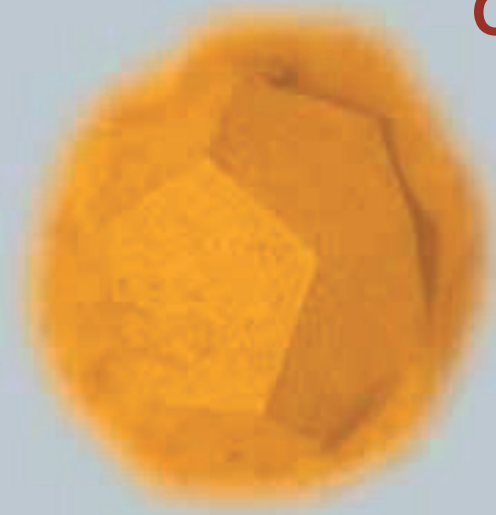


Hessische Schülerakademie 2016

OBERSTUFE



Dokumentation

14.08. - 26.08.2016

veranstaltet von
Goethe Universität Frankfurt/Main,

Hessische Lehrkräfteakademie

Hessische Heimvolkshochschule
BURG FÜRSTENECK

Schirmherr: Kultusminister Prof. Dr. Alexander Lorz

12. Hessische Schülerakademie

Oberstufe

14. – 26. August 2016

– Lehreraus- und Weiterbildung –

Dokumentation

Herausgegeben von
Cynthia Hog-Angeloni, Peter Gorzolla
und Gregor Angeloni

Eine Veröffentlichung der

Hessischen Heimvolkshochschule

BURG FÜRSTENECK

Akademie für berufliche und
musisch-kulturelle Weiterbildung

Am Schlossgarten 3

36132 Eiterfeld

Diese Dokumentation ist erhältlich unter:

<http://www.hsaka.de>



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

Sie dürfen:

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

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

Unter folgenden Bedingungen:



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



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



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

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

Hinweis:

Die ISBN-Nummer dieses Werks ist 978-3-910097-28-5. Sie ist bei einer Verwendung anzugeben.

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

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	5
2	Grußwort	6
3	Handreichung zum Lesen der Dokumentation	7
4	Mathematikkurs	8
4.1	Beweistechniken	8
4.2	Begriffsbildung	10
4.3	Der Satz von Pick & Geraden in der Ebene und Zerlegung von Graphen	11
4.4	Der Satz des Pythagoras und seine Abwandlungen	13
4.5	Undercover – der Fundamentalsatz der Algebra	15
4.6	Eine geometrische Konstruktion von Pi?	17
4.7	Der Satz von Descartes und Euler	19
4.8	Die Summe der Reziproken der Quadratzahlen	20
4.9	Probabilistische Zahlentheorie	23
4.10	Irrationalität von Zahlen	25
4.11	Das Buffonsche Nadelproblem	27
5	Physikkurs	29
5.1	Temperatur und Druck als makroskopische Größen	29
5.2	Wärmekapazität	31
5.3	Wärmetransport durch Konvektion und Wärmeleitung	33
5.4	Das Ideale Gasgesetz	35
5.5	Entropie	37
5.6	Erster Hauptsatz der Thermodynamik und Carnot-Prozess	39
5.7	Reale Gase	40
5.8	Atmosphärischer Luftdruck und Boltzmann Verteilung	42
5.9	Statistische Mechanik	44
5.10	Wärmestrahlung und Strahlungsgesetze	45
6	Informatikkurs	48
6.1	Storytelling	48
6.2	Worldbuilding	50
6.3	Artstyle	52
6.4	Animation	55
6.5	Leveldesign	57
6.6	Spiellogik I – Engines	59
6.7	Spiellogik II – Design Patterns	61
6.8	Künstliche Intelligenz	63
6.9	Musik in Computerspielen	65
6.10	User Experience	66

7	Geschichtskurs	68
7.1	Die Heldenreise	68
7.2	Cinema of Immersion	70
7.3	Erinnern und Vergessen	71
7.4	Augenzeugenschaft	73
7.5	Propaganda!	75
7.6	Rassismus!	76
7.7	Der Mythos der 300	78
7.8	Ironie & Pathos	79
7.9	Das Übersetzer-Dilemma	81
7.10	Geschichtsbilder	83
7.11	Strukturgeschichte	84
7.12	Abschluss	86
8	Musisch-kulturelle Kurse	88
8.1	Chorstudio	89
8.2	English Theatre	90
8.3	Fotographie	90
8.4	Gender und Gesellschaft	90
8.5	Italienisch	91
8.6	Kammermusik	91
8.7	Kontratanz	92
8.8	Kunst	92
8.9	Musikalische Improvisationen	93
8.10	Naturkunde	93
8.11	Storytelling	94
8.12	Theaterimprovisation	94
9	Abendvortrag	95
10	Einstiegsvortrag	97
11	Gästenachmittag	100
12	Auszüge aus studentischen Abschlussberichten	101
13	Teilnehmende	103

1 Vorwort

Nur eine Institution, die sich verändern kann, kann auch bestehen – das gilt mit Sicherheit im besonderen Maße für Bildungseinrichtungen. Veränderungen können jedoch in unterschiedlichem Gewand daher kommen. Manche geschehen unerwartet und verursachen dadurch vielleicht Probleme, andere hingegen bahnen sich so langsam an, dass ihre Effekte geradezu überraschend wirken können. Die in ihrer Geschwindigkeit unerwartete Einführung des Praxissemesters in der ersten, universitären Phase der Lehrerausbildung in Hessen ist eine solche problematische Veränderung für die *Hessische Schülerakademie (Oberstufe)*, weil sie deren bisher gültige Integration in die schulpraktischen Studienanteile der studentischen BetreuerInnen nicht mehr vorsieht – ein Umstand, der Akademieleitung und Kuratorium ebenso wie unsere Kooperationspartner an der Universität und im Kultusministerium jetzt schon seit über zwei Jahren intensiv beschäftigt. Auf der anderen Seite steht die im Grunde lang schon absehbare, dann aber doch auf angenehme Weise überraschende Erfahrung, in welchem Maße die Akademie in ihrem zwölften Jahr des Bestehens Nachwuchs zu generieren imstande ist: 2016 hat zum ersten Mal eine ehemalige Schülerin – Birthe Anne Wiegand – einen Fachkurs geleitet, stellten Ehemalige ein Drittel der studentischen BetreuerInnen, besuchte eine rekordverdächtige Zahl früherer SchülerInnen und BetreuerInnen die Kursarbeit oder den Gästenachmittag. Unsere Erfahrungen zeigen dabei, dass dies keineswegs einen konservierenden Effekt hat, ganz im Gegenteil: Unsere Ehemaligen erweisen sich als frischer Wind für die Akademie! Sie zeigen Präsenz und Initiative, pflegen einen selbstbewussten und kritischen Blick auf die Institution der HSAKA, werden durch die Aktivitäten des Alumni-Vereins zu Förderern und Botschaftern der Akademiearbeit – und viele von ihnen brennen darauf, zukünftig eine aktivere Rolle im Gefüge der Hessischen Schülerakademie zu spielen. Eine besondere Rolle kommt dabei mit Sicherheit dem Alumni- und Förderverein zu, der in diesem Jahr erstmalig durch gezielte Fördermaßnahmen die Kursarbeit und die PR-Aktivitäten der Akademie signifikant unterstützen konnte – vielen Dank dafür! Dennoch gilt: Ob innerhalb oder außerhalb des Vereins, wir freuen uns über (und auf!) jedes Engagement unserer Ehemaligen auch in 2017.

Womit wir auch schon beim Ausblick auf 2017 wären. Im Leitungsteam der musisch-kulturellen Kurse werden wir neue Gesichter aus 2016 wie Lisa Ochsendorf oder Andreas Mlynek ebenso wiedersehen wie die Rückkehr von Ingrid Baumann-Metzler, Wolfgang Metzler und Volker Kehl begrüßen dürfen. Darüber hinaus freut uns ganz besonders, dass in den Fachkursen zwei ehemalige Betreuerinnen Verantwortung als Co-Leiterinnen übernehmen werden: Theresa Kumpitsch in der Mathematik und Julia Wirth in der Geschichte.

Und wenn wir schon bei personellen Veränderungen sind, sollten wir nicht vergessen zu erwähnen, dass die vorliegende Dokumentation die erste mit einem neuen Redakteur und Mitherausgeber, Gregor Angeloni, ist. Und gemeinsam wollen wir als Herausgeberteam dieses Vorwort damit beschließen, unsere tiefe Dankbarkeit all jenen auszusprechen, die zum Gelingen der *Hessischen Schülerakademie für die Oberstufe 2016* und zum Entstehen ihrer Dokumentation beigetragen haben: den teilnehmenden SchülerInnen, BetreuerInnen und KursleiterInnen, unseren Förderern und dem gesamten Team von Burg Fürsteneck.

Frankfurt am Main, im November 2016
Peter Gorzolla, Cynthia Hog-Angeloni und Gregor Angeloni

2 Grußwort

Bildung, die begeistert

Vom 14. bis 26. August dieses Jahres wurde in der Akademie Burg Fürsteneck die 12. Hessische Schülerakademie für die Oberstufe durchgeführt.

Mit einer unglaublich hohen Motivation und Intensität arbeiteten 42 Schülerinnen und Schüler gemeinsam mit einem Team aus 18 engagierten Lehramtsstudentinnen und -studenten und 16 Dozentinnen und Dozenten in den zwölf Tagen der Schülerakademie miteinander. Ganz freiwillig in den Schulferien. Die Infrastruktur von Burg Fürsteneck, das kompetente, offene Leitungsteam, die hochmotivierten Jugendlichen sowie das Programm in einer Kombination und Einheit aus reizvollen wissenschaftlichen und musisch-kulturellen Kursen sowie kursübergreifenden Angeboten bildete den Rahmen für eine äußerst gelungene Akademie. Die Intensität der Arbeit, die Freude aller Mitwirkenden am gemeinsamen Lernen und miteinander leben war deutlich spürbar, genauso wie die positive Erfahrung einer guten Gemeinschaft und die hohe Akzeptanz untereinander unter den gleichaltrigen Jugendlichen.

Für mich als Akademieleiter auf Burg Fürsteneck fiel mein zweiter Arbeitstag Anfang September 2015 auf die Präsentation der Oberstufenakademie. Nun war ich neugierig darauf, einen intensiveren Einblick zu erhalten, den Geist der Schülerakademie zu spüren.

Besonders beeindruckt hat mich die Intensität und Energie der Akademie. Interessierte, offene und motivierte Lehrende, die mit einem hohen Maß an Kompetenz, Lust und Freude im Rahmen einer Laborsituation Raum für die Entwicklung und Eigengestaltung der Jugendlichen geben. Lehramtsstudierende, die mit Feuer für ihre Sache brennen und ihre Begeisterung und ihr Wissen „auf Augenhöhe“ im regen Austausch mit den Jugendlichen teilen. Jugendliche, die voller Neugier und Freude und Lust am gemeinsamen Leben und Lernen zu (beinahe) jeder Tages- und Nachtzeit diskutieren, forschen und Strategien entwickeln, um der Lösung einer Aufgabe oder Fragestellung auf die Spur zu kommen.

Ich meine, die Hessische Schülerakademie für die Oberstufe ist ein gutes und gelungenes Beispiel für die Beantwortung der Frage, welche Lernarrangements geeignet sind, Bildung ganzheitlich im Sinne von Lebenskompetenz zu fördern. Was sollen junge Menschen von heute für morgen lernen? Ziel unserer Arbeit ist es, junge Menschen in der Auseinandersetzung mit dem eigenen Lebensentwurf, mit ihren Wünschen, Ängsten und Hoffnungen und in ihrer Teilhabe an gesellschaftlichen Prozessen zu stärken und zu unterstützen. Ziel ist es, junge Menschen zur Übernahme von Verantwortung und auf Partizipation in den verschiedensten Lebensbereichen vorzubereiten.

Zwölf Tage lang durfte ich spüren und erleben, wie Bildung gelingen und begeistern kann, wie die Einheit von Wissenschaft und Kultur in einem sich gegenseitig ergänzenden und befruchtenden Prozess gelingen kann. Vielen herzlichen Dank dafür den Schülerinnen und Schülern, den leidenschaftlich arbeitenden Lehramtsstudentinnen und -studenten und dem engagierten und kompetenten Team unter der Gesamtleitung von Dr. Cynthia Hog-Angeloni und Dr. Peter Gorzolla.

Finanzielle Förderung sollte auch für motivierte, begabte und hochbegabte Schülerinnen und Schüler stattfinden. Vielen herzlichen Dank den finanziellen Förderern der Akademie, dem Hessischen Kultusministerium und dem Schirmherrn Hr. Kultusminister Prof. Dr. R. Alexander Lorz, der Lehrkräfteakademie und dem Landesschulamts, den beteiligten hessischen Universitäten und Hochschulen und dem Alumni- und Förderverein.

Für die Zukunft der Hessischen Schülerakademien wünsche ich allen Beteiligten weiterhin so viel Feuer und Leidenschaft, Herzblut und Freude wie bisher. Die finanzielle Grundlage darf sich gerne noch verbessern, für mehr Spielräume in Bezug auf Gestaltung, Zukunftssicherung und Weiterentwicklung. Ich wünsche Ihnen viel Freude beim Lesen dieser wissenschaftlichen Dokumentation, gute Anregungen und reizvolle Einsichten.

Hartmut Piekatz
Akademieleiter Burg Fürsteneck

3 Handreichung zum Lesen der Dokumentation

Liebe Leserin, lieber Leser,

unter dem Begriff der „Dokumentation“ können zugegebenermaßen sehr unterschiedliche Inhalte und Formate gefasst werden. Wir erlauben uns daher, Ihnen mit ein paar erklärenden Worten eine Handreichung zum Lesen dieser Dokumentation darzubieten.

Die Dokumentation der 12. Hessischen Schülerakademie (Oberstufe) 2016 beinhaltet neben einigen rahmenden Bestandteilen (wie z.B. Grußworten oder Auszügen aus den Abschlussberichten der studentischen BetreuerInnen) im Wesentlichen Texte zur Kursarbeit. Dabei beschränken sich jene zu den musisch-kulturellen Kursen auf einfache Eindrücke von der gemeinsamen Arbeit der Lehrenden und Lernenden, während das Hauptaugenmerk – bereits offenkundig am Umfang erkennbar – auf den Fachkursen liegt.

Die TeilnehmerInnen an der Oberstufenakademie wählen in ihren Fachkursen bereits im Vorfeld aus einem auf Grundlage des Sitzungskonzepts entwickelten Angebot individuelle Themen aus, die sie gemeinsam mit ihren studentischen BetreuerInnen für die Sitzungen im Sommer auf- und vorbereiten. Im Anschluss an die Sitzungen entstehen – wieder gemeinsam mit den BetreuerInnen – die Dokumentationsbeiträge. Folglich stellen diese keine Protokolle oder gar didaktische Anleitungen dar, sondern sind als Produkte einer länger währenden inhaltlichen Auseinandersetzung der SchülerInnen mit „ihrem“ Thema zu lesen. Über die eigene Vorbereitung hinaus berücksichtigen sie die Ergebnisse der Diskussionen auf der Schülerakademie, können aber genauso gut auch in der Vorbereitung erarbeitete Aspekte thematisieren, die in der Sitzung nicht oder nicht vertieft behandelt werden konnten.

Form und Format der Dokumentationsbeiträge können sich von Kurs zu Kurs unterscheiden, weil sie von Fachkultur und gewähltem Kurskonzept abhängig sind. In der Folge lesen sich die Texte auch durchaus unterschiedlich: manche etwa wie wissenschaftliche Handbuch-Einträge, andere vielleicht eher wie fachliche Reflexionen über Bedeutung und Umfang des Themas. Innerhalb eines Kurses jedoch sind Form und Stil weitestgehend vereinheitlicht, und das nicht nur, um einem gemeinsamen Kurskonzept Rechnung zu tragen: Das Schreiben im jeweils gültigen Format stellt eine der Herausforderungen dar, mit denen sich die TeilnehmerInnen auf der Akademie konfrontiert sehen – und deren Bewältigung ist eine Gemeinschaftsaufgabe des ganzen Kurses. Ob die Texte in Einzelbetreuung, in Feedbackgruppen oder gar in kleinen Schreibwerkstätten produziert werden, sie durchlaufen in jedem Fall einen mehrstufigen Erarbeitungsprozess, der von den SchülerInnen über die studentischen BetreuerInnen bis zu den KursleiterInnen führt. Dabei haben letztere Gruppen wiederum eigene Entwicklungsaufgaben zu erfüllen: Die BetreuerInnen unterstützen nicht nur den Schreibprozess ihrer SchülerInnen direkt und vor Ort, sie müssen diese Individualleistungen dann auch inhaltlich und stilistisch in das von den KursleiterInnen gestaltete und verantwortete Gesamtkonzept der jeweiligen „Kursdokumentation“ einpassen. Das Ergebnis dieser Gemeinschaftsleistung dokumentiert also sowohl individuelles wie gemeinschaftliches Arbeiten. Die Prozessorientierung steckt aber in der Entstehung der Texte, nicht in ihrer Darstellung: Diese ist auf die Themen selbst fokussiert und soll damit durchaus auch Möglichkeiten eröffnen, inhaltliche Impulse in einen didaktischen Raum (wie z.B. Schule oder universitäre Lehrerbildung) zu geben.

Peter Gorzolla & Cynthia Hog-Angeloni

4 Mathematikkurs

Beweise - zwischen mathematischem Arbeitsalltag und mathematischer Schönheit

Was machen Mathematikerinnen und Mathematiker eigentlich!? Lösen sie Probleme – oder schaffen sie welche? Rechnen sie Dinge aus? Und welche Rolle spielen die Zahlen? Wie können wir das Wesen der Mathematik beschreiben? Sind es die Formeln? Oder die Beweise? Wir werfen einen Blick hinter die Kulissen: Wie sieht die Mathematik aus, die jenseits des Schulunterrichts auf euch wartet? Ausgehend von der mathematischen Dreieinigkeit von Definition, Satz und Beweis untersuchen wir, welche Grundannahmen in der Mathematik getroffen werden und wie daraus unser mathematisches Wissen und “mathematische Wahrheit” hervorgeht. Dabei erleben wir, wie Mathematik entsteht und wie aus ersten Vermutungen Beweise werden und wie sich diese Beweise dann zu “schönen Beweisen” mit einer ihnen innewohnenden Ästhetik weiterentwickeln. Der britische Mathematiker G. H. Hardy stellte einst klar: “Die Muster des Mathematikers müssen wie die des Malers oder Dichters schön sein, die Ideen müssen wie Farben oder Worte in harmonischer Weise zusammenpassen. [...] Es gibt keinen Platz in dieser Welt für hässliche Mathematik.”

Ganz im Sinne Hardys begeben wir uns auf eine Entdeckungsreise durch das Land der schönen Beweise: Gemeinsam lesen und entdecken wir ausgewählte Highlights aus dem BUCH der Beweise. Themen sind u. a. Begriffsschärfung, Definitionsanalyse, Beweise und Widerlegungen, Bertrands Postulat, die Unendlichkeit der Primzahlen, einige Anwendungen der Eulerschen Polyederformel, Buffons Nadelproblem und ein Fünf-Farben-Satz.

Kursleitung

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

Benedikt Weygandt, Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Didaktik der Mathematik an der Freien Universität Berlin

4.1 Beweistechniken

Schüler: Erik Walter
Betreuerin: Ann-Marie Taupp

Der *Beweis* ist Bestandteil der Logik, eines Teilgebiets der Mathematik. Er dient dazu, aus wahren Voraussetzungen mit Hilfe logischer Schlüsse die *Wahrheit* einer Aussage zu folgern. Zu zeigen ist: Aus A folgt B , auch geschrieben als $A \Rightarrow B$.

Direkter Beweis

Bei dem *direkten* Beweis wird aus den gegebenen Voraussetzungen A die zu beweisende Aussage B logisch schlussgefolgert. Dies geschieht durch Einsetzen, Umformen, und Deduzieren/logisches Schließen. Als Beispiel zeigen wir, dass wenn n eine gerade natürliche Zahl ist, auch n^2 eine solche ist. Die *Aussagen* sind A : „ n ist gerade“ und B : „ n^2 ist gerade“; als Voraussetzungen lassen sich $n \in \mathbb{N}$ und „ n ist gerade“ notieren. Aus A folgt, dass es eine natürliche Zahl $k \in \mathbb{N}$ gibt, für die gilt $2k = n$. Formen wir Aussage B hiermit um, so erhalten wir $n^2 = (2k)^2 = 4(k)^2 = 2 \cdot (2k^2)$. Wir sehen: n^2 ist das Doppelte einer natürlichen Zahl – und folglich gerade.

Beweis durch Widerspruch (*reductio ad absurdum*)

Beim Beweis von $A \Rightarrow B$ durch Widerspruch wird angenommen, dass $A \wedge \neg B$ gelte und man führt diese Annahme zu einem aussagenlogischen Widerspruch. Aus der Unvereinbarkeit von A und $\neg B$ und

folgt dann, dass bei Annahme von A auch das logische Gegenteil von $\neg B$ (d. h. B) gelten muss. Als Beispiel zeigen wir, dass die Wurzel aus der Zahl 2 zur Menge der irrationalen Zahlen gehört. Das Gegenteil ist die Zugehörigkeit zur Menge der rationalen Zahlen. Wenn wir annehmen, $\sqrt{2}$ gehört zu den rationalen Zahlen, muss sie als ein vollständig gekürzter Bruch dargestellt werden können. Also lässt sich $\sqrt{2} = \frac{p}{q}$ schreiben, wobei p und q teilerfremd sind. Quadrieren wir diese Gleichung, so erhalten wir $2 = \frac{p^2}{q^2}$. Weitere Umformung liefert $p^2 = 2 \cdot q^2$. Daraus folgt, dass p eine gerade Zahl ist, also $p = 2k$ gilt. Setzen wir dies ein, erhalten wir weiter $2q^2 = 4k^2$ und nach Division durch 2 folgt $q^2 = 2k^2$. Hieraus folgt, q ist durch 2 teilbar. Dass p und q durch 2 teilbar sind, steht im Widerspruch zur a priori angenommenen Teilerfremdheit des Nenners und Zählers. Somit gehört die Wurzel aus 2 nicht zu den rationalen, sondern zu den irrationalen Zahlen.

Beweis durch Kontraposition

Anstelle der Implikation $A \Rightarrow B$ zeigt der Beweis durch Kontraposition $\neg B \Rightarrow \neg A$. Diese beiden Implikationen sind zueinander äquivalent, da B zwangsläufig gilt, wenn A gilt, auch geschrieben als $(A \Rightarrow B) \Leftrightarrow (\neg B \Rightarrow \neg A)$. Wollen wir beispielsweise die (zusammengesetzte) Aussage C „Wenn n^2 ungerade ist, ist dies auch n “ per Kontraposition beweisen, so müssen wir nun zeigen, dass wenn n gerade ist, dies auch für n^2 gilt. Dies haben wir oben getan. Die Voraussetzung in C ist nämlich die Negation der Aussage B oben und die Folgerung ist die Negation der Aussage A oben.

Da wir nun bewiesen haben, dass $\neg B \Rightarrow \neg A$ gilt, auch $A \Rightarrow B$.

Beweis durch vollständige Induktion

Der Beweis durch vollständige Induktion funktioniert für eine Aussage, die für eine bestimmte Menge von Zahlen gilt; meistens die der natürlichen. Am Induktionsanfang zeigt man, dass die Aussage für die kleinste Zahl der Menge gilt, bei den natürlichen also 0 oder 1. Der Induktionsschritt besteht daraus zu zeigen, dass wenn die Aussage für n gilt, sie auch für $n + 1$ gilt. Nun wissen wir dank des Induktionsanfangs, die Aussage gilt für 1 und wegen des Induktionsschrittes auch für 2. Wenn sie für 2 gilt, dann nach Induktionsschritt auch für 3 usw. Diese Folgerung geht dann bis ins Unendliche, womit die Aussage bewiesen ist. Beweisen wir als Beispiel die Summenformel des Grundschülers Gauß mit Hilfe vollständiger Induktion:

Summenformel: $\forall n \in \mathbb{N}, n > 0 : \sum_{i=1}^n i = \frac{n \cdot (n+1)}{2}$ Induktionsanfang: $\sum_{i=1}^1 i = \frac{1 \cdot (1+1)}{2}$

Dies lässt sich durch Nachrechnen sofort verifizieren.

Induktionsschritt: $\sum_i^{n+1} i = \sum_i^n i + (n + 1) = \frac{n \cdot (n+1)}{2} + (n + 1) = \frac{n \cdot (n+1) + 2(n+1)}{2} = \frac{(n+1) \cdot (n+2)}{2}$
 $= \frac{(n+1)(n+1+1)}{2}$

Dies ist genau der Term, den man durch Übergang von n auf $n + 1$ in der Summenformel erhält – was zu beweisen war.

Analoge Formeln für die Summe der Quadrate und die der Kubikzahlen haben wir im Kurs bewiesen. (Und gegen Ende des Kurses wurden auch direkte geometrische Beweise dafür angegeben).

Literaturverzeichnis

- *Aufgaben und Lösungen zum Vorkurs Mathematik: Beweismethoden.* (WS 2012/13). Abgerufen am 23. August 2016 von Universität Hamburg: <http://www.math.uni-hamburg.de/home/posingies/Vorkurs/AufgabenBeweiseLsg.pdf>
- *Beweistechniken.* (14. September 2014). Abgerufen am 23. August 2016 von youtube.com: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLjaA00udJtOpidLHI7RVAQUgNhttzR4cY>
- Modler, F., & Kreh, M. (2010). *Beweistechniken.* In: *Tutorium Analysis 1 und Lineare Algebra 1: Mathematik von Studenten für Studenten erklärt und kommentiert* (S. 63-78). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

4.2 Begriffsbildung

Schülerin: Alea Meyreiß

Betreuer: Rüdiger Kling

In unserer gesamten Schulzeit und sogar im alltäglichen Leben begegnen uns (mathematische und nicht-mathematische) Definitionen, deren Ursprung uns jedoch nur selten klar ist. Ein solches Beispiel in der Mathematik ist der Begriff **Wendepunkt**, an dem die Problematik der Begriffsbildung in unserem Kurs erläutert wurde. Da Wendepunkte bereits Thema in der Einführungsphase sind, konnten sich alle Schülerinnen und Schüler darunter etwas vorstellen. Dieses „Etwas“ fiel jedoch unterschiedlich aus, wie sich bei einer anfänglichen Sammlung der Ideen zu diesem Begriff herausstellte. Von zehn Schülerinnen und Schülern sahen sieben einen Wendepunkt vorrangig als Extremum der ersten Ableitung, während ihn drei als einen Krümmungswechsel der Funktion interpretierten. Ebenfalls genannt wurde die Vorstellung eines Fahrradfahrers, dessen Lenker in einem Wendepunkt gerade steht.¹

Als Grundlage für die Auseinandersetzung mit verschiedenen Definitionen für den Begriff Wendepunkt wurden sowohl Definitionen für die Konvexität (Linkskrümmung) und die Konkavität (Rechtskrümmung) einer Funktion als auch zusammengesetzte Funktionen eingeführt.

Mit diesen Voraussetzungen werden im Folgenden – wie auch in der Sitzung geschehen – vier mögliche Definitionen für Wendepunkte vorgestellt und verglichen. Ähnlich wie die Vorschläge der Schülerinnen und Schüler zu Beginn unterscheiden sich auch diese Definitionen in den Anforderungen an die Funktion.

Definition 1: Sei $f : (a, b) \rightarrow \mathbb{R}$ stetig.

Wir sagen, f habe in x_0 einen Wendepunkt, wenn es Intervalle (α, x_0) und (x_0, β) gibt so, dass eine dieser Bedingungen erfüllt ist:

f ist in (α, x_0) konvex und in (x_0, β) konkav.

f ist in (α, x_0) konkav und in (x_0, β) konvex.

Definition 2: $W = (x_0, f(x_0))$ heißt Wendepunkt des Graphen von f (wobei f in einer Umgebung von x_0 differenzierbar ist), falls die Ableitung von f in x_0 ein relatives Extremum besitzt.

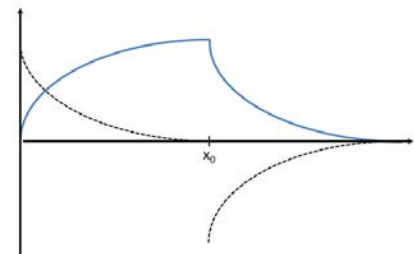
Definition 3a: x_0 heißt Wendepunkt von f , wenn die zweite Ableitung beim Durchgang durch x_0 ihr Vorzeichen wechselt, wenn also $f''(x) < 0$ für $x < x_0$ und $f''(x) > 0$ für $x > x_0$ oder aber umgekehrt (wobei nur die x in einer gewissen Umgebung von x_0 in Betracht gezogen werden).

Definition 3b: $f : I \rightarrow \mathbb{R}$ habe bei x_0 einen Wendepunkt, wenn die erste Ableitung beim Durchgang durch x_0 ihr Monotonieverhalten wechselt, wenn also $f'(x)$ streng monoton wachsend für $x < x_0$ und streng monoton fallend für x_0 ist oder aber umgekehrt

(wobei nur die x in einer gewissen Umgebung von x_0 in Betracht gezogen werden).

Die Unterschiede dieser Definitionen wurden deutlich, als wir im Kurs unterschiedliche Beispielfunktionen auf Wendepunkte untersucht haben.

Die zu diesem Graph gehörige Funktion beschreibt die Spannung eines Kondensators bei Auf- und Entladung mit Gleichstrom über einen Widerstand. An der Stelle x_0 hat sie – je nach Definition – einen Wendepunkt oder nicht. In der hierzu im Kurs veranstalteten Podiumsdiskussion kamen viele Pro- und Kontraargumente für die verschiedenen Definitionen auf.



¹Vgl. zur Vorstellung eines Wendepunktes als gerade Lenkerstellung eines Radfahrers: Büchter, Henn (2010) S. 265

So erfüllt die Funktion in diesem Punkt die in Definitionen 1 sowie 3a und 3b geforderten Bedingungen. Nach Definition 2 ist der Punkt $(x_0, f(x_0))$ jedoch *kein* Wendepunkt von f , da die Funktion in diesem Punkt nicht differenzierbar ist. Obwohl x_0 im Sachzusammenhang als der Zeitpunkt interpretiert werden kann, in dem der Schalter des Kondensators umgelegt wird und der Strom seine Richtung wechselt, widersprach dieser Punkt doch bei einigen Schülerinnen und Schülern den Vorstellungen von einem Wendepunkt.

Abschließend ist in der Sitzung deutlich geworden, dass – auch wenn dies häufig so angenommen wird – mathematische Aussagen nicht immer eindeutig mit „richtig“ oder „falsch“ bewertet werden können, sondern dies letzten Endes oft lediglich eine Frage der zugrundegelegten Definitionen ist.

Literaturverzeichnis

- Andreas Büchter, Hans-Wolfgang Henn (2010): *Elementare Analysis. Von der Anschauung zur Theorie* (Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag).
- Reinhard Oldenburg, Benedikt Weygandt (2015): *Stille Begriffe sind tief. Ideen zur Schulung eines kritischen Begriffsverständnisses in der Analysis*. In: *Der Mathematikunterricht* (61), Heft 4, S. 39–50.

4.3 Der Satz von Pick & Geraden in der Ebene und Zerlegung von Graphen

Schülerin: Johanna Schmidt

Betreuerin: Louise Ohlig

Der Satz von Pick: Der Satz von Pick beschreibt den Flächeninhalt eines Vielecks, welches auf einem Quadratgitter liegt, in Abhängigkeit von dessen Rand- (R) und Innenpunkten (I).

Die Formel hierfür $A = I + \frac{1}{2} \cdot R - 1$ lässt sich folgendermaßen finden:

Durch Regelmäßigkeiten bei Rechtecken ohne Innenpunkte kommt man auf die Gleichung $A = \frac{1}{2} \cdot R - 1$.

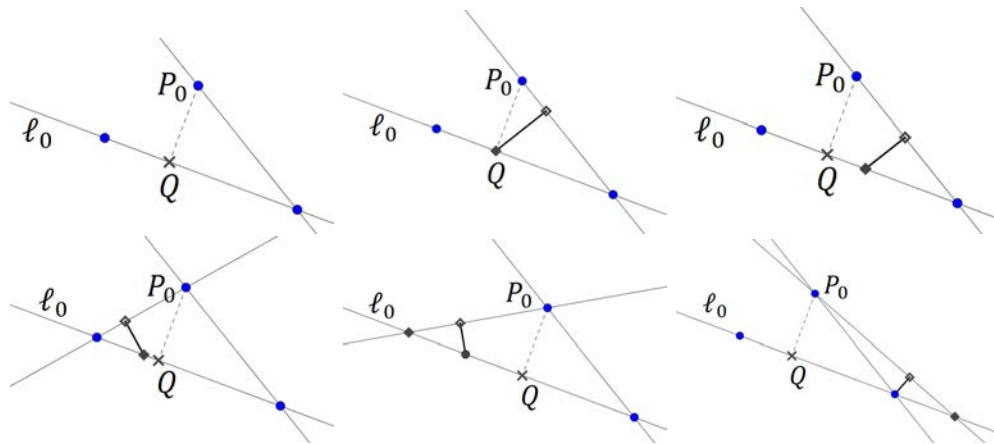
	1x1	1x2	1x3	1x4	1x5	...
Anzahl der Randpunkte R	4	6	8	10	12	...
Flächeninhalt A (in FE)	1	2	3	4	5	...

Diese kann man dann verallgemeinern, indem man nach Regelmäßigkeiten nun auch bei Rechtecken mit Innenpunkten I sucht:

	2x2	2x3	2x4	2x5	2x6	...
Anzahl der Randpunkte R	8	10	12	14	16	...
$\frac{1}{2} \cdot R - 1$	3	4	5	6	7	...
Anzahl der Innenpunkte I	1	2	3	4	5	...
Flächeninhalt A (in FE)	4	6	8	10	12	...

Es ist zu erkennen, dass der Flächeninhalt sich hier genau um die Anzahl der Innenpunkte I von der zuvor aufgestellten Gleichung unterscheidet. Zusammenfassend ergibt sich für die betrachteten Beispiele $A = I + \frac{1}{2} \cdot R - 1$.

Geraden in der Ebene und Zerlegung von Graphen: Satz 1: Für jede Anordnung \mathcal{P} von endlich vielen Punkten in der Ebene, die nicht alle auf einer Geraden liegen, gibt es eine Gerade, welche genau zwei der Punkte enthält.



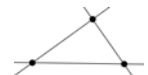
Dieser Satz soll nun allgemein bewiesen werden. Als Methode wählen wir den Beweis durch Widerspruch. Dazu bemerken wir zunächst, dass ein Paar (P, l) (bestehend aus einem Punkt P und einer Gerade $l \in \mathcal{L}$) existiert, welches minimalen Abstand (> 0) voneinander besitzt. Dabei ist \mathcal{L} die Menge der Geraden, die durch mindestens zwei Punkte aus der Menge verlaufen. Ausgehend von diesem Paar, (welches wir P_0, l_0 nennen), stellen wir die Behauptung auf, dass genau diese Gerade l_0 eben nur (!) 2 Punkte enthält.

Wäre diese Behauptung falsch, so könnten wir ein Paar mit noch kleinerem Abstand finden. Der Grund dafür ist: Sobald ein dritter Punkt auf der Geraden liegt, hat immer einer dieser drei Punkte einen noch kürzeren Abstand zu einer anderen Geraden. Die Grafiken verdeutlichen die Möglichkeiten für die Lage des dritten Punktes. In der Figur ist der quadratische ausgefüllte Punkt der dritte Punkt, der quadratische unausgefüllte Punkt der Fußpunkt des Lots.

Dies zeigt den gesuchten Widerspruch zur anfangs angenommenen Minimalitätsbedingung. Aus diesem Widerspruch können wir schlussendlich folgern, dass die Gerade l_0 nur genau zwei der Punkte aus \mathcal{P} enthalten kann.

Satz 2: Sei \mathcal{P} eine Menge von $n \geq 3$ Punkten in der Ebene, die nicht alle auf einer Geraden liegen. Dann besteht die Menge \mathcal{L} der Geraden, die durch mindestens zwei Punkte von \mathcal{P} gehen, aus mindestens n Geraden.

Diesen Satz zeigen wir per Induktion nach der Anzahl der Geraden. Für die Induktionsverankerung bei $n = 3$ erhalten wir genau drei Geraden.

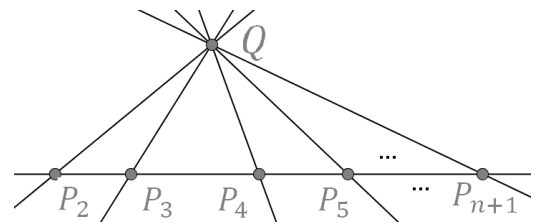


Nun folgern wir aus der Annahme, dass die Behauptung für eine Menge von n Punkten gelte, die Aussage, dass die Behauptung auch für $n + 1$ Punkte gilt.

Fall 1: Es liegen nicht alle Punkte auf einer Geraden.

Wenn $|\mathcal{P}| = n + 1$ ist, dann gibt es die Gerade $l_0 \in \mathcal{L}$ (siehe Satz 1), welche nur zwei der Punkte, P und Q , enthält. Nimmt man Q aus der Menge \mathcal{P} heraus, dann fallen auch alle Geraden durch Q aus \mathcal{L} heraus. Man schreibt dann $\mathcal{P}' = \mathcal{P} \setminus \{Q\}$. \mathcal{L}' sind nun die Geraden, die durch \mathcal{P}' entstehen, wobei insbesondere l_0 nicht mehr enthalten ist. Da $|\mathcal{L}'| \geq n$ (n.V.) muss $|\mathcal{L}| \geq n + 1$ sein, da mindestens $l_0 \in \mathcal{L}$ hinzukommt.

Fall 2: Angenommen alle Punkte aus \mathcal{P}' liegen auf einer Geraden. Dann enthält \mathcal{L}' genau eine Gerade. Ergänzen wir den Punkt $Q \notin \mathcal{L}'$, kommen dadurch nun auch n Geraden hinzu. Man erhält also insgesamt $n + 1$ Geraden, was zu zeigen war.



In diesem Zusammenhang gibt außerdem einen dritten Satz, der als Ausblick kurz vorgestellt wird.

Satz 3: Sei X eine endliche Menge von $n \geq 3$ Elementen, und seien A_1, \dots, A_m echte Teilmengen von X , sodass jedes Paar von Elementen in X in genau einer der Mengen A_i enthalten ist. Dann gilt $m \geq n$.

Literaturverzeichnis

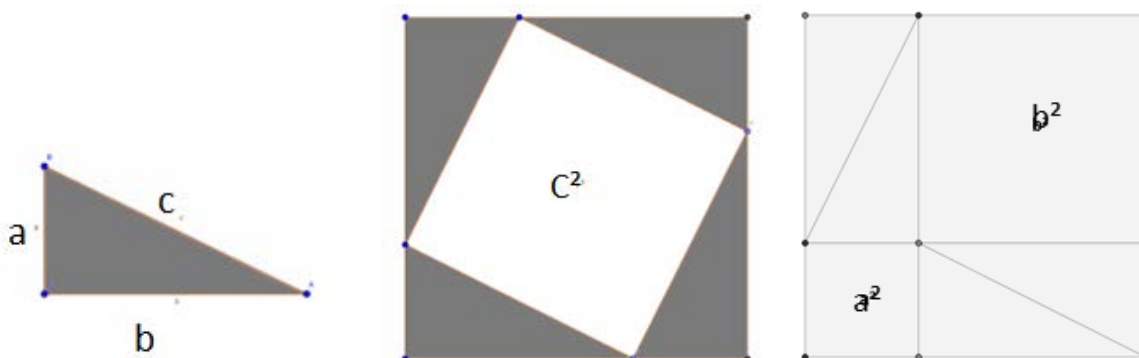
- Jochen Taeschner (2013): *Der Satz von Pick*. Online: http://www2.informatik.hu-berlin.de/~koessler/Proseminar/Proseminar2012/Taeschner_satzvonpick-static.pdf
- Aigner, Martin/Ziegler, Günter M. (2014): *Das BUCH der Beweise*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. 4. Auflage, S.49-51, 71-74.

4.4 Der Satz des Pythagoras und seine Abwandlungen

Schüler: Joel Cortéz Thaler
Betreuerin: Ann-Marie Taupp

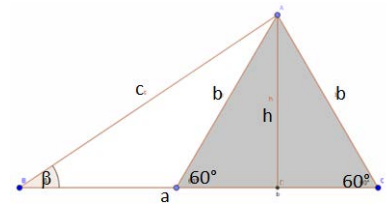
Es gibt wohl keinen Satz in der Mathematik, der so oft und auf so unterschiedliche Arten bewiesen wurde wie der *Satz des Pythagoras*.

Pythagoras von Samos stellte eine Gleichung zwischen den Längen der Katheten und der Hypotenuse bei rechtwinkligen Dreiecken auf, welche wie folgt lautet: In einem rechtwinkligen Dreieck ergibt die Summe der Quadrate der Katheten das Quadrat der Hypotenuse. Der nachfolgende Beweis stammt von Henry Perigal: Man nehme ein rechtwinkliges Dreieck und bilde über den Seitenlängen Quadrate. Nun zerlegt man die Quadrate der Katheten in andere Formen und fügt diese dann wie ein Puzzle im Hypotenusenquadrat wieder zusammen. So zeigt sich, dass beide Kathetenquadrate zusammen denselben Flächeninhalt haben wie das Hypotenusenquadrat.

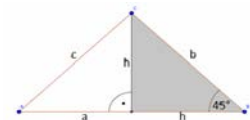


Im alten China bewies man den Satz des Pythagoras, indem man ein Quadrat Q mit den Seitenlängen $a + b$ bildete, wobei die Seite a und die Seite b zugleich Katheten eines rechtwinkligen Dreiecks darstellen (c sei die Hypotenuse). Von diesen Dreiecken, mit jeweiligem Flächeninhalt T , kann man vier Stück auf unterschiedliche Arten in Q „einbeschreiben“. Der Flächeninhalt des Quadrats Q kann nun entweder mit der Formel $4T + c^2$ oder $4T + a^2 + b^2$ berechnet werden. Durch Gleichsetzen ergibt sich $a^2 + b^2 = c^2$ und damit die Aussage des Satzes des Pythagoras.

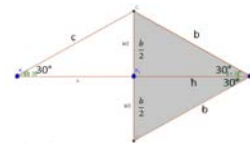
Einige Schüler des Pythagoras versuchten ihm nachzueifern und stellten Sätze für Dreiecke mit Winkeln von 30° , 45° und 60° auf. Bei diesen Beweisen handelt es sich im Grunde um Anwendungen des Satzes des Pythagoras, in nicht rechtwinkligen Dreiecken – wie hier beim 60° -Dreieck: Der eingefärbte Teil ist ein gleichseitiges Dreieck mit daraus resultierenden 60° in jedem Winkel. Dieses kann man nun in ein rechtwinkliges Dreieck transformieren, indem man es in der Mitte teilt und die Höhe als eine Kathete verwendet. Jetzt nutzt man den Satz des Pythagoras, um auf die Beziehung $h^2 = \frac{3}{4}b^2$ zu kommen. Dies in die ursprüngliche pythagoreische Gleichung eingesetzt, ergibt $c^2 = a^2 + b^2 - ab$, was dasselbe ist wie $a^2 + b^2 + 2ab \cdot \cos 60^\circ$.



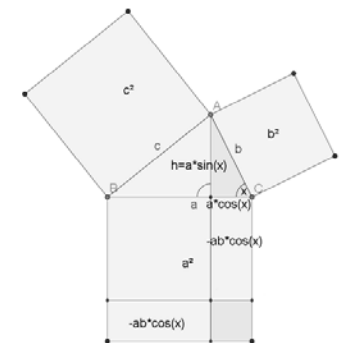
Bei den 45° -Dreiecken verhält es sich ähnlich. Man bildet ein gleichschenkliges Dreieck, mit zwei 45° -Winkeln, wobei $h = \sqrt{2} \cdot \frac{b}{2}$ ist. Setzt man das wieder in die Formel ein, ergibt sich $c^2 = a^2 + b^2 - ab \cdot \sqrt{2}$, was $a^2 + b^2 + 2ab \cdot \cos 45^\circ$ entspricht.



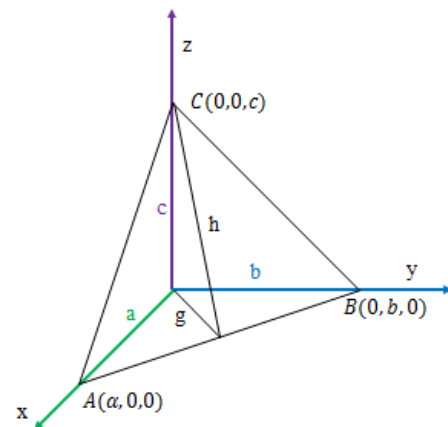
Bei den 30° -Dreiecken verhält es sich ähnlich. Man bildet ein gleichschenkliges Dreieck, mit zwei 45° -Winkeln, wobei $h = \sqrt{2} \cdot \frac{b}{2}$ ist. Setzt man das wieder in die Formel ein, ergibt sich $c^2 = a^2 + b^2 - ab \cdot \sqrt{2}$, was $a^2 + b^2 + 2ab \cdot \cos 45^\circ$ entspricht. Beim 30° -Dreieck ergänzt man einen Teil des Dreiecks so, dass ein gleichseitiges Dreieck entsteht. Hier kann man nun wieder die oben gezeigte Prozedur anwenden und diese dann auf die Hälfte des Dreiecks übertragen, welche einen 30° Winkel hat. Für die Höhe ergibt sich $h = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot b$. Nochmals in die Anfangsformel eingesetzt zeigt sich $c^2 = a^2 + b^2 - ab \cdot \sqrt{3}$, woraus $a^2 + b^2 + 2ab \cdot \cos 30^\circ$ folgt.



Hieraus erschließt sich der Cosinussatz $a^2 + b^2 + 2ab \cdot \cos x$ als allgemeine Formel für beliebige Dreiecke (mit Winkel x gegenüber der Seite c). Um diesen zu beweisen, nimmt man sich ein allgemeines Dreieck vor und bildet dessen Höhe h . Zur Bestimmung dieser Höhe konstruiert man einen Kreis mit Mittelpunkt C und Radius $b = 1$ (Einheitskreis), woraus sich im Allgemeinen dann $h = b \sin x$ ergibt. Begründet ist dies in der Tatsache, dass der Sinus im Einheitskreis als Gegenkathete zum Winkel x definiert ist. Analog wird für die Ankathete k des Dreiecks verfahren. Daraus resultiert $k = b \cdot \cos x$. Wendet man nun den Satz des Pythagoras auf den rechten Teil des Dreiecks an, ergibt sich die Formel $c^2 = [b \cdot \sin x]^2 + [a - b \cdot \cos x]^2$. Durch Ausmultiplizieren mit den binomischen Formeln und Benutzung der Identität $\sin^2 x + \cos^2 x = 1$ ergibt sich schlussendlich der Cosinussatz.



Aber der Satz des Pythagoras gilt nicht nur im Zweidimensionalen, es gibt auch bei einem rechtwinkligen dreidimensionalen Tetraeder einen ähnlichen Zusammenhang. Jean Paul de Gua de Malves stellte folgenden Satz auf: *In einem rechtwinkligen Tetraeder ist das Quadrat der Fläche gegenüber dem Eckpunkt, an dem die drei jeweils senkrecht aufeinander stehenden Seitenflächen zusammenkommen, gleich der Summe der Quadrate der Flächen der anderen drei Seiten.* Um dies zu beweisen, nimmt man sich zunächst einmal die Formel für den Flächeninhalt eines Dreiecks vor, $h \cdot \frac{G}{2}$. Jedoch benötigt man diese Formel in quadrierter Form, da man ja das Quadrat der Fläche errechnen möchte. Bei nebenstehendem Tetraeder ergibt sich dies zu $(|AB| \cdot \frac{h}{2})^2$.



Um hiermit weiterzuarbeiten, muss man erstmal wissen, dass hier die Fläche des Dreiecks $A0B$ sich sowohl zu $\frac{ab}{2}$ als auch zu $\frac{g}{2} \cdot \sqrt{a^2 + b^2}$ errechnet. Daraus folgt, dass $g = \frac{ab}{\sqrt{a^2 + b^2}}$ ist und dadurch $h^2 = g^2 + c^2 = \frac{a^2b^2}{a^2 + b^2}$ ist. Damit lässt sich der Term $\frac{1}{4} \cdot (a^2 + b^2) \cdot (\frac{a^2b^2}{a^2 + b^2} + c^2)$ begründen, den man weiter zu $\frac{1}{4} \cdot (a^2b^2 + a^2c^2 + b^2c^2)$ ausmultiplizieren und auch in der Form $(\frac{1}{2} \cdot ab)^2 + (\frac{1}{2} \cdot ac)^2 + (\frac{1}{2} \cdot bc)^2$ darstellen kann, qed.

Meine Arbeit mit dem Satz des Pythagoras und seinen Abwandlungen hat mir gezeigt, wie vielschichtig dieser Satz ist. Dass er im 3-Dimensionalen und sogar im n -Dimensionalen gilt, wird im Schulunterricht nicht behandelt, stellt jedoch meiner Meinung nach eine interessante Erkenntnis dar.

Literaturverzeichnis

- Alsina, C., & Nelsen, R. B. (2015): *Perlen der Mathematik: 20 geometrische Figuren als Ausgangspunkte für mathematische Erkundungsreisen*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Hartwig Fuchs: *Pythagoras und seine Verwandten* aus: *MONOID 99*, Schülerzeitschrift, S. 4 - 6. Hrsg: Präsident der Universität Mainz

4.5 Undercover – der Fundamentalsatz der Algebra

Schülerin: Aya Abdel Rahman
 Betreuerin: Louise Ohlig

Schon in der Schule ist er gegenwärtig – doch kein Schüler kennt seinen Namen: der *Fundamentalsatz der Algebra*. Dessen Folgerungen finden implizit bei der Kurvendiskussion Verwendung, ohne namentlich genannt zu werden. Der Fundamentalsatz der Algebra besagt: *Jedes nicht-konstante Polynom hat zumindest in den komplexen Zahlen eine Nullstelle.*

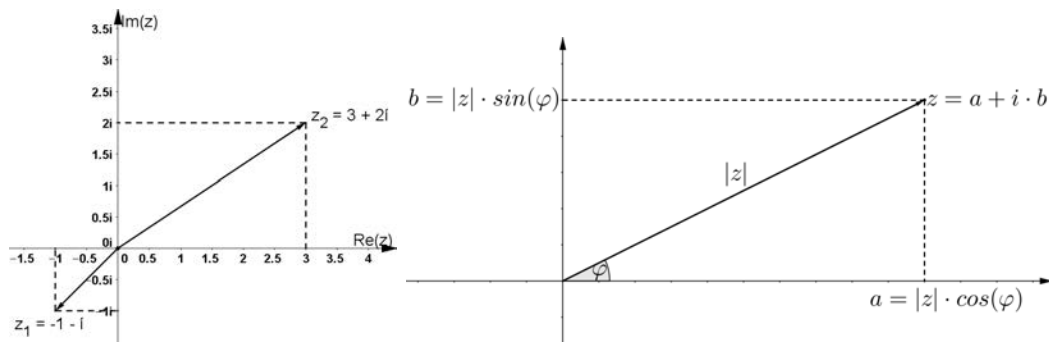
Was der Satz besagt, wissen wir nun – aber wie kann man ihn beweisen? Dazu muss man sich zuerst mit der Welt der komplexen Zahlen vertraut machen. Komplexe Zahlen erlauben es, Wurzeln aus negativen Zahlen zu ziehen und somit Gleichungen wie $x^2 + 1 = 0$ zu lösen. Dazu wurde die imaginäre Einheit i eingeführt, die als Lösung der Gleichung definiert wird: $i := \sqrt{-1}$ also $i^2 = -1$.

Rechnet man mit i nun wie mit einer Variablen, deren Quadrat (-1) ergibt, und nimmt die reellen Zahlen hinzu, so kann man Zahlen der Form $a + ib$ mit $a, b \in \mathbb{R}$ erzeugen. Daher ist die Menge der komplexen Zahlen definiert als:

$$\mathbb{C} := \{(a, b) | a, b \in \mathbb{R}\} \cong \mathbb{R}^2$$

Doch wie lässt sich eine komplexe Zahl darstellen? Darum geht es im Folgenden:

Darstellung	kartesische Form	Polarkoordinatenform	eulersche Form
Schreibweise	$a = Re(z) = \text{Realteil}$ $b = Im(z) = \text{Imaginärteil}$ Günstig bei der Addition komplexer Zahlen	Radius $r = \text{Betrag } z $ Winkel ϕ : schließt die reelle Achse mit der Verbindungsstrecke zwischen Nullpunkt & Punkt z ein Günstig beim Multiplizieren	ähnlich zur Polarkoordinatenform Günstig beim Wurzelziehen und beim Potenzieren
Geometrische Interpretation	linke Abbildung	rechte Abbildung	rechte Abbildung



Beim Rechnen mit komplexen Zahlen gelten dieselben Rechenregeln wie bei den reellen Zahlen, allerdings geht die Ordnungsrelation verloren – wir können keine Aussage über den Größenvergleich komplexer Zahlen machen. Mit diesem Wissen kann der Fundamentalsatz praktisch angewendet werden, sodass man beispielsweise Gleichungen wie $f(x) = x^2 - x + 1 = 0$ lösen kann. Die Rechnung dazu sieht wie folgt aus:

$$x_{\frac{1}{2}} = \frac{1 \pm \sqrt{-3}}{2} = \frac{1 \pm \sqrt{3i^2}}{2} = \frac{1 \pm i\sqrt{3}}{2}$$

mit der Lösungsmenge

$$L = \left\{ \frac{1}{2} + \frac{i\sqrt{3}}{2}; \frac{1}{2} - \frac{i\sqrt{3}}{2} \right\}$$

Reell betrachtet hat $f(x)$ keine Nullstelle, wohingegen man im komplexen Zahlenbereich gleich zweimal fündig wird. Dabei sind die beiden Lösungen jeweils zueinander komplex konjugiert.

Schließlich haben wir uns noch einen der vielen Beweise des Fundamentalsatzes angeschaut. Im Folgenden soll kurz die Beweisidee skizziert werden: Zuerst wird das zu betrachtende Polynom $P(z) := \sum_{k=0}^n a_k z^k$ geschrieben, wobei o. B. d. A. $a_n = 1$ gilt. Ohne Beweis verwenden wir einen Hilfssatz, der besagt: Es gibt reelle Zahlen $r, r' > 0$, sodass für $z \in \mathbb{C}$ außerhalb der offenen Kreisscheibe $K_{r'}(0)$ um Null mit dem Radius $r' \in \mathbb{R}$ gilt: $|P(z)| \geq r$ mit $r := 1 + |a_{n-1}| + \dots + |a_0|$.

Daraus folgt $|P(0)| = |a_0| < r$ und schließlich auch, dass im Inneren der Kreisscheibe ein Minimum vorliegen muss. z_0 sei nun die Minimalstelle von $|P|$ in $K_{r'}(0)$, r' wie im Hilfssatz gewählt. Wir können o. B. d. A. annehmen, dass die Minimalstelle bei $z_0 = 0$ liegt (ansonsten verschieben wir entsprechend). Außerdem sei $a_k \neq 0$ der erste von 0 verschiedene Koeffizient im Polynom, da dieses n. V. nicht konstant ist. Um den Widerspruch herzuleiten, nehme man jetzt an, dass zwar bei z_0 ein Minimum vorliegt, dieses jedoch keine Nullstelle ist. Insbesondere sei also $a_0 \neq 0$.

Nun betrachten wir eine weitere komplexe Zahl $w \in \mathbb{C}$ mit $|w| = 1$ und setzen $z = t \cdot w$ mit $t \in \mathbb{R}^+$. Zu dem Polynom $P : \mathbb{C} \rightarrow \mathbb{C}$ definieren wir eine Abbildung $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$, $f(t) = |P(tw)|^2$, was gerade $P(tw)\overline{P(tw)}$ entspricht. Nun betrachten wir die Differenz der Funktionswerte $f(t) - f(0)$. Diese muss nach unserer Annahme, dass bei z_0 ein Minimum aber keine Nullstelle vorliegt, positiv sein. Durch Umformungen erhalten wir schließlich

$$\begin{aligned} 0 \leq f(t) - f(0) &= 2\operatorname{Re}(a_0 \overline{a_k} \overline{w^k})t^k + t^{k+1}Q(t) \\ \Leftrightarrow 0 \leq \frac{f(t) - f(0)}{t^k} &= 2\operatorname{Re}(a_0 \overline{a_k} \overline{w^k}) + tQ(t) \end{aligned}$$

für $t \rightarrow 0$ folgt $\operatorname{Re}(a_0 \overline{a_k} \overline{w^k}) \geq 0$.

Da die Multiplikation von komplexen Zahlen durch Multiplikation der Beträge und Addition der Winkel gegeben ist, wird die rechte Seite der letzten Ungleichung bei entsprechender Wahl von w mit $|w| = 1$ aufgrund der Bedingungen, dass $a_k \neq 0$ und $a_0 \neq 0$ ist, negativ. Dies ist ein Widerspruch! Daraus folgt, dass $a_0 = 0$ ist und damit eine Nullstelle bei z_0 vorliegt.

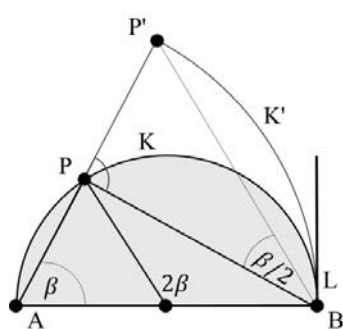
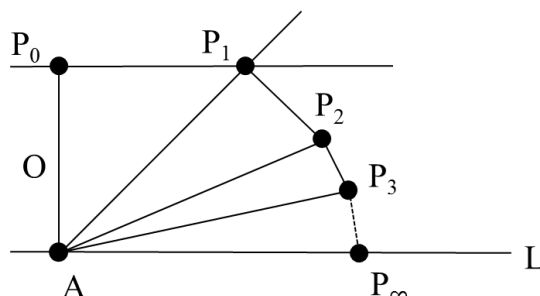
Literaturverzeichnis

- Richard Courant, Herbert Robbins: *Was ist Mathematik?* Springer Verlag, 5. Auflage (2000).
- http://www.mathematik.uni-marburg.de/~bschwarz/Sem_09W_files/07%20Simon%20Franz%20-%20Fundamentalsatz%20der%20Algebra%20-%20Ausarbeitung.pdf
- https://de.wikipedia.org/wiki/Fundamentalsatz_der_Algebra
- http://www.math.hu-berlin.de/~fsr/studium/Komplexe_Zahlen_Vorlesung.pdf

4.6 Eine geometrische Konstruktion von Pi?

Schüler: Vincent Hoppmann
Betreuer: Rüdiger Kling

Die Kreiszahl π besitzt unendlich viele Nachkommastellen. Wie sollte man es also schaffen, π zeichnerisch zu ermitteln – wenn nicht einmal ein Supercomputer sie in ihrer ganzen Fülle abbilden kann? Die Antwort ist: Eine exakte Konstruktion ist nicht möglich², wohl aber eine näherungsweise. Hierfür wird zuerst eine Gerade L , die einen Punkt A enthält, gezeichnet. Auf A wird ein Lot O der Länge 2 konstruiert, dessen oberer Punkt P_0 sei. Durch P_0 wird eine parallel zu L verlaufende Gerade gezogen. An der Stelle, wo die Winkelhalbierende von P_0AL diese schneidet, befindet sich der Punkt P_1 . Von diesem Punkt aus wird, bis sie die Winkelhalbierende von P_1AL schneidet, eine senkrecht zu P_1A verlaufende Strecke gezogen. Der Schnittpunkt sei P_2 . Dieses Verfahren kann nun iteriert werden. Die dabei entstehenden Punkte P_n nähern sich L immer mehr an und bilden einen Polygonzug, das Euler-Polygon. Den Grenzpunkt auf L bezeichnen wir schließlich als P_∞ . Die Länge der Strecke $|AP_\infty|$ beträgt genau π .



Jetzt ist aber die Frage, wie man diese verblüffende Tatsache beweisen kann. Hierzu wird eine andere Frage vorangestellt: Wie kann man generell Kreisabschnitte strecken? Diese Abschnittsstreckung an Kreisen kann man mithilfe einer geometrischen Konstruktion an jedem beliebigen Kreisabschnitt vornehmen. Hierzu betrachtet man am Anfang die Thales-Figur (grau unterlegt). Sie dient als Ausgangspunkt der Konstruktion. Um den Kreisabschnitt PB strecken zu können, zeichnet man einen Kreis K' mit doppeltem Radius, der den Mittelpunkt A hat und B enthält. Danach verlängert man die Strecke \overline{AP} so lange, bis sie K' schneidet. Der Schnittpunkt sei P' . Die Kreisabschnitte PB und $P'B$ sind nun gleich lang, da der Winkel BOP (2β) doppelt so groß ist wie $\angle OAP$ (β), gleichzeitig der Radius \overline{OP} aber halb so lang ist wie $\overline{AP'}$. Diese Konstruktion kann unendlich oft wiederholt werden, der Kreisbogen nähert sich dabei immer weiter der Lotgeraden L an, liegt aber nie auf L . Für die Konstruktion wichtig sind

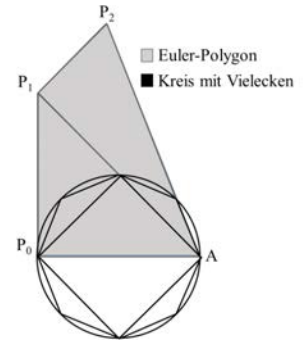
lang, da der Winkel BOP (2β) doppelt so groß ist wie $\angle OAP$ (β), gleichzeitig der Radius \overline{OP} aber halb so lang ist wie $\overline{AP'}$. Diese Konstruktion kann unendlich oft wiederholt werden, der Kreisbogen nähert sich dabei immer weiter der Lotgeraden L an, liegt aber nie auf L . Für die Konstruktion wichtig sind

²Für einen Beweis, dass π nicht konstruierbar ist, siehe Kramer und v. Pippich.

außerdem der rechte Winkel BPP' sowie der halbierte Winkel $\frac{\beta}{2}$ bei B .

Jetzt kommt aber wieder das Euler-Polygon ins Spiel. Dazu schiebe man zu Beginn den Punkt P entlang des Kreisbogens auf A , definiere P_0 als das vormalige P und iteriere zu $P_{n+1} = (P_n)'$. Hier erkennt man, dass wir die obige um 90° gedrehte Version des Euler-Polygons wieder erhalten. Da der gestreckte Abschnitt in diesem Fall der Halbkreis des Einheitskreises ist (und somit (Bogen-)Länge π hat), ist der Beweis für die Länge der Strecke $|\overline{AP_\infty}|$ erbracht.

Diese Überlegungen führen zu der Formel von Vieta. Er nutzte die Überlegung, dass man den Kreisumfang annähern kann, indem man zuerst in den Einheitskreis ein gleichseitiges Viereck legt, dessen Ecken auf dem Kreis liegen. Durch wiederholte Winkelhalbierung hat Vieta aus dem Viereck ein gleichseitiges Achteck gemacht, usw. Dadurch hat er sich dem Kreisumfang immer weiter angenähert. Das Spannende an dieser Stelle ist, wenn man nun das Euler-Polygon auf das in den Kreis einbeschriebene n -Eck legt, dass beides perfekt zueinander passt. Es lässt sich ein direkter Zusammenhang feststellen, da jede Speiche des Euler-Polygons das 2^n -fache der Länge der zugehörigen Vieleckseite als Länge hat. Damit lässt sich die Länge der Speichen explizit direkt aus der Definition des Cosinus durch die Formel $|\overline{AP_n}| = |\overline{AP_{n+1}}| \cdot \cos(\frac{\pi}{2^{n+2}})$ bestimmen. Ausgeschrieben und auf unendlich viele Speichen übertragen erhalten wir die Formel:



$$|\overline{AP_0}| = |\overline{AP_\infty}| \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{8}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{16}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{32}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{64}\right) \dots$$

Die Cosinus-Werte lassen sich unter Zuhilfenahme der Verdopplungsformel des Cosinus bestimmen. Diese lautet $\cos(2\alpha) = 2 \cos^2 \alpha - 1$. Stellt man diese nun nach $\cos(\alpha)$ um, erhält man:

$$\cos \alpha = \frac{1}{2} \sqrt{2 + 2 \cos 2\alpha}$$

Wenn man die Zahlenwerte aus der ersten Formel in die jetzt ermittelte Formel einsetzt, erhält man nacheinander die Formeln:

$$\cos \frac{\pi}{4} = \frac{1}{2} \sqrt{2}, \quad \cos \frac{\pi}{8} = \frac{1}{2} \sqrt{2 + \sqrt{2}}, \quad \cos \frac{\pi}{16} = \frac{1}{2} \sqrt{2 + \sqrt{2 + \sqrt{2}}}, \quad \dots$$

Unter Berücksichtigung, dass $|\overline{AP_0}| = 2$ ist und $|\overline{AP_\infty}| = \pi$, erhält man dann durch Einsetzen unserer ermittelten Cosinus-Werte in die oberste Formel und Division durch $|\overline{AP_\infty}|$ die folgende Formel:

$$\frac{2}{\pi} = \frac{1}{2} \sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} \sqrt{2 + \sqrt{2}} \cdot \frac{1}{2} \sqrt{2 + \sqrt{2 + \sqrt{2}}} \cdot \frac{1}{2} \sqrt{2 + \sqrt{2 + \sqrt{2 + \sqrt{2}}}} \dots$$

Sie ist bekannt als die Formel von Vieta und stellt mit ihrem „unendlichen Fest von Wurzeln“ eine der ältesten Formeln für π dar.

Literaturverzeichnis

- Duco van Straten: Eine geometrische Konstruktion von Pi (Teil 1) aus: *MONOID* 123, Schülerzeitschrift, Hrsg: Präsident der Universität Mainz
- Duco van Straten: Eine geometrische Konstruktion von Pi (Teil 2) aus: *MONOID* 124, Schülerzeitschrift, Hrsg: Präsident der Universität Mainz
- Kramer, Jürgen und v. Pippich, Anna: *Ist die Quadratur des Kreises möglich?* Online verfügbar unter: http://didaktik.mathematik.hu-berlin.de/files/bericht_kramer_pippich.pdf

4.7 Der Satz von Descartes und Euler

Schülerin: Svenja Neumann
 Betreuerin: Benedikt Weygandt

Der als Eulerscher Polyedersatz bekannte Zusammenhang wurde 1750 erstmals von Leonhard Euler vermutet, wobei heute bekannt ist, dass auch René Descartes schon mit diesem vertraut war. In einigen Büchern findet man diesen Satz deswegen auch unter dem Namen „Satz von Descartes und Euler“. Euler stellte folgende Vermutung auf: Wenn E die Eckenanzahl, F die Flächenanzahl und K die Kantenanzahl eines konvexen Polyeders bezeichnen, ergebe sich daraus folgende Gleichung:

$$E + F - K = 2$$

Dieser Term wurde anhand von Polyederbeispielen zu Beginn meiner Sitzung von den anderen Teilnehmer*innen selbst aufgestellt.

	E	K	F	$E + F - K = 2$
Würfel	8	12	6	2
Tetraeder	4	6	4	2
Fußball (abgestumpfter Ikosaeder)	60	90	32	2

Diese Beispiele belegen Eulers Vermutung also für einige Körperoberflächen.

Beweis nach Lakatos

In dem wissenschaftssoziologischen Buch „Proofs and Refutations“ diskutiert Imre Lakatos anhand des folgenden Beweises und der zugehörigen Analyse die Genese mathematischer Beweise. Einen Auszug aus diesem Gedankenexperiment geben wir nachfolgend wieder:

1. Hilfssatz: Man stelle sich einen Polyeder vor, dessen Flächen mit Gummi bespannt seien und schneide eine dieser Flächen heraus. Der „Polyederrest“ soll nun flach ausgebreitet werden. (Hierbei können Kanten krummlinig werden, was aber die Ecken- und Kantenanzahl nicht verändert). Für dieses planare Netz ergibt sich aufgrund der anfangs weggenommenen Fläche nun die Polyederformel: $E + F - K = 1$
2. Hilfssatz: Man trianguliere das planare Netz nun, d. h. man zeichne Diagonalen in die entstandenen Polygone ein, so dass das Netz nur noch aus Dreiecken besteht. Für jede eingezeichnete Kante entsteht eine neue Fläche, also bleibt auch der Zusammenhang $E + F - K = 1$ erfüllt.
3. Hilfssatz: Nun entferne man die Dreiecke nacheinander entweder durch a) Entfernen einer Kante (wodurch eine Fläche und eine Kante verschwinden) oder b) Entfernen zweier Kanten und einer Ecke (wodurch eine Ecke, eine Fläche und zwei Kanten verschwinden). In beiden Fällen bleibt die Gleichung $E + F - K = 1$ weiterhin gültig.
 Schlussendlich bleibt genau ein Dreieck übrig, für welches die Formel ihre Gültigkeit behält:
 3 Ecken + 1 Fläche - 3 Kanten = 1

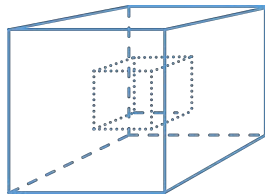
Eulers Vermutung wurde durch dieses Gedankenexperiment bewiesen und somit zu einem Satz.

Lokales Gegenbeispiel

Lokale Gegenbeispiele sind nach Lakatos als Kritik des Beweises, aber nicht an der Vermutung zu verstehen. Das folgende Gegenbeispiel kritisiert den Beweis in seinem 3. Hilfssatz und lautet wie folgt: Wenn man ein Dreieck aus dem Inneren des Netzes entfernt, so verschwindet eine Fläche, jedoch keine Ecke und auch keine Kante. Nur bei dem Netz eines Tetraeders ist es mit jedem beliebigen Dreieck möglich, dieses zu entfernen, da der Tetraeder keine inneren Dreiecke besitzt.

Als Antwort auf diese Kritik ließe sich der 3. Hilfssatz modifizieren, um der Kritik ihre Angriffsfläche zu nehmen und einen verbesserten Beweis zu erhalten.³ Man entferne also nicht beliebige Dreiecke, sondern explizit nur *Randdreiecke*. Bei weiterer Betrachtung erweist sich zudem noch als erforderlich, dass die Dreiecke in einer Art und Weise entfernt werden, welche das Netz zusammenhängend lassen.

Globales Gegenbeispiel



Diese Form der Gegenbeispiele ist als Kritik an der Vermutung selbst zu verstehen. In dem im Kurs vorgestellten Beispiel ging es um einen Hohlwürfel (siehe Abbildung), bei welchem die Eulersche Polyederformel einen Wert von 4 ergibt. Wenn man an dieser Stelle die Vermutung nicht verwerfen möchte, kann man sich der Methode der „Monstersperre“ bedienen. Die Teilnehmer*innen des Kurses sollten dazu eine eigene Definition des Polyederbegriffs formulieren, so

dass das gezeigte Gegenbeispiel nicht von dieser erfasst wird. Aus diesen Definitionen wurden einzelne ausgewählt, diskutiert und anschließend modifiziert, um sie anhand weiterer „Monster“ zu testen.

In der zweiten Hälfte meines Vortrags wurde ein Beweis aus dem „BUCH der Beweise“ vorgestellt, welcher die Eulersche Polyederformel für planare Graphen beweist, also für Polyeder, welche über stereografische Projektion in die Ebene projiziert werden können. Mit Hilfe eines aufspannenden Baumes $S \subseteq K$ des Graphen G und des dualen Spannbaumes $S^* \subseteq K^*$ des Dualgraphen G^* kann die Eulersche Polyederformel hergeleitet werden.

4.8 Die Summe der Reziproken der Quadratzahlen

Schülerin: Lena Buchwald
Betreuer: Maxim Gerspach

Lange Zeit war die Bestimmung des Wertes der unendlichen Summe der Reziproken der Quadratzahlen ein ungelöstes Problem. Es wurde erst 1735 durch Leonhard Euler gelöst, der folgenden Reihenwert fand:

$$\sum_{n \geq 1} \frac{1}{n^2} = \frac{\pi^2}{6}$$

Die Zwillingbrüder Akiva und Isaak Yaglom hatten eine ganz besondere Idee, um diese Formel zu beweisen. Diese Idee möchte ich im Folgenden vorstellen.

Der erste Schritt besteht in einer Relation zwischen Werten der quadrierten Kotangens-Funktion.

$$\cot^2\left(\frac{\pi}{2m+1}\right) + \cot^2\left(\frac{2\pi}{2m+1}\right) + \dots + \cot^2\left(\frac{m\pi}{2m+1}\right) = \frac{2m(2m-1)}{6} \quad (1)$$

³Lakatos spricht im Englischen auch von „improving the proof“.

Um diese Gleichung zu beweisen, verwenden wir die Eulersche Formel $e^{ix} = \cos x + i \sin x$. Wir bilden mit Hilfe des binomischen Lehrsatzes die n -te Potenz und erhalten

$$\cos nx + i \sin nx = e^{inx} = (\cos nx + i \sin nx)^n$$

Ein Vergleich der Imaginärteile liefert nun

$$\sin nx = \binom{n}{1} \sin x \cos^{n-1} x - \binom{n}{3} \sin^3 x \cos^{n-3} x \pm \dots \quad (2)$$

Wir setzen jetzt $n = 2m + 1$ und werten diese Formel an den Stellen

$$x = \frac{r\pi}{2m+1}, \quad r = 1, 2, \dots, m$$

aus. Für diese x gilt nun $\sin(2m+1)x = \sin(r\pi) = 0$. Teilen wir (2) durch $\sin^n(x)$ mit $n = 2m + 1$, so ergibt sich

$$0 = \binom{2m+1}{1} \cot^{2m} x - \binom{2m+1}{3} \cot^{2m-2} x \pm \dots$$

Setzen wir jetzt

$$p(t) := \binom{2m+1}{1} t^m - \binom{2m+1}{3} t^{m-1} \pm \dots + (-1)^m \binom{2m+1}{2m+1}$$

so folgt aus obiger Formel, dass die Nullstellen von p (genau) gegeben sind durch

$$a_r = \cot^2\left(\frac{r\pi}{2m+1}\right) \text{ für } r = 1, 2, \dots, m$$

Dieses Polynom ist identisch mit dem Polynom

$$p(t) = \binom{2m+1}{1} \left(t - \cot^2\left(\frac{\pi}{2m+1}\right)\right) \dots \left(t - \cot^2\left(\frac{m\pi}{2m+1}\right)\right)$$

da die Nullstellen und der führende Koeffizient der beiden Polynome übereinstimmen. Der Vergleich der Koeffizienten von t^{m-1} in $p(t)$ liefert nun

$$\binom{2m+1}{3} = \binom{2m+1}{1} (a_1 + \dots + a_m)$$

und nach Umstellen die Behauptung.

Für den Gesamt-Beweis brauchen wir noch eine zweite Gleichung desselben Typs.

$$\csc^2\left(\frac{\pi}{2m+1}\right) + \csc^2\left(\frac{2\pi}{2m+1}\right) + \dots + \csc^2\left(\frac{m\pi}{2m+1}\right) = \frac{2m(2m+2)}{6} \quad (3)$$

mit

$$\csc^2 x = \frac{1}{\sin^2 x} = \frac{\cos^2 x + \sin^2 x}{\sin^2 x} = \cot^2 x + 1$$

Wir können daher $\csc^2 x$ für $\cot^2 x$ in (1) einsetzen und erhalten (3).

Im Bereich $0 < y < \frac{\pi}{2}$ hat man, wie wir uns geometrisch klargemacht haben,

$$0 < \sin y < y < \tan y$$

und durch Invertieren

$$0 < \cot y < \frac{1}{y} < \csc y$$

folglich gilt

$$\cot^2 y < \frac{1}{y^2} < \csc^2 y$$

Diese doppelte Ungleichung wenden wir für $y = \frac{k\pi}{m+1}$ an, summieren über k und setzen (1) für die linke Seite und (3) für die rechte Seite ein. Es ergibt sich

$$\frac{2m(2m-1)}{6} < \left(\frac{2m+1}{\pi}\right)^2 + \left(\frac{2m+1}{2\pi}\right)^2 + \dots + \left(\frac{2m+1}{m\pi}\right)^2 < \frac{2m(2m+2)}{6}$$

Im nächsten Schritt multiplizieren wir mit $\frac{\pi^2}{(2m+1)^2}$ um die Ungleichung für unseren Beweis zu vereinfachen.

$$\frac{\pi^2}{6} \frac{2m}{2m+1} \frac{2m-1}{2m+1} < \frac{1}{1^2} + \frac{1}{2^2} + \dots + \frac{1}{m^2} < \frac{\pi^2}{6} \frac{2m}{2m+1} \frac{2m+2}{2m+1}$$

Die linke Seite und die rechte Seite konvergiert für $m \rightarrow \infty$ gegen $\frac{\pi^2}{6}$, somit muss auch die Summe der Reziproken der Quadratzahlen gegen $\frac{\pi^2}{6}$ konvergieren.

Literaturverzeichnis

- Aigner, Martin/Ziegler, Günter M. (2014): *Das BUCH der Beweise*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

4.9 Probabilistische Zahlentheorie

Schülerin: Lea Bach
 Betreuer: Maxim Gerspach

In meinem Vortrag habe ich mich mit den Wahrscheinlichkeiten für die Quadratfreiheit einer und die Teilerfremdheit zweier zufällig ausgewählter natürlicher Zahlen befasst.

Dabei heißt eine natürliche Zahl n *quadratfrei*, wenn es kein $d \in \mathbb{N}$, $d > 1$ gibt, sodass $d^2 | n$ („ n wird von d^2 geteilt“).

Ohne Beweis benutzen wir den Satz über die eindeutige Primfaktorzerlegung in \mathbb{Z} . Mit seiner Hilfe lässt sich die Möbiussche μ -Funktion definieren:

Für $n \in \mathbb{N}$ mit Primfaktorzerlegung $n = p_1^{n_1} \cdot p_2^{n_2} \cdot \dots \cdot p_l^{n_l}$ gilt:

$$\mu(d) := \begin{cases} 0 & \text{falls } n \text{ nicht quadratfrei} \\ (-1)^l & \text{sonst} \end{cases}$$

Außerdem verwenden wir die Riemannsche Zetafunktion:

$$\zeta(s) := \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^s}$$

Wir benötigen zwei Sätze als Grundlage zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeit für eine natürliche Zahl, quadratfrei zu sein.

Die Möbius-Funktion als Indikator

Für $n, d \in \mathbb{N}$, $d > 1$ gelten folgende Aussagen:

$$(a) \sum_{d|n} \mu(d) = \begin{cases} 1 & \text{für } n = 1 \\ 0 & \text{für } n > 1 \end{cases}$$

$$(b) \sum_{d^2|n} \mu(d) = \begin{cases} 1 & \text{falls } n \text{ quadratfrei} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Dabei folgt (b) sofort aus (a), was deutlich wird, wenn wir für $n = p_1^{n_1} \cdot p_2^{n_2} \cdot \dots \cdot p_l^{n_l}$

$$k_i = \left\lfloor \frac{n_i}{2} \right\rfloor$$

sowie $k = p_1^{k_1} \cdot p_2^{k_2} \cdot \dots \cdot p_l^{k_l}$ setzen. So wird n von d^2 genau dann geteilt, wenn k von d geteilt wird, und damit ist auch $\sum_{d|k} \mu(d) = \sum_{d^2|n} \mu(d)$.

Dabei ist n genau dann quadratfrei, wenn die Potenzen $0 \leq n_i \leq 1$ sind. Es bleibt also, (a) zu beweisen:
 $n = 1$:

$$\sum_{d|1} \mu(d) = \mu(1) = 1$$

$n > 1$: Für $n = p_1^{n_1} \cdot p_2^{n_2} \cdot \dots \cdot p_l^{n_l}$ können alle Teiler d von n als Produkt einer Auswahl dieser Primfaktoren geschrieben werden, sodass $d = p_1^{d_1} \cdot p_2^{d_2} \cdot \dots \cdot p_l^{d_l}$ mit $0 \leq d_i \leq n_i$ gilt.

Da $\mu(d)$ für nicht-quadratfreie d den Wert 0 annimmt, reicht es wie eben aus, nur diejenigen d mit $0 \leq d_i \leq 1$ zu betrachten. Im Folgenden werden wir also über die Funktionswerte aller Kombinationen der Primfaktoren summieren. Diese hängen von der Anzahl der Primfaktoren ab und lassen sich zur allgemeinen Binomischen Formel vereinfachen.

$$\begin{aligned} & \sum_{d|k} \mu(1) + \mu(p_1) + \mu(p_2) + \dots + \mu(p_l) + \mu(p_1 \cdot p_2) + \dots + \mu(p_1 \cdot \dots \cdot p_l) \\ &= \binom{l}{0} - \binom{l}{1} + \binom{l}{2} \pm \dots + (-1)^l \binom{l}{l} = \sum_{i=0}^l \binom{l}{i} \cdot (-1)^i \cdot 1^{l-i} = (-1+1)^l = 0 \end{aligned}$$

Zusammenhang mit $\frac{\pi^2}{6}$

Seien $d \in \mathbb{N}$ und ζ die Riemannsche Zetafunktion. Dann gilt:

$$\sum_{d=1}^{\infty} \frac{\mu(d)}{d^2} = \frac{1}{\zeta(2)} = \frac{6}{\pi^2}$$

Beweis:

Für $k = n \cdot d$ lässt sich nach Satz 1(a) die Summe $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \cdot \sum_{d=1}^{\infty} \frac{\mu(d)}{d^2}$ auch schreiben als:

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} \cdot \sum_{d|k} \mu(d) = 1 + \sum_{k=2}^{\infty} \frac{1}{k^2} \cdot \sum_{d|k} \mu(d) = 1 + \sum_{k=2}^{\infty} \frac{1}{k^2} \cdot 0 = 1$$

Bestimmung der Wahrscheinlichkeit für Quadratfreiheit

Die gesuchte Wahrscheinlichkeit ist eine Laplace-Wahrscheinlichkeit und beträgt somit $\frac{1}{N} \cdot |\{1 \leq n \leq N : n \text{ quadratfrei}\}|$, was für $N \rightarrow \infty$ den eben bestimmten Grenzwert $\frac{6}{\pi^2}$ annimmt.

$$\frac{1}{N} \cdot |\{1 \leq n \leq N : n \text{ quadratfrei}\}| \xrightarrow{N \rightarrow \infty} \sum_{d=1}^{\infty} \frac{\mu(d)}{d^2}$$

Beweis:

Nach Satz 1(b) kann man die Anzahl der quadratfreien Zahlen ausdrücken als

$$\frac{1}{N} \cdot |\{1 \leq n \leq N : n \text{ quadratfrei}\}| = \frac{1}{N} \cdot \sum_{\substack{n \leq N \\ n \text{ quadratfrei}}} 1 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N \sum_{d^2|n} \mu(d)$$

Anstatt über die Funktionswerte aller Zahlen zu summieren, die im Quadrat n zwischen 1 und N teilen, können wir auch die Produkte aus den Funktionswerten und der Anzahl ihrer Vielfachen $n \leq N$ addieren.

$$\frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N \sum_{d^2|n} \mu(d) = \sum_{d \leq \sqrt{N}} \mu(d) \left[\frac{N}{d^2} \right]$$

Diese Summe lässt sich umordnen zu $\sum_{d \leq \sqrt{N}} \frac{\mu(d)}{d^2} + e(N)$ mit

$$e(N) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{d \leq \sqrt{N}} \mu(d) \left(\left[\frac{N}{d^2} \right] - \frac{N}{d^2} \right),$$

wobei diese Reihe absolut gegen 0 für $N \rightarrow \infty$ konvergiert.

$$\text{Somit gilt } \frac{1}{N} \cdot |\{1 \leq n \leq N : n \text{ quadratfrei}\}| \xrightarrow{N \rightarrow \infty} \sum_{d=1}^{\infty} \frac{\mu(d)}{d^2} = \frac{6}{\pi^2}.$$

Bestimmung der Wahrscheinlichkeit für Teilerfremdheit

Ähnlich verläuft auch der Beweis zur Teilerfremdheit zweier natürlicher Zufallszahlen. Die Wahrscheinlichkeit dafür kann man schreiben als $\frac{1}{N^2} \cdot |\{1 \leq n_1, n_2 \leq N : (n_1, n_2) = 1\}|$, wobei (n_1, n_2) den größten gemeinsamen Teiler der beiden Zahlen bezeichnet. Auch hier lässt sich die Mächtigkeit der „Günstigen“ als Summe über n_1, n_2 der Summe über d von $\mu(d)$ schreiben und vereinfachen:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{N^2} \cdot \sum_{n_1, n_2 \leq N} \sum_{\substack{d|n_1 \\ d|n_2}} \mu(d) \cdot \left[\frac{N}{d} \right]^2 \\ &= \frac{1}{N^2} \cdot \left(N^2 \cdot \sum_{d \leq N} \frac{\mu(d)}{d^2} + e(N) \right) \\ &= \sum_{d \leq N} \frac{\mu(d)}{d^2} + \frac{e(N)}{N^2} \end{aligned}$$

Die Reihe lässt sich ebenfalls umordnen zu der uns bekannten Reihe $\sum_{d \leq N} \frac{\mu(d)}{d^2}$ und einem Rest

$$\frac{e(N)}{N^2} = \frac{1}{N^2} \cdot \sum_{d \leq N} \mu(d) \left(\left[\frac{N}{d} \right]^2 - \left(\frac{N}{d} \right)^2 \right),$$

der für $N \rightarrow \infty$ gegen 0 konvergiert.

Somit ist auch der Grenzwert der Wahrscheinlichkeit für die Teilerfremdheit zweier Zahlen

$$\sum_{d \leq 1} \frac{\mu(d)}{d^2} = \frac{6}{\pi^2}.$$

4.10 Irrationalität von Zahlen

Schülerin: Yara Elshiaty
Betreuer: Maxim Gerspach

Eine reelle Zahl heißt *irrational*, wenn sie nicht als gekürzter Bruch zweier ganzer Zahlen dargestellt werden kann. Somit kann eine irrationale Zahl nicht als eine abbrechende oder periodische Dezimalzahl geschrieben werden. Dagegen kann man alle rationalen Zahlen als gekürzten Bruch $\frac{p}{q}$ mit $p, q \in \mathbb{Z}$, $q \neq 0$ darstellen. Zu den wichtigsten irrationalen Zahlen zählt die Eulersche Zahl e , die man als den Grenzwert der Reihe

$$e^x := 1 + \frac{x^1}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \frac{x^4}{4!} + \dots = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{x^k}{k!}$$

mit $x = 1$ definiert.

Wie sehen wir nun, dass e tatsächlich irrational ist? Für einen Widerspruchsbeweis geht man davon aus, dass e rational sei. Somit können wir laut der obigen Definition e als $e = \frac{a}{b}$ für $a, b \in \mathbb{Z}$, $b \neq 0$ schreiben. Multipliziert man die Gleichung mit $n! = 1 \cdot \dots \cdot n$ und formt sie um, so erhält man die Gleichung $n!be = n!a$.

Die linke Seite der Gleichung wird in zwei Summanden unterteilt:

$$n!b \left(1 + \frac{1}{1!} + \frac{1}{2!} + \dots + \frac{1}{n!} \right) + n!b \left(\frac{1}{(n+1)!} + \frac{1}{(n+2)!} + \dots \right)$$

Der erste Teil dieser Summe ist eine ganze Zahl. Der zweite Teil lässt sich als Grenzwert einer geometrischen Reihe nach oben abschätzen durch

$$b \left(\frac{1}{(n+1)} + \frac{1}{(n+1)(n+2)} + \dots \right) \leq b \left(\frac{1}{(n+1)} + \frac{1}{(n+1)^2} + \dots \right) = \frac{b}{n}.$$

Für hinreichend großes n ist dies jedoch keine ganze Zahl – und somit ist bewiesen, dass e irrational sein muss. \square

Nun wollen wir noch beweisen, dass sogar e^s für alle rationalen Exponenten $s \in \mathbb{Q}$, $s \neq 0$ irrational ist. (Für irrationale Exponenten gilt dies nicht, man denke etwa an den Exponenten $\ln(2)$; $e^{\ln(2)} = 2 \in \mathbb{Q}$). Für den Widerspruchsbeweis wollen wir annehmen, dass s ganzzahlig sei. Aus $e^{\frac{p}{q}} \in \mathbb{Q}$ würde nämlich $(e^{\frac{p}{q}})^q = e^p \in \mathbb{Q}$ folgen.

Es gelte also $e^s = \frac{a}{b}$ für $s \in \mathbb{Z}$, $s \neq 0$. Die Gleichung wird mit $n!$ multipliziert, wobei n groß genug gewählt sei, dass $n! > a(s^2)n$ gelte. Dass dies möglich ist, liegt daran, dass beim Schritt von n auf $n+1$ rechts ein (fester) Faktor s^2 hinzutritt, links aber der Faktor $n+1$.

Setze nun $f(x) = (x^n(1-x)^n)/n!$.

Man kann leicht überprüfen, dass f die folgenden Eigenschaften hat:

- (a) f ist ein Polynom mit ganzzahligen Koeffizienten.
- (b) Für $0 < x < 1$ gilt $0 < f(x) < \frac{1}{n!}$.
- (c) Die Ableitungen $f^{(k)}(0)$ und $f^{(k)}(1)$ sind ganzzahlig für alle $k \in \mathbb{N}$.

Setze nun

$$g(x) := s^2 n f(x) - s^{2n-1} f'(x) + s^{2n-2} f''(x) \mp \dots$$

Wir merken an, dass alle Ableitungen von f mit $k > 2n$ verschwinden. Man überzeuge sich davon, dass

$$g'(x) = -s g(x) + s^{2n+1} f(x)$$

gilt. Dies impliziert

$$d/dx(e^{sx} g(x)) = s e^{sx} g(x) + e^{sx} g'(x) = s^{2n+1} e^{sx} f(x)$$

.

Aufgrund der Definition von g und der Eigenschaften von f liefert beidseitige Integration mithilfe des Hauptsatzes der Differential- und Integralrechnung

$$N := b \int_0^1 s^{2n+1} e^{sx} f(x) dx = ag(1) - bg(0) \in \mathbb{Z}.$$

Jedoch gilt nach obiger Annahme für n gleichzeitig auch

$$0 < N = b \int_0^1 s^{2n+1} e^{sx} f(x) dx < \frac{bs^{2n+1}}{n!} \frac{e^s - 1}{s} < \frac{as^{2n}}{n!} < 1$$

Damit haben wir einen Widerspruch zur Annahme, dass $e^s \in \mathbb{Q}$ ist, erhalten.

Mit ähnlichen Methoden haben wir im Kurs gezeigt, dass π^2 (und damit auch π) irrational ist.

Literaturverzeichnis

- Aigner, Martin/Ziegler, Günter M. (2014): *Das BUCH der Beweise*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- https://de.wikipedia.org/wiki/Beweis_der_Irrationalitat_der_eulerschen_Zahl (10.6.2015)
- https://de.wikipedia.org/wiki/Irrationale_Zahl (21.07.2016)

4.11 Das Buffonsche Nadelpfproblem

Schülerin: Freya Moßig
Betreuer: Rüdiger Kling

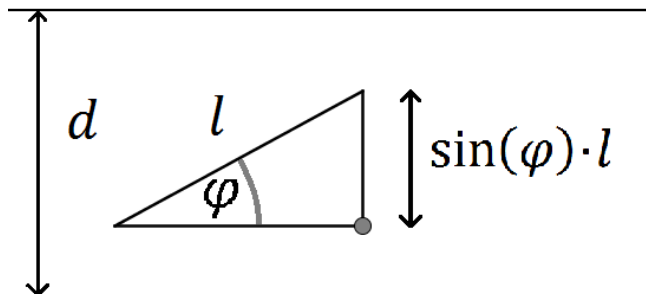
Satz: *Eine kurze Nadel der Länge ℓ werde auf liniertes Papier fallen gelassen, dessen Linien einen Abstand $d \geq \ell$ haben. Dann beträgt die Wahrscheinlichkeit, dass die Nadel in einer Position zu liegen kommt, in der sie eine der Linien des Papiers kreuzt, genau $\frac{2\ell}{\pi d}$.*

Der Comte de Buffon formulierte 1777 diesen Satz und versuchte, mit seiner Hilfe und mithilfe von Stäbchen und den Fugen seiner Fliesen π experimentell zu ermitteln. Wir haben im Kurs diesen Satz auf drei verschiedene Arten bewiesen.

Analytischer Beweis

Der Winkel φ zwischen der Nadel und der Horizontalen nimmt Werte zwischen 0 und $\frac{\pi}{2}$ an. Alle weiteren Fälle lassen sich aufgrund der Symmetrie in diesem Winkelbereich darstellen. Nun betrachten wir die Höhe der Nadel $\ell \sin(\varphi)$

Die Nadel schneidet eine der Linien genau dann, wenn sich ein Punkt auf der Höhe in einem Bereich um eine der Linien befindet.



Dieser Bereich ist genau so groß wie die Höhe. Da es sich um ein Laplace-Experiment handelt, gilt „Günstige“ $\frac{\ell \sin(\varphi)}{d}$. Man betrachtet nun nicht nur feste Winkel φ sondern bildet den Mittelwert über beliebige Werte zwischen 0 und $\pi/2$. Zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeit p bildet man also das Integral:

$$p = \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\ell \sin(\varphi)}{d} d\varphi$$

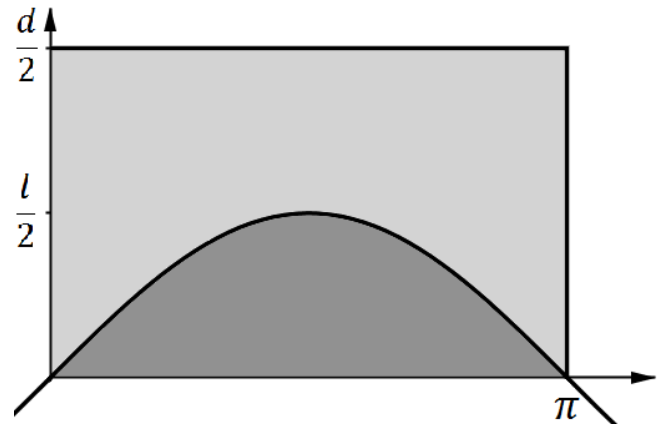
Der Vorfaktor kommt zustande, da durch alle möglichen Werte, die der Winkel annehmen kann, geteilt wird. Wie wir im Kurs nachgerechnet haben, erhält man als Lösung des Integrals $\frac{2\ell}{\pi d}$.

Geometrischer Beweis

Ähnlich gelingt der geometrische Beweis, bei dem man zusätzlich zu φ den Abstand y des Mittelpunktes der Nadel zur nächstgelegenen Linie misst. Gilt $y \leq \frac{\ell}{2} \sin(\varphi)$, so erhalten wir eine Kreuzung zwischen Linie und Nadel. Betrachten wir nun Winkel im Bereich bis π , also 180° (auch hier werden die Alternativen, da sie symmetrisch sind, vernachlässigt), dann gilt $0 \leq \varphi \leq \pi$. Bei Werten über $\frac{d}{2}$ für y wird der Abstand zu einer anderen, näher gelegenen Nadel betrachtet, so dass $0 \leq y \leq d/2$. Somit lassen sich die Möglichkeiten, in denen die Nadel fallen kann, in einem ebenen Koordinatensystem darstellen. Das gesamte graue Rechteck stellt hierbei alle möglichen Positionen dar, welche die Nadel einnehmen kann. Der dunkelgraue Bereich entspricht den günstigen Fällen, in denen sich eine Kreuzung ergibt. Die Wahrscheinlichkeit für eine Kreuzung beträgt damit ebenfalls $p = \frac{\int_0^\pi \frac{\ell}{2} \sin(\varphi) d\varphi}{\pi \frac{d}{2}} = \frac{2\ell}{\pi d}$.

Stochastischer Beweis

Da die erwartete Anzahl der Kreuzungen $E(\ell)$ in Abhängigkeit der Länge der Nadel linear ist, gilt $E(nx) = nE(x)$ für alle $n \in \mathbb{N}, \mathbb{Q}, \mathbb{R}$. Dies führt zu der Möglichkeit, die Nadel in verschiedene Teile zu zerschneiden, wobei es egal ist, ob diese aneinander gelötet, mit Scharnieren verbunden oder gar überhaupt nicht verbunden sind. Die Summe der Längen der Teile muss gleich bleiben und die einzelnen Kreuzungen der Nadeln mit den Linien mit dieser multipliziert werden, um den Erwartungswert zu erhalten. Da $E(x) = E(1 \cdot x) = x \cdot E(1) = x \cdot c$ für alle $x \geq 0$ gilt, wird nun die Konstante $c = E(1)$ gesucht, also der Erwartungswert für eine Kreuzung. Dies wird erreicht, indem die Nadel als Kreis angenommen wird, welche von P_n , einem einbeschriebenen, und P^n , einem umbeschriebenen regelmäßigen n -Eck approximiert wird. Dieser Kreis hat den Umfang $\ell = \pi d$ und somit immer genau zwei Schnittpunkte, da Berührungspunkte als Schnittpunkte gesehen werden. Es gilt: $E(P_n) \leq E(c) \leq E(P^n)$. Da $E(\ell) = c \cdot \ell$, $c \cdot \ell(P_n) \leq c \cdot \ell(P^n)$ mit P_n und P^n für $n \rightarrow \infty$, so dass diese den Kreis approximieren. Die Längen der Polygone nähern sich also der Länge des Kreises beziehungsweise der runden Nadel an: $\lim_{n \rightarrow \infty} \ell(P_n) = \pi \cdot d = \lim_{n \rightarrow \infty} \ell(P^n)$. Daraus ergibt sich mit der vorherigen Formel $c \cdot \pi \cdot d \leq 2 \leq c \cdot \pi \cdot d$, eine klassische „Sandwichungleichung“. Daraus folgt: $c = 2/\pi d$, und da $E(\ell) = c \cdot \ell$ gilt, ist $E(\ell) = p = \frac{2\ell}{\pi d}$.



Literaturverzeichnis

- Aigner, Martin/Ziegler, Günter M. (2014): *Das BUCH der Beweise*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. 3. Auflage, S. 179-182.
- D. A. Klain, G.-C. Rota (1997): *Introduction to Geometric Probability*, „Lezioni Lincee“ (Cambridge University Press).

5 Physikkurs

Thermodynamik

Die Thermodynamik hat einen gigantischen Einfluss auf unser Leben: Alltägliches beruht auf thermodynamischen Prinzipien, zum Beispiel jegliche Transporttechnik; bei Sportarten wie dem Bergsteigen müssen wir sie beachten. Sogar wenn wir Nudeln kochen und einen Deckel auf den Topf auflegen, haben wir sie benutzt. Thermodynamik ist überall!

Im Physik-Kurs wollen wir diese Prinzipien kennenlernen: Was sind Druck und Temperatur und wie hängen diese makroskopischen Größen, die wir kennen, mit den mikroskopischen Größen aus der klassischen Mechanik zusammen? Warum bekommt man ab einer gewissen Höhe nicht genügend Luft und warum ist es da oben eigentlich so kalt? Oder warum wird das eigene Zimmer scheinbar von alleine immer unordentlicher und warum kostet es soviel Energie es wieder aufzuräumen?

Diesen und weiteren Fragen wollen wir im Physik-Kurs auf den Grund gehen und sie klären. Dazu haben wir eine Reihe von interessanten Experimenten dabei und können damit viel testen, ausprobieren und messen.

Kursleitung

Prof. Dr. Wolf Aßmus, Professor für Physik an der Goethe-Universität Frankfurt am Main

Alexander Dick, Lehrer für Physik und Mathematik

5.1 Temperatur und Druck als makroskopische Größen

Max Weigand

Betreuer: Alexander Dick

Temperatur

Von klein auf besitzen wir ein subjektives Verständnis von Temperatur. Wenn wir im Winter das Haus verlassen, ist uns kalt, weshalb wir uns warm anziehen. Im Sommer essen wir Eis und trinken kalte Getränke, um uns abzukühlen. Doch was ist Temperatur?

Im Jahre 1827 nahm der Biologe Robert Brown unter dem Mikroskop unregelmäßige, zitternde Bewegungen von Pollen in Wassertropfen wahr. Diese Zitterbewegung rührt daher, dass die umliegenden Wassermoleküle zufällige Bewegungen vollziehen und dabei durch Stöße Impuls auf die Pollen übertragen. Diese Bewegung wird allgemein als Brownsche Molekularbewegung bezeichnet.

Nach dem „0.“ Hauptsatz der Thermodynamik gilt: Stehen zwei Körper A und B mit einem Körper C im thermischen Gleichgewicht, haben also die gleiche Temperatur, so stehen sie auch untereinander im Gleichgewicht.

Die Temperatur stellt die mittlere kinetische Energie dar, die (in diesem Fall) die Wassermoleküle besitzen. Sie ist gegeben durch die Formel:

$$\bar{E}_{kin} = \frac{1}{2}m\bar{v}^2 = \frac{3}{2}kT \quad (4)$$

Hierbei ist \bar{v}^2 das mittlere Geschwindigkeitsquadrat der Moleküle und k die Boltzmann-Konstante mit dem Wert $k = 1,381 \cdot 10^{-23} JK^{-1}$.

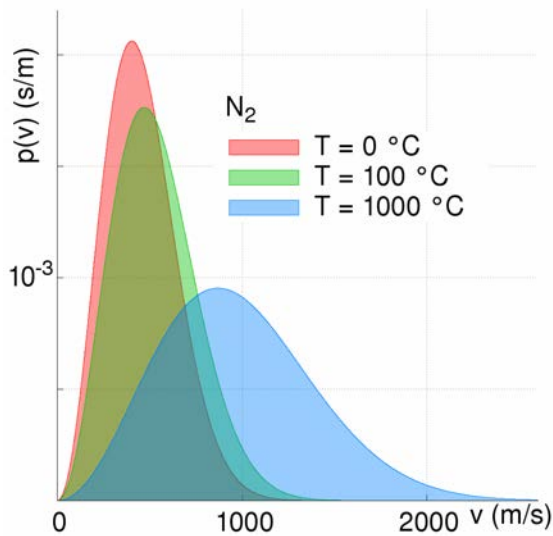


Abbildung 1: Geschwindigkeitsverteilung von Stickstoff bei verschiedenen Temperaturen

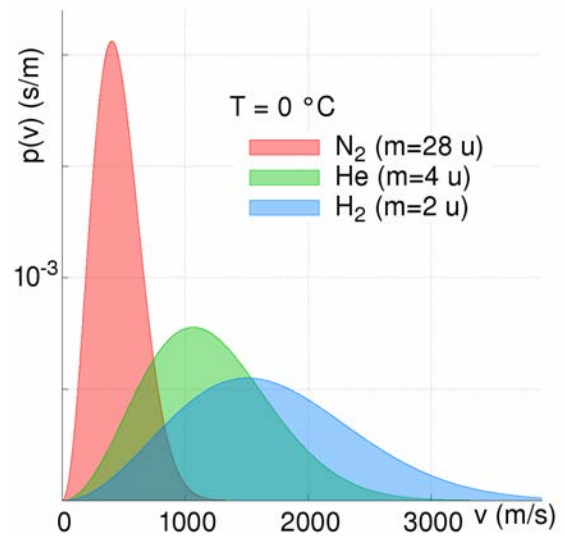


Abbildung 2: Geschwindigkeitsverteilung verschiedener Gase bei $T = 0$

Die Formel für die Temperatur liefert uns zwar die mittlere Geschwindigkeit der Teilchen, allerdings nicht die Wahrscheinlichkeit, mit welcher ein Teilchen eine Geschwindigkeit v hat. Dafür benötigen wir die Maxwell-Boltzmann-Verteilung bzw. Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung (siehe Abb.1 und Abb.2). An der ersten Abbildung erkennt man die Abhängigkeit der Geschwindigkeitsverteilung von der Temperatur bei gleicher Masse (N_2 -Molekül). Bei steigender Temperatur steigt auch der Anteil höherer Geschwindigkeiten und damit die Durchschnittsgeschwindigkeit. Letztere ist nicht mit der wahrscheinlichsten Geschwindigkeit gleichzusetzen, da die Verteilung asymmetrisch ist.

Die zweite Abbildung gibt die Geschwindigkeitsverteilung in Abhängigkeit zur Masse bei konstanter Temperatur an: Bei steigender Masse sinkt sowohl der Anteil an hohen Geschwindigkeiten, als auch die Durchschnittsgeschwindigkeit.

Dass schwere Gase langsamer sind als leichte Gase lässt sich mit folgendem Experiment veranschaulichen: Man füllt einen Tonzylinder mit Stickstoff. Anschließend setzt man einen Glasbehälter darüber und füllt den Zwischenraum mit Wasserstoff. Misst man den Differenzdruck von Tonzylinder und Raumdruck, so sieht man, dass dieser zunächst schnell ansteigt und dann langsam gegen null geht. Entfernt man nun den Glasbehälter, so sinkt nicht nur der Druck im Zylinder, nur um kurz darauf wieder gegen null zu gehen. Er schießt sogar noch einmal über null hinaus.

Dies lässt sich dadurch erklären, dass die leichten Wasserstoffmoleküle schneller durch die porösen Wände des Zylinders diffundieren als die schweren Stickstoffmoleküle. Dies sorgt zunächst für eine erhöhte Teilchendichte und damit erhöhten Druck im Zylinder. Beim Abnehmen des Behälters entweicht der Wasserstoff schneller aus dem Tonzylinder als der Stickstoff nachströmen kann, was den negativen Druck verursacht. Zuletzt begibt sich das System wieder in den Gleichgewichtszustand

Druck

Stößt ein Teilchen (elastisch) gegen die Gefäßwand übt es eine Kraft auf sie aus. Stellt man sich nun eine Testfläche vor, auf die ganz viele Teilchen einprasseln, dann ist der Druck $p = \frac{F}{A}$ und entspricht dem Impuls, den die Teilchen in einer bestimmten Zeit auf diese Fläche übertragen. Da wir drei Raumdimensionen haben und die Teilchen keine Bewegungsrichtung bevorzugen, können wir sagen, dass sich ein Sechstel von ihnen mit der Geschwindigkeit v in der Zeit dt auf diese zubewegt. Für die Stoßrate erhalten wir bei einer Teilchendichte n damit:

$$R_{St} = \frac{dN}{6dAdt} = \frac{ndxdA}{6dAdt} = \frac{nv}{6} \quad (5)$$

mit $dv = dAdx$

Beim elastischen Stoß mit einer Fläche treffen die Teilchen mit einem Impuls von mv auf diese, werden reflektiert, entfernen sich mit einem Impuls von $-mv$ und übertragen nach der Impulserhaltung einen Impuls von $2mv$. Daraus folgt für den Druck:

$$p = R_{St} \cdot 2mv = \frac{nv}{6} \cdot 2mv = \frac{nmv^2}{3} \quad (6)$$

Zum Schluss muss noch die Geschwindigkeit noch gemittelt werden, da nicht alle Teilchen dieselbe besitzen:

$$p = \frac{nm\overline{v^2}}{3} \quad (7)$$

Den Druck eines Gases kann man nutzen, um bspw. Energie zu speichern: Man verrichtet Arbeit an einem geschlossenen System, um es von einem Volumen V_1 auf ein Volumen V_2 zu verändern. Dabei wirkt eine Kraft $F(s)$ entlang eines Weg ds :

$$W = - \int_s F(s) ds \quad (8)$$

Da $F = pA$ und $A = \frac{dV}{ds}$ gilt, kann man die Formel umformen:

$$- \int_{V_1}^{V_2} p(V) dV = W_{12} \quad (9)$$

Quellen

- Meschede, D.: *Gerthsen Physik*, 23. Auflage, Heidelberg/Berlin: Springer Verlag, 2004
- https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:MaxwellBoltzmann_gases_T0C.png (23. August 2016)
- https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Mb_N2.png (23. August 2016)

5.2 Wärmekapazität

Jakob Lohr
Betreuer: Hendrik Budy

Bei der Übertragung thermischer Energie von einem Körper auf einen anderen spielt die Wärmekapazität eine wichtige Rolle.

Die Wärmekapazität beschreibt die Änderung der Inneren Energie eines Körpers in Abhängigkeit von seiner Temperatur und ist somit die Ableitung der Inneren Energie E nach der Temperatur

$$c_V = \left(\frac{\partial E}{\partial T} \right)_V = \frac{f}{2} Nk \quad (10)$$

Das Formelzeichen der Wärmekapazität ist c . Die innere Energie E wird in Joule (J) gemessen, T bezeichnet die Temperatur in Kelvin (K), N gibt die Zahl der Teilchen im gegebenen System an und f steht für die Anzahl der Freiheitsgrade, die besagte Teilchen besitzen.

Es wird zwischen molarer Wärmekapazität, welche die Wärmekapazität bezogen auf ein Mol eines Stoffes darstellt und spezifischer Wärmekapazität, welche die Wärmekapazität eines Stoffes bezogen auf seine Masse darstellt, unterschieden.

Außerdem macht es einen Unterschied, ob man die Wärmekapazität bei konstantem Druck oder bei konstantem Volumen betrachtet: bei konstantem Volumen berechnet sich die Wärmekapazität mit $\frac{f}{2} Nk$, bei konstantem Druck muss noch die Volumenarbeit des Gases gegen den Außendruck berücksichtigt werden:

$$c_p = \left(\frac{\partial E}{\partial T} \right)_p = \frac{f}{2} Nk + Nk = c_V + Nk \quad (11)$$

Freiheitsgrade entsprechen den Möglichkeiten der Teilchen sich zu bewegen, das heißt in Form von Translation, Rotation oder Oszillation entlang der drei verschiedenen Raumrichtungen, wobei die Oszillation, mit kinetischer und potentieller Schwingenergie, doppelt gewertete Freiheitsgrade bildet. Da sich die thermische Energie nach dem Gleichverteilungssatz gleichmäßig auf alle Freiheitsgrade aufteilt und die Energie jedes Freiheitsgrades $\frac{1}{2} kT$ beträgt, besitzt ein Körper die Energie:

$$E = \frac{f}{2} kT \quad (12)$$

Einatomige Teilchen besitzen keine Rotationsfreiheitsgrade, da sie keinen Angriffspunkt für Rotationsbewegung liefern, und auch keine Oszillationsenergie. Da sie sich frei bewegen können, besitzen sie drei Translationsfreiheitsgrade, also gilt

$$c = N \frac{3}{2} k \quad (13)$$

Linear aufgebaute Teilchen haben zusätzlich zwei weitere Rotationsfreiheitsgrade, wobei die Rotation um die Hauptachse bei nicht zu hoher Temperatur wegen des geringen Trägheitsmoments vernachlässigt werden kann, also gilt hier

$$c_V = \left(\frac{5}{2} + 3n - 5 \right) Nk \quad (14)$$

da sich die Zahl der Oszillationsfreiheitsgrade in linear aufgebauten Teilchen aus $2(3n - 5)$ berechnet, n steht dabei für die Zahl der Atome pro Molekül. Gewinkelte Teilchen in Fluiden besitzen sowohl drei Translationsfreiheitsgrade als auch drei Rotationsfreiheitsgrade und es gilt

$$c_V = N \left(\frac{6}{2} + 3n - 6 \right) \quad (15)$$

da hier die Zahl der Oszillationsfreiheitsgrade hinzukommt.

Es besteht eine Abhängigkeit zwischen Temperatur und Wärmekapazität, da Freiheitsgrade eine gewisse Energie benötigen, um aktiviert zu werden. Dabei ist die Energie zur Aktivierung von Translationsfreiheitsgraden geringer als die von Rotationsfreiheitsgraden, die wiederum weit unter der für die Oszillationsfreiheitsgrade liegt.

In Festkörpern sind Translationsfreiheitsgrade und Rotationsfreiheitsgrade vernachlässigbar, aber jedes der Teilchen aus dem er besteht, ist oszillationsfähig.

Das Dulong-Petit-Gesetz besagt, dass die molare Wärmekapazität eines aus einzelnen Atomen bestehenden Festkörpers das Dreifache der universalen Gaskonstante beträgt. Da kinetische Schwingenergie und potentielle Schwingenergie als separate Freiheitsgrade zu betrachten sind, kommt man auf 6 Freiheitsgrade. Somit beträgt die Energie eines Teilchens $\frac{6}{2}kT$ und die Energie eines Mols dieser Teilchen $\frac{6}{2}RT$. Da die Wärmekapazität die Ableitung der Energie nach der Temperatur ist, folgt daraus, dass die molare Wärmekapazität eines Festkörpers $3R$ beträgt.

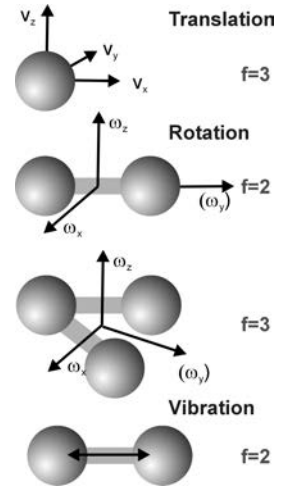


Abbildung 1: Freiheitsgrade verschiedener Moleküle

Quellen

- Meschede, D.: *Gerthsen Physik*, 23. Auflage, Heidelberg/Berlin: Springer Verlag, 2004
- Poul, B.: *Anschauliche Physik für Naturwissenschaftler*, Heidelberg/Berlin: Springer Verlag, 2014
- Bildquelle: <http://www.ipf.uni-stuttgart.de/lehre/online-skript/waerme/freiheitsgrade.gif> (13.8.2016)

5.3 Wärmetransport durch Konvektion und Wärmeleitung

Samuel Haas
Betreuer: Niklas Wulff

Wärmeleitung und Konvektion sind Transportmechanismen für thermische Energie. Bei der Konvektion wird die thermische Energie mit einem Teilchenfluss übertragen, wenn beispielsweise Luft an einem warmen Heizkörper vorbeiströmt, sich erwärmt und aufsteigt. Der Mechanismus der Wärmeleitung überträgt thermische Energie in ruhenden Fluiden und Festkörpern. Es ist kein Teilchenfluss erforderlich, da die Energie durch Molekülstöße bzw. Molekülschwingungen übertragen wird, etwa wenn im erwähnten Heizkörper die thermische Energie aus dem Wasser durch das Metall des Heizkörpers von der warmen Seite (wasserseitig) zur kalten Seite (luftseitig) transportiert wird.

Die zwei grundlegenden hier geltenden Gesetze sind zum einen der 1. Hauptsatz der Thermodynamik, der aussagt, dass in einem thermodynamischen System der Energieerhaltungssatz gilt, und zum anderen, dass thermische Energie nur in Richtung des Temperaturgefälles fließen kann (2. Hauptsatz der Thermodynamik).

Um eine instationäre Wärmeleitung bei komplexeren Temperaturverteilungen in einem Körper zu berechnen, wird die allgemeine Wärmeleitungsgleichung benötigt. Sie setzt sich aus der Wärmeleitfähigkeit λ des Materials, der räumlichen Temperaturverteilung $T(x, y, z)$, der Energie, die dem System über Wärmequellen zu- oder abgeführt wird, und der Energiespeicherung des Körpers zusammen. Hierbei ist Δ der koordinatenunabhängige Laplace-Operator.

Die Wärmeleitfähigkeit λ ist eine temperaturabhängige Stoffkonstante, die ein Material als guten oder schlechten Wärmeleiter klassifiziert.

Den Temperaturgradienten ∇T kann man sich bei einem zweidimensionalen Rechengebiet (einer Fläche) vereinfacht als Vektor vorstellen. In einem dreidimensionalen Körper funktioniert ∇T analog. Durch den Nabla-Operator ∇ wird die skalare Größe Temperatur T in einen Vektor umgeformt, der in die Richtung der größten Temperaturänderung zeigt und dessen Betrag die Änderung der Temperatur in dieser Richtung ist. Mit ΔT wird der Vektor in die drei Raumrichtungen x , y und z zerlegt:

$$\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (16)$$

Energiequellen und -senken sind Wärmemengen, die dem System (z.B. von außerhalb) zu- oder abgeführt werden. Dies kann beispielsweise werdende Wärme einer exothermen Reaktion sein.

Das Material speichert bei instationärer Wärmeleitung ($\frac{\partial T}{\partial t} \neq 0$) einen Teil der durch ihn übertragenen Energie, was sich in einer Temperaturänderung auswirkt. Dies wird mit

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (17)$$

bilanziert. Die Dichte ρ multipliziert mit der spezifischen Wärmekapazität c und der Temperatur T pro Zeit t ergibt die Energiespeicherung in $\frac{kJ}{m^3 K}$.

Die allgemeine Wärmeleitungsgleichung ist somit

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \dot{q}_a = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}. \quad (18)$$

Diese partielle Differentialgleichung lässt sich mithilfe eines allgemeinen Wärmeleitungskerns lösen⁴. In der Praxis werden häufig numerische Verfahren zur zeitlich und räumlich hochaufgelösten Lösung komplexer geometrischer Körper verwendet.

Zur Bestimmung von Wärmeströmen in Körpern benutzt man die Wärmestromgleichung, wobei der Wärmestrom sich aus der Wärmeleitfähigkeit des Körpers λ , der Querschnittsfläche A , der Temperaturdifferenz ∂T und der Dicke des Körpers d zusammensetzt:

$$\dot{Q} = \lambda \cdot A \frac{T_{W1} - T_{W2}}{d} \quad (19)$$

Analog zur Flussdichte bei Strömen kann man auch eine Dichte des Wärmestroms wie folgt errechnen:

$$q = \frac{Q}{A \cdot \Delta t} = \frac{\dot{Q}}{A} \quad (20)$$

⁴Nachzulesen beispielsweise bei [<http://www2.analysis.uni-hannover.de/schrohe/Lehre/MfP14/mfp16.pdf>]

Quellen

- www.spektrum.de/lexikon/physik/waermeleitfaehigkeit/15386 (13.08.16)
- <http://www2.analysis.uni-hannover.de/schrohe/Lehre/MfP14/mfp16.pdf> (22.08.16)
- Meschede, D.: *Gerthsen Physik*, 23. Auflage, Heidelberg/Berlin: Springer Verlag, 2004
- Stephan, P.: *Technische Thermodynamik I*, TU Darmstadt: Vorlesungsunterlagen, 2011
- Stephan, P.: *Wärme- und Stoffübertragung*, TU Darmstadt: Vorlesungsunterlagen, 2012

5.4 Das Ideale Gasgesetz

Philipp Heering
Betreuer: Gregor Angeloni

Das Ideale Gas ist eine Modellvorstellung, die auf folgenden Annahmen basiert:

- Die Teilchen bewegen sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten in zufällige, aber statistisch erfassbare Richtungen.
- Teilchen sind Punktmassen, d.h. ihr Eigenvolumen ist vernachlässigbar.
- Zwischen Stößen bewegen sie sich geradlinig gleichförmig und üben keine Kräfte aufeinander aus.
- Kollision von Teilchen untereinander oder Kollision mit der Gefäßwand werden als ideal elastisch betrachtet.

Das Ideale Gasgesetz beschreibt, wie die Größen: Druck p , Volumen V , Teilchenzahl N und Temperatur T eines idealen Gases im thermodynamischen Gleichgewicht voneinander abhängen. Sie werden durch die Boltzmann-Konstante k_b in folgender Gleichung verknüpft

$$pV = Nk_bT \quad (21)$$

Sie beschreibt die Abhängigkeit der genannten Größen eines Systems im thermodynamischen Gleichgewicht. Wenn drei der vier variablen Größen bestimmt sind, ist die letzte durch (21) berechenbar.

Das Ideale Gasgesetz entwickelte sich zunächst aus den Beobachtungen von R. Boyle und E. Mariotte. Sie fanden die Gültigkeit der Beziehung

$$P \propto V^{-1}|_{N,T=\text{const}} \quad (22)$$

zwischen Druck und Volumen bei konstanter Temperatur.

Dies kann, beispielsweise mit dem experimentellen Aufbau, der in der Abbildung gezeigt ist, experimentell sehr einfach bestätigt werden. Wird mit einem Kolben das dem Gas zur Verfügung stehende Volumen verkleinert, so kann mit Hilfe eines Manometers die Änderung des Drucks bestimmt werden.

Druck p /bar	Volumen V /cm ³	$p \cdot V$
0,57	25	14,25
0,62	24	14,88
0,62	23	14,26
0,66	22	14,52
0,68	21	14,28
0,72	20	14,40



Man erkennt die Beziehung

$$pV = \text{const}|_{N,T=\text{const}} \quad (23)$$

womit Formel (22) bestätigt ist.

Gemeinsam mit dem Gesetz von Charles

$$V \propto T|_{N,p=\text{const}} \quad (24)$$

folgt die Beziehung

$$pV \propto T \quad (25)$$

Dieses Gesetz von Gay-Lussac lässt sich auch durch

$$pV = CT \quad (26)$$

ausdrücken. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich, dass der Proportionalitätsfaktor C sich aus der Teilchenzahl N und der Boltzmann-Konstanten zusammensetzt. Es folgt die Gleichung (18).

Ein alternativer Ausdruck der idealen Gasgleichung folgt durch Multiplikation der Boltzmann-Konstante mit der Avogadro-Zahl und Angabe der Teilchenmenge in Mol. So ausgedrückt lautet die Ideale Gasgleichung

$$pV = nRT \quad (27)$$

wobei R die Universelle Gaskonstante ist und n die Teilchenmenge in Mol.

Quellen

- Tipler, A.: *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure*, 6. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, 2008
- Giancoli, D.: *Physik*, 3. Auflage, London: Pearson Studium, 2016
- http://www.pci.tu-bs.de/aggericke/PC1/Kap_I/Ideales_Gasgesetz.htm (10.08.2016)
- https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/nawi.inst.251/Didactics/thermodynamik/INHALT/IDEAL.HT (11.08.2016)

5.5 Entropie

Elias Fischer
 Betreuer: Jan Fotakis

Die Entropie wurde in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts von Rudolf Clausius entdeckt. Bei der Arbeit mit Wärmekraftmaschinen fiel ihm der folgende Zusammenhang auf: „Energieänderung“= „intensive Größe“· „Änderung extensive Größe“. Er versuchte, diese Art von Gleichung mit der Änderung der Wärmeenergie aufzustellen, und erhielt:

$$\Delta Q = T \cdot \Delta x \quad (28)$$

Diese fehlende Größe x nannte Clausius Entropie und gab ihr den Formelbuchstaben S . Die Formel für die Entropie nach Clausius in ihrer differentiellen Form ist damit:

$$dS \geq \frac{dQ}{T} \quad (29)$$

dQ ist hierbei die auf reversiblen oder irreversiblen Weg zwischen zwei Gleichgewichtszuständen als Wärme übertragene Energie. Bei reversibler Übertragung gilt das Gleichheitszeichen, bei irreversibler gilt das Größerzeichen.

Ein Vorgang ist reversibel, wenn er von selbst wieder in den Ausgangszustand gelangen kann, ohne dass dem System von außen Energie zugeführt werden muss. Dabei muss er immer möglichst nahe am Gleichgewicht und ohne Reibung ablaufen. Die Entropie nach Clausius wird über ihre Änderung definiert und ist phänomenologisch motiviert.

Es gibt noch eine weitere Definition der Entropie, die Boltzmann-Entropie, nach Ludwig Boltzmann. Sie lautet

$$S = k \ln P \quad (30)$$

wobei k die Boltzmann-Konstante und P die Zahl der Möglichkeiten ist, die Energie eines Systems auf seine mikroskopischen Freiheitsgrade zu verteilen und die Orte der Teilchen miteinander zu vertauschen. Die Boltzmann-Entropie liefert ein Maß für die Größe des Raumes aller erreichbaren Mikrozustände eines Systems. Im Gegensatz zur Entropie nach Clausius liefert sie einen absoluten Wert der Entropie und ist aus einer mikroskopischen Theorie motiviert. Die Entropiedefinitionen nach Clausius und Boltzmann sind in den meisten Fällen äquivalent.

Kommen wir nun zu dem wichtigsten Satz der Thermodynamik, dem zweiten Hauptsatz. Von ihm gibt es viele verschiedene Formulierungen, die alle äquivalent sind. Die allgemeinste Formulierung lautet, dass die Entropie des Universums niemals abnehmen kann. Weitere Formulierungen sind:

- Es kann nie Wärme aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen, wenn nicht gleichzeitig eine andere damit zusammenhängende Änderung einer extensiven Größe eintritt. (Formulierung von Clausius)
- In einem abgeschlossenen System kann die Entropie niemals abnehmen.
- Wärme kann nicht durch eine periodisch arbeitende Maschine vollständig in Arbeit umgewandelt werden, Arbeit jedoch vollständig in Wärme.
- Es ist nicht möglich, eine periodisch arbeitende Maschine zu konstruieren, deren einzige Wirkung darin besteht, eine mechanische Arbeit zu verrichten und ein Wärmereservoir abzukühlen. Ein Perpetuum Mobile zweiter Art gibt es also nicht. (Formulierung von Lord Kelvin).

Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik gilt immer! Er ist ein Erfahrungssatz, und somit nicht herleitbar oder beweisbar. Er verbietet ein Perpetuum Mobile zweiter Art, welches auf dem Bild skizziert ist:

A und B sind beide ideale Carnot-Wärmekraftmaschinen, A wird hierbei als Kraftmaschine und B als Wärmepumpe benutzt, B wird mit einem Teil der von A verrichteten Arbeit betrieben. Der Wirkungsgrad von A sei hierbei größer als der von B . Wenn man die Energiebilanz der beiden Maschinen betrachtet, wird dem warmen Speicher 2 genauso viel Wärme zu- wie abgeführt, das heißt

$$|Q_{2B}| = |Q_{2A}| \quad (31)$$

und dem kalten Speicher 1 wird mehr Wärme entnommen als zugeführt, das heißt

$$|Q_{1B}| > |Q_{1A}| \quad (32)$$

er kühlt sich folglich ab. Gleichzeitig verrichtet Maschine A die Arbeit $W_A - W_B$ an einem äußeren System. Diese Wärmekraftmaschine entspräche einem Perpetuum Mobile zweiter Art, wodurch sich Sadi Carnots Formulierung des 2. Hauptsatzes ableitet: Es existiert keine Maschine, die einen höheren Wirkungsgrad als eine Carnot-Maschine bei gleichem Temperaturunterschied der Wärmereservoirs besitzt.

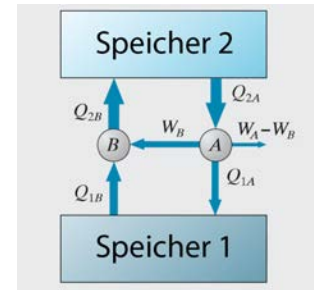
In der Frühzeit der Thermodynamik war noch nicht klar, ob die Formulierungen des zweiten Hauptsatzes allgemeingültig sind oder ob man kleinere physikalische Systeme finden könnte, die den zweiten Hauptsatz verletzen.

James Clerk Maxwell schlug deshalb 1867 ein Gedankenexperiment vor, das die Formulierung der Entropie von Clausius verletzt: In einer abgeschlossenen Kammer sind zwei Gase in der Mitte durch eine Wand mit einer kleinen Schleuse getrennt. Die Schleuse ist reibungsfrei gelagert und wird von einem schlaun Wesen kontrolliert, das die Geschwindigkeit eines Teilchens bestimmen kann. Mit diesem Wissen sammelt es alle schnellen Teilchen auf der einen Seite und alle langsamen auf der anderen. Durch diesen Sortiervorgang wird die Seite mit den schnellen Teilchen wärmer, die Seite mit den langsamen Teilchen kühlt sich ab. Nach Clausius ist das aber unmöglich, da Wärme sich im thermodynamischen Gleichgewicht immer gleichmäßig verteilt. Dieses Gedankenexperiment des Maxwellschen Dämon ist bis heute immer noch ein Gegenstand der Forschung.

Kommen wir zum Schluss noch zum dritten Hauptsatz der Thermodynamik. Er besagt, dass beim absoluten Nullpunkt $T = 0K = -273,15^\circ C$ die Entropie S den Wert Null annimmt. Die innere Energie des Stoffes hängt von der räumlichen Anordnung der unterschiedlichen Bestandteile mit ab. Der Zustand mit der geringsten inneren Energie, also der „entmischteste“ Zustand des Stoffes, müsste sich bei $T = 0K$ einstellen. Dieser Vorgang dauert bei sehr niedrigen Temperaturen allerdings sehr lange, weshalb man sich dem absoluten Nullpunkt nur annähern kann. Nahe am absoluten Nullpunkt bleibt dann noch eine Restentropie S_R übrig.

Quellen

- Nolting W.: *Grundkurs Theoretische Physik 4: Spezielle Relativitätstheorie, Thermodynamik*, Berlin/Heidelberg: Springer Verlag, 2012
- Stierstadt K.: *Thermodynamik: Von der Mikrophysik zur Makrophysik*, Berlin/Heidelberg: Springer Verlag, 2010
- Meschede D.: *Gerthsen Physik*, 23. überarb. Aufl., Berlin/Heidelberg: Springer Verlag, 2006
- Bild: Meschede D.: *Gerthsen Physik*, 23. überarb. Aufl., Berlin/Heidelberg: Springer Verlag, 2006, S. 250, Abb. 5.52



5.6 Erster Hauptsatz der Thermodynamik und Carnot-Prozess

Karl Erlemann
Betreuer: Niklas Wulff

Erster Hauptsatz der Thermodynamik

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W \quad (33)$$

Der 1. Hauptsatz der Thermodynamik stellt eine Formulierung des Prinzips der Energieerhaltung in Bezug auf Größen der Wärmelehre dar. Er wurde formuliert für thermodynamische Prozesse in geschlossenen Systemen.

Ausgeschrieben bedeutet er: „Die Änderung der Inneren Energie U eines geschlossenen Systems ist gleich der Summe der Änderung der Wärme Q und der Änderung der Arbeit W “. Dementsprechend kann die Energie eines Systems nur durch Austausch mit der Umgebung steigen oder sinken.

Die Wärme Q beschreibt die Zu- oder Abfuhr von thermischer Energie auf Grundlage von Temperaturunterschieden. Die Arbeit W ist das Integral der Kraft über den Weg. Wenn einem System Arbeit zugeführt wird, steigt seine Innere Energie. Innere Energie U ist der Energieinhalt, der sich momentan im System befinden, also in unserem Fall die thermische (Teilchenbewegungs-) Energie.

Je nachdem, welche Eigenschaften ein System hat, kann es verschiedene Zustandsänderungen durchlaufen. Man kann vier wichtige Zustandsänderungen voneinander unterscheiden: die isobare ($\Delta p = 0$), die isochore ($\Delta V = 0$), die isotherme ($\Delta T = 0$) und die adiabatische (isentrop) ($\Delta S = 0$) Zustandsänderung.

Bei allen im Voraus betrachteten Zustandsänderungen bleibt eine (extensive) Systemgröße konstant; bei der isobaren der Druck, bei der isochoren das Volumen, bei der isothermen die Temperatur und bei der adiabatischen die Entropie. Beispielhaft soll im Folgenden die zu- oder abgeführte Arbeit bei einer isothermen Zustandsänderung eines idealen Gases hergeleitet werden.

Mit der idealen Gasgleichung

$$p(V) = \frac{Nk_bT}{V} \quad (34)$$

folgt aus der Definition der Volumenarbeit

$$W = - \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (35)$$

dass die Arbeit auch durch folgende Gleichung ausgedrückt werden kann:

$$W = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{Nk_bT}{V} dV \quad (36)$$

Es wird angenommen, dass es nicht möglich ist, Teilchen über die Systemgrenze zu transportieren, d.h. N ist konstant. Da wir einen isothermen Vorgang betrachten, bleibt T auch konstant. k_b ist ebenfalls eine Konstante (Boltzmann-Konstante).

Da diese drei Faktoren konstant sind, kann man sie vor das Integral ziehen. Es ergibt sich also:

$$W = -NkT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} \quad (37)$$

Die Lösung des Integrals ergibt den Logarithmus Naturalis, der sich mithilfe der Logarithmusgesetze weiter umformen lässt und sich damit folgende Gleichung ergibt:

$$W = NkT \cdot \ln \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \quad (38)$$

Durch Einsetzen der Werte in die Formel ist es nun möglich, die Volumenänderungsarbeit einer isothermen Zustandsänderung zu errechnen.

Carnot-Prozess Der Carnot-Prozess nimmt eine wichtige Stellung innerhalb der Thermodynamik ein. Er beschreibt den Prozess mit maximalem Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine, die zwischen einem heißen und einem kalten Temperaturniveau arbeitet. Die Carnot-Maschine kann den höchsten Wirkungsgrad erreichen, aber auch sie erreicht keine 100%. Den Wirkungsgrad berechnet man wie folgt:

$$\eta = \frac{W}{W_{ein}} = 1 - \frac{T_{kalt}}{T_{Warm}} \quad (39)$$

Hierbei stellt W die erzeugte Arbeit und Q_{ein} die zugeführte Wärme dar. Insgesamt laufen in einem Carnot-Prozess pro Zyklus vier Zustandsänderungen ab: zwei isotherme und zwei adiabatische. Der Carnot-Prozess kann sowohl zur Bereitstellung von Arbeit wie auch zur Umwandlung von Arbeit in Wärme (Kühlschrank) verwendet werden.

Quellen

- <https://de.wikipedia.org/wiki/Thermodynamik> (23.08.2016)
- https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/nawi.inst.251/Didactics/thermodynamik/INHALT/HS1.HTM (zugegriffen am 23.08.2016)
- Meschede D.: *Gerthsen Physik*, 23. überarb. Aufl., Berlin/Heidelberg: Springer Verlag, 2006

5.7 Reale Gase

Eric Kühner

Betreuer: Hendrik Budy

Reale Gase verhalten sich annähernd wie Ideale Gase, weswegen sie mit diesem Modell für geringe Drucke und hohe Temperaturen hinreichend genau beschrieben werden können. Daraus folgt, dass Gesetze, welche für Ideale Gase formuliert werden, auch für reale Gase näherungsweise zutreffen. Wie genau die Näherung ist, hängt von den gegebenen Umständen ab. Zwischen den Teilchen eines realen Gases wirken Bindungskräfte wie die sog. van-der-Waals-Kräfte oder Dipol-Dipol-Wechselwirkungen. Die exakte mathematische Behandlung eines solchen Gases ist i.A. analytisch nicht möglich, da die Wechselwirkungen aller Teilchen untereinander und ihr Eigenvolumen berücksichtigt werden müssen. Um reale Gase annähernd beschreiben zu können, hat Johannes van der Waals die Zustandsgleichung des idealen Gases verändert und folgende Formel aufgestellt:

$$p = \frac{N \cdot k_b \cdot T}{V - N \cdot b} - a \cdot \frac{N^2}{V^2} \quad (40)$$

p : Druck in bar

k : Boltzmann-Konstante

V : Volumen in Kubikmetern

T : absolute Temperatur in Kelvin

N : Teilchenanzahl

Die Parameter a und b sind stoffspezifische Konstanten, die als „van-der-waals’sche“ Konstanten bezeichnet werden. Der Term $-b \cdot N$ erfasst das Eigenvolumen der Moleküle, welches beim idealen Gas vernachlässigt wird.

Der Term $-a \frac{N^2}{V^2}$ erfasst den sog. Binnendruck, der, verursacht durch molekulare Anziehungskräfte, die Stoßhäufigkeit und Kraft jeden Stoßes gegen die Gefäßwand verringert und somit zum Außendruck addiert werden muss.

Joule-Thomson-Effekt:

Der Joule-Thomson-Effekt tritt auf, wenn ein Gas oder ein Gasgemisch durch Druckänderung eine Veränderung der Temperatur erfährt. Wenn also ein Gas in einem System unter Druck gesetzt wird und dann ein Ventil geöffnet wird, entspannt sich das Gas schlagartig. Durch die Druckänderung nimmt auch die Temperatur des realen Gases zu oder ab. Generell gilt: Eine Druckänderung wird immer von einer Temperaturänderung begleitet. Ein ideales Gas zeigt dagegen keinen Joule-Thomson-Effekt, da zwischen seinen Teilchen keine Wechselwirkungen auftreten. Wichtig für das Abkühlen eines Gases durch Expansion ist, dass die Ausgangstemperatur unterhalb (oberhalb) der oberