Ich nicht verantwortlich (und somit auch nie schuldig) für seine Handlungen ist. Dass diese Schlussfolgerung voreilig ist, wird u.a. an drei Punkten deutlich:

1. Mit der Konzentration auf eine unmittelbar bevorstehende Aufgabe entsteht bereits das Bereitschaftspotential zu der auszuführenden Handlung. Der Willensakt, „jetzt“ zu drücken, ist nur eine kleine Teilentscheidung.
2. Handlungen, bei denen Absicht und Ausführung weit auseinander liegen, oder die einen längeren Zeitraum beanspruchen, lassen sich schwer im Labor untersuchen.
3. Die Möglichkeit, anders handeln zu können, ist noch nicht widerlegt, da es eine Veto-Möglichkeit gibt. Das Vorhandensein eines Bereitschaftspotentials bedeutet deshalb noch nicht zwingend, dass die Handlung auch ausgeführt wird.

Neurobiologische Experimente, so die in diesem Vortrag vertretene These, bieten nur *eine* Perspektive auf menschliche Entscheidungen, während die Perspektive der *Gründe* einer Person von der Hirnforschung nicht eingefangen wird. Aus einer Perspektive lässt sich zum Beispiel sagen, dass ich den Raum nicht verlasse, weil sich kein Bereitschaftspotential aufgebaut hat, aber aus der Perspektive der Gründe ist das nicht relevant, sondern vielmehr mein Grund, den Vortrag zu Ende halten zu wollen.

Generell ist die These des Determinismus, dass der Zustand der Welt zusammen mit allen Naturgesetzen das weitere Geschehen notwendig festlegt, nicht unvereinbar mit Freiheit, wenn man eine kompatibilistische Position vertritt. Diese muss verständlich machen, wie man sagen kann, dass eine Person hätte anders handeln können, als sie es tatsächlich getan hat. In diesem Vortrag wurde folgender Vorschlag erläutert: Dass eine Person hätte moralisch handeln können, obwohl sie es nicht getan hat, heißt, dass die Person eine bestimmte Fähigkeit besaß. Relevant ist die Fähigkeit, moralische Gründe zu erkennen und nach ihnen zu handeln.

Dies wirft die schwierige Frage auf, wie man das Vorliegen dieser Fähigkeit bei einer Person feststellen kann. Eine interessante Antwort bietet das Strafrecht, das im §20 festhält, wann eine Person „ohne

Schuld“ handelt. Dies ist dann der Fall, wenn aufgrund einer Störung die Fähigkeit, Unrecht einzusehen oder nach dieser Einsicht zu handeln, nicht oder nur eingeschränkt vorliegt. Somit muss nur die Abwesenheit von Störungen festgestellt werden, und diese Abwesenheit ist gleichbedeutend damit, dass die Person die relevanten Fähigkeiten besitzt und verantwortlich ist. Neurowissenschaften können präzise über neuronale Grundlagen der Störungen Auskunft geben, aber sie können nicht grundsätzlich unser Selbstverständnis als verantwortliche Personen in Frage stellen - ein gesundes Gehirn ist vielmehr die Voraussetzung, um überhaupt verantwortlich sein zu können.

8.2 Kontrafaktische Geschichtsschreibung

Vortragender: Christop Berger-Waldenegg

Die meisten Historiker hegen traditionell große Vorbehalte, ja eine entschiedene Abneigung gegenüber so genannten kontrafaktischen bzw. *was-wäre-wenn*-Überlegungen. Das historiographische Geschäft gut zu betreiben, sei, so die weitaus überwiegende Auffassung, ohnehin schon genügend kompliziert, weshalb man sich nicht noch eine zusätzliche Aufgabe aufbürden solle. Zudem solle man nur das erforschen, was tatsächlich geschehen sei, nicht das, was eventuell hätte auch stattdessen geschehen können, zumal entsprechende Überlegungen lediglich spekulativen Charakter hätten. Mittlerweile hat sich diese Einstellung merklich geändert, wohl nicht zuletzt deshalb, weil Historiker sich immer weniger darüber hinwegtäuschen können, dass sie zumindest dann zwangsweise kontrafaktische Überlegungen anstellen (implizit oder explizit), wenn sie vergangenes Geschehen kausal zu erklären versuchen. So impliziert die Hypothese, Deutschland habe den Ersten Weltkrieg infolge einer fehlgeleiteten Strategie verloren, zugleich die These, dass der Krieg bei Befolgung einer anderen Strategie zumindest vielleicht nicht verloren gegangen wäre. Gerade in Erklärungen erblicken aber die allermeisten Historiker ihre eigentliche Aufgabe. Als Ergebnis des vor etwa 20 Jahren einsetzenden allmählichen Umdenkens widmen sich auch prominente Historiker den methodisch-theoretischen Voraussetzungen und Implikationen einer solchen Beschäftigung. Auch nehmen mittlerweile recht viele Mitglieder der Zunft explizite kontrafaktische Analysen vor. Wie weit solche Fallstudien aber tatsächlich tragen, darüber gehen die Meinungen nach wie vor stark auseinander. Erblicken die einen darin eine eher spekulative, aber immerhin faszinierende bzw. spannende Beschäftigung, so beurteilen dies andere als durchaus seriöses Unternehmen, im Einklang mit Mitgliedern anderer Disziplinen wie der Politologie. Wenigstens vereinzelt wird sogar behauptet, dass sich kontrafaktische historiographische Analysen allenfalls graduell, nicht qualitativ von solchen herkömmlicher Art unterscheiden, da beide nach plausiblen Belegen für ihre Thesen suchen. Allerdings erblickt in kontrafaktischer Geschichtsanalyse wohl niemand eine Art Königsweg, sehr wohl aber eine Methode, die - sorgfältig genug und explizit angewendet - Geschichtsanalysen um einen wichtigen Aspekt bereichern und deshalb den Wissenschaftscharakter der Disziplin erhöhen kann. Dies könnte nicht zuletzt in einer Zeit relevant sein, in der besagter Charakter häufiger denn je in Frage gestellt wird.

9 Vortrag zum Vorbereitungsseminar

Vortragender: Martin Mattheis

Begabtenförderung in der Schulpraxis in verschiedenen Fächern

Lehrerpersönlichkeit

„In Dir muss brennen, was Du in anderen entzünden willst.“ Gemäß diesem Ausspruch von Aurelius Augustinus (354-430) muss zunächst einmal die Lehrkraft von ihrem Fach begeistert sein, denn sonst wird sie es niemals schaffen, Schülerinnen und Schüler mitzureißen und deren Begabungen zu fördern. Zusätzlich muss die Lehrkraft insgesamt ein lernfreundliches Klima in der Lerngruppe schaffen und den Schülerinnen und Schülern mit Lob und echter Anerkennung begegnen.

Schülerinnen und Schüler lernen a) aus Interesse an den Lerninhalten, b) für gute Noten und c) um der Lehrkraft zu gefallen. Diese drei Komponenten gilt es auch bei der Begabungsförderung bewusst einzubringen.

Begabungsförderung im regulären Unterricht

Auf organisatorischer Ebene gibt es verschiedene Möglichkeiten, spezielle Begabungen zu fördern: vorzeitige Einschulung, Musikklassen, bilingualer Unterricht, das Überspringen von Klassen, Schulen mit speziellen Klassen für Hochbegabte oder die Kooperation mit außerschulischen Einrichtungen wie z. B. Universitäten.

Speziell für die Mathematik gibt es das Bund-Länder-Projekt SINUS zur *Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts*. Einer der Schwerpunkte von SINUS ist das Öffnen von Aufgaben. Dabei sollen Aufgaben so gestellt werden, dass sie nicht kleinschrittig auf ein bestimmtes Ergebnis führen und dass es nicht nur eine Lösung bzw. einen Lösungsweg gibt.

Aus geschlossenen Aufgaben können offene werden, wenn man Informationen weglässt, Ausgangsbedingungen variiert, eine Aufgabe umkehrt, mehrere bzw. alle möglichen Lösungen suchen oder das Vorgehen begründen lässt.

Begabungsförderung durch Zusatzangebote

Schulintern am einfachsten zu verwirklichen sind Zusatzangebote durch Arbeitsgemeinschaften. Diese können Unterrichtsthemen vertiefen, zusätzliche Themen bearbeiten, gemeinsam populärwissenschaftliche Bücher lesen oder auf Wettbewerbe vorbereiten.

Etwas aufwändiger sind Exkursionen zu Museen als außerschulischen Lernorten. Für Mathematik bieten sich hier das Mathematikum in Gießen und das Arithmeum in Bonn an. Letzteres - wie auch das Heinz-Nixdorf-Museums-Forum in Paderborn auch in Hinblick auf die Informatik. Mehr auf die Physik ausgerichtet wären z. B. das Deutsche Museum in München oder das Dynamikum in Pirmasens. Historische Museen, mit denen man geschichtliche Themen aufbereiten kann finden sich unzählige in jeder mittleren und größeren Stadt.

Dem natürlichen Drang nicht nur Jugendlicher die eigene Leistungsfähigkeit im direkten Vergleich mit anderen zu messen, kommen Wettbewerbe entgegen, die zudem noch gut für die Außenwirkung von Schulen sind und deswegen von vielen Schulleitungen unterstützt werden.

Für die Mathematik ist das Angebot an Wettbewerben reichhaltig:

- Jugend forscht / Schüler experimentieren
- MONOID

- Känguru der Mathematik
- Landeswettbewerb Mathematik (z.B. in Rheinland-Pfalz)
- Mathematik ohne Grenzen (Klassenwettbewerb)
- Mathematik-Olympiade
- Bundeswettbewerb Mathematik
- Internationale Mathematik-Olympiade

In der Informatik wären geeignete Wettbewerbe:

- Jugend forscht / Schüler experimentieren
- Informatik-Biber für die Klassen 5 bis 13 (Bundeswettbewerb & Universität Münster)
- Bundeswettbewerb Informatik
- Intel-Leibniz-Challenge (Universität Hannover)

Im Bereich der Geschichte und Sozialkunde ist das Angebot weniger reichhaltig:

- Geschichtswettbewerb des Bundespräsidenten (Körper-Stiftung)
- Schülerwettbewerb zur politischen Bildung (Bundeszentrale für politische Bildung)
- Die Deutschen und ihre östlichen Nachbarn

Weitergehend sind mehrtägige Workshops, bei denen die Schülerinnen und Schüler über mehrere Tage oder auch Wochen zusammenarbeiten. Solche Workshops wären neben der Hessischen Schülerakademie auf Mathematik bezogen z.B. die mathematische Modellierungswoche der Universität Kaiserslautern, die Mainzer Mathe Akademie oder das Mathe-Camp der Universität Göttingen.

Mögliche Umsetzungsprobleme bei der Begabtenförderung

Schulische Konzepte der Begabungsförderung hängen sehr stark an den einzelnen Lehrkräften, die sich dafür über das normale Maß des Unterrichtens hinaus engagieren. Wenn sich die Rahmenbedingungen ändern, Lehrkräfte anderweitig eingesetzt werden müssen oder ganz ausfallen kann damit das ganze Konzept einer Schule in Mitleidenschaft gezogen werden. Deshalb ist es unerlässlich die Begabungsförderung an einer Schule in Lehrerschaft, Schulleitung, Elternschaft und nicht zuletzt bei den Schülerinnen und Schülern nachhaltig zu verankern.

Außerhalb der Schulen ist es unerlässlich an den Hochschulen eine systematische und fundierte Hochbegabendidaktik zu entwickeln und zu etablieren.

Als Fazit kann man fest halten, dass es reichhaltige Angebote an Möglichkeiten der Begabungsförderung in der Schule gibt. Die Aufgabe der Lehrkraft besteht zum Einen darin sich in ihren Fächern einen Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten zu verschaffen und zum Anderen dafür geeignete Schülerinnen und Schüler - zum Teil auch durch sanften Druck - mit diesen Maßnahmen zu fördern.

Der Referent unterrichtet als Oberstudienrat Mathematik, Geschichte und Informatik am Frauenlob-Gymnasium in Mainz, er leitet dort auch eine Schauspielgruppe; zusätzlich abgeordnet für Didaktik der Mathematik an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz; Mitglied der Monoid-Redaktion.

Quellen

- Meidinger, Heinz-Peter: Begabtenförderung am Gymnasium zwischen Anspruch und Wirklichkeit, in: Profil. Das Magazin für Gymnasium und Gesellschaft (Deutscher Philologenverband), Heft 1-2/2010, S. 24-28

- Informationen und Links zu allen Wettbewerben:
<http://mathematik.bildung-rp.de/mathematik-wettbewerbe.html>
- Mathematischen Lese-Liste unter:
<http://www.mathematik.uni-mainz.de/Members/mattheis/listen>
- http://sinus-transfer.uni-bayreuth.de/module/modul_1weiterentwicklung_der_aufgabenkultur/aufgaben_oeffnen.html?no_cache=1&sword_list%5B%5D=aufgaben

10 Gästenachmittag

Programm des Gästenachmittags

15 Uhr

Gemeinsames Kaffeetrinken

16 Uhr

Chor

Begrüßung

Grußworte

Präsentationen

Geschichtswissenschaft wozu?

Mathematik nach dem Abitur

Informatik: Visualisierung und Rendering

Physik der Atmosphäre

Akademiechor

Kammermusik

Italienisch

Naturkunde

Kontratanz

Slackline

18:30 - 20:00 Uhr

Gemeinsames Abendessen

19:30 Uhr

English Theatre „Bad Luck, Mr. Fullheart“

Im Anschluss fand ein geselliger Ausklang des Tages statt.

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

Akademiezeitung „BURG“

Akademie - Fotoshow

Presseecho

Akademie-Film

11 Pressebericht

Hochgradig neugierig

Miriam Claus und Hannah Becker, Hersfelder Zeitung
11.08.2010

Hessische Schülerakademie tagt für zwei Wochen auf der Burg Fürsteneck

Eiterfeld. Wie hell ist eigentlich der Mond? Und führt die Menschheitsgeschichte zwangsläufig zu einem Ziel? Was passiert, wenn man kalte Cola neben einen warmen Kaffee stellt - und schon ist der Kurs auf Burg Fürsteneck beim zweiten Satz der Thermodynamik angelangt. Solche praktischen Bezüge motivieren, betuern Schüler und Dozenten. Obwohl es beim Thema Motivation ungleich weniger Schwierigkeiten gibt, als beim regulären Frontalunterricht in den Schulen. Denn die jungen Teilnehmer der Klassen 10 bis 13 legen ein besonderes Interesse für ihr Fachgebiet an den Tag und vertiefen es im Rahmen der zweiwöchigen Hessischen Schülerakademie. Dieses Jahr besteht das Kursangebot aus Mathe, Physik, Informatik und Geschichte. Man könne sich aber auch andere Konstellationen vorstellen, erzählt Dr. Cynthia Hog-Angeloni, wie etwa das Angebot um Biologie und Philosophie zu erweitern. Dies sei aber nur dann möglich, wenn es die Kapazitäten der Burg zulassen. Hog-Angeloni leitet die Akademie gemeinsam mit Prof. Wolfgang Metzler.

Präsentation

Alle jungen Teilnehmer stellen ihre eigens erarbeiteten Präsentationen der Klasse per Powerpoint, Tafel und Flipchart vor und diskutieren gemeinsam darüber. Vier Stunden täglich verbringen die Schülerinnen und Schüler in ihren Kursen. „Bei uns Informatikern wird vor allem nachmittags gerne experimentiert“, erzählt Prof. Detlef Krömker. Da sich die begabten Schülerinnen und Schüler in der Regel auf Proseminarsniveau befänden, gelingt dieser Ablauf reibungslos und in einer angenehm lockeren Atmosphäre. Der sechzehnjährige Leon aus Offenbach kann das bestätigen: „Es ist eine Kombination aus Lernen und vielen interessanten Begegnungen.“ Wie er hat auch Antje aus Frankfurt bereits letztes Jahr an einer Schülerakademie teilgenommen. „Viele meiner Mitschüler finden es toll, dass ich hier mitmache“, meint die Schülerin, die später gerne Informatik studieren würde. Schon mitten im Studienleben ist der 21-jährige Stefan aus Darmstadt. Er ist einer der studentischen Betreuer, die sowohl Schüler als auch Dozenten unterstützen. Der angehende Wirtschaftsinformatiker ist vor allem von der Lernbereitschaft und dem Potential der Teilnehmer begeistert. Bei so viel Wissensdurst unter den Schülern verwundert es nicht, dass es neben dem regulären Kursangebot noch ein weiteres Programm gibt, dessen Schwerpunkt im musisch-kulturellen Bereich liegt.

Ganzheitlichkeit

„Musische Bildung ist ja nicht intellektfeindlich“, betont Prof. Dr. Wolfgang Metzler, Mitorganisator der Hessischen Schülerakademie. „Heute legt man wieder Wert auf Ganzheitlichkeit; es besteht Nachfrage nach ausgebildeten Persönlichkeiten.“ Und so können die Jugendlichen nach ihren Kursen zum Beispiel englisches Theater spielen oder im Chor mitsingen. In der deutschen Politik wird immer dringlicher ein Mangel an Fachkundigen und gut ausgebildeten Nachwuchskräften beklagt. Der Ansatz der Hessischen Schülerakademie macht diesbezüglich Hoffnung.

12 Auszüge aus studentischen Abschlussberichten

Während meines ersten Praktikums, über Arbeit mit Jugendlichen und auch durch Gespräche mit KommilitonInnen wird immer wieder deutlich, dass die Förderung von lernschwachen Schülerinnen und Schülern in den letzten Jahren stark ausgebaut wurde. Auch in der LehrerInnenausbildung wird - sowohl theoretisch, wie auch praktisch - viel Augenmerk darauf gelegt. Ganz anders sieht es dagegen mit der Förderung von lernstarken, interessierten und/oder begabten Jugendlichen aus. Starke Schülerinnen und Schülern laufen „nebenbei mit“. Die Hessische Schülerakademie (HSAKA) bietet in einem zweiwöchigen Ferienprogramm genau diesen Jugendlichen die Möglichkeit, sich intensiv mit Themen auseinanderzusetzen, die ihren Interessen entsprechen. Und auch uns in der Lehrerausbildung ergibt sich so die Möglichkeit, einmal die andere Seite der Medaille kennenzulernen.

(Beate Esche)

Besonders interessant war während des Vorbereitungsseminars der Beitrag von Herr Mattheis, der in seinem Vortrag verschiedene Möglichkeiten zur Begabtenförderung in der Schulpraxis vorstellte. Somit wurde eine direkte Verbindung zwischen der Akademie und dem späteren Schulalltag gezogen. (...) Darüber hinaus erstreckten sich die Jahrgänge der SchülerInnen von der zehnten bis zur dreizehnten Klasse. Die Tatsache, dass die SchülerInnen des Mathekurses aus unterschiedlichen Jahrgängen kamen und somit auch unterschiedliche Wissensstände aufwiesen, wirkte sich jedoch keinesfalls negativ auf den Kurs aus. Durch die Heterogenität entwickelten sich spannende Diskussionen, die es den älteren SchülerInnen erlaubte, ihr Wissen an die jüngeren bzw. den „Neulingen“ der Akademie weiterzugeben.

(Sinja Langer)

Bei der Kursarbeit waren die Schülerreferate der Hauptgegenstand. Eine Einheit hatte aber keine feste Gliederung. Spontane Diskurse führten einerseits zu einer lebhaften und ungezwungenen Arbeitsatmosphäre, andererseits ermöglichten sie die Entfaltung aller dabei entstehenden Ideen. So war jeder dazu eingeladen, die Diskussionen mitzugestalten, ganz gleich, welches Vorwissen ihm zugrunde lag. Es war stets spannend zu beobachten, in welche Richtungen sich auch schon kleinere Nachfragen entwickeln konnten. (...)

Ich war sehr überrascht, solch wachen und begeisterbaren jungen Menschen zu begegnen. Es ist eine Außergewöhnlichkeit in der heutigen schnelllebigen und sehr auf Entertainment gerichteten Konsumgesellschaft. Vielleicht aber beförderte oder motivierte gerade die Atmosphäre der Burg dazu, intensiv zu reflektieren, sich mit dem eigenen Selbstverständnis auseinanderzusetzen und sich auf Werte zu besinnen, die wirklich wichtig sind. So habe ich im Gespräch selbst mit den jüngeren Schülern ein hohes Reflexionsvermögen, eine reife Sicht auf die Gesprächsinhalte und ein bedachtes Konversationsverhalten beobachten können.

(Julia Ruff)

Drei Jahre in Folge war ich nun als Betreuer bei der Hessischen Schülerakademie. In diesen Jahren ist mir die Akademie ans Herz gewachsen und ich habe mich gefreut, wenn in meinen Plänen für die Sommerferien zwei besondere Wochen reserviert wurden. Indes werde ich im kommenden Jahr nicht teilnehmen können. Ich bin gespannt, welcher Art die Veränderung und Weiterentwicklung der Schülerakademie in diesem Jahr sein wird, denn ich habe vor, nach Abschluss meines Staatsexamens wieder einmal teilzunehmen und mitzugestalten.

(Benedikt Weygandt)

13 Teilnehmende

13.1 Leitung

Prof. Dr.	Wolf	Aßmus	Physik
	Ingrid	Baumann-Metzler	Englisches Theater
Dr.	Helmar	Becker	Physik
Prof. Dr.	Christoph	Berger-Waldenegg	Geschichte
Dr.	Cynthia	Hog-Angeloni	Gesamtleitung/Mathematik
Prof. Dr.	Detlef	Krömker	Informatik
Prof. Dr.	Wolfgang	Metzler	Gesamtleitung/Mathematik
Dr.	Jürgen	Poloczek	Informatik
	Cornelia	Samuelis	Musik

13.2 Studierende

Johannes	Bufe*	Informatik	Sinja	Langer	Mathematik
Christoph	Cuno*	Mathematik	Moritz	Nocher*	Geschichte
Alexander	Dick	Physik	Julia	Ruff	Mathematik
Christian	Englisch	Mathematik	Constanze	Thomas	Geschichte
Beate	Esche	Physik	Stefan	Thoß	Informatik
Philipp	Finke	Informatik	Benedikt	Weygandt	Physik
Florian	Kroh	Informatik	Birthe Anne	Wiegand	Mathematik
Natalija	Krüger*	Physik			

13.3 Schülerinnen und Schüler

Fabian	Angeloni	Geschichte	Ramin	Karbalaie	Geschichte
Gregor	Angeloni	Physik	Yorck	Kessler	Geschichte
Alice	Bertram	Informatik	Albrun	Knof	Mathematik
Maximilian	Bieri	Geschichte	Christoph	Kreiss	Geschichte
Christoph	Bläser	Physik	Franziska	Larisch	Physik
Simon	Bodenschatz	Mathematik	Antje	Loyal	Informatik
Alina	Braun	Informatik	Thomas	Maetz	Physik
Alina	Brehm	Physik	Marc	Miltenberger	Informatik
Ann-Katrin	Brunner	Informatik	Martin	Müller	Geschichte
Georg	Bube	Mathematik	Roman	Napierski	Mathematik
Johanna	Bube	Geschichte	Philipp	Risius	Informatik
Julian	Corbet	Informatik	Nora	Schotten	Physik
Alina	Ecke	Geschichte	Madita	Schrödter	Mathematik
Bernd	Fernengel	Mathematik	Marie-Louise	Siegmann	Physik
Sebastian	Gallus	Mathematik	Leon	Strauss	Informatik
Jan-Gunther	Gosselke	Informatik	Florian	Thoß	Physik
Astrid	Haderlein	Physik	Thore	Walch	Informatik
Markus	Hantschick*	Mathematik	Annika	Walter	Mathematik
Ingeborg	Heuschkel*	Geschichte	Lena	Walter	Physik
Samira	Hook	Geschichte	Lukas	Wehrheim	Geschichte
Nele	Höser	Geschichte			

13.4 Mitwirkende Gäste

Dr.	Guido	Klees*
	Anna	Krüger*

* einen Teil der Zeit anwesend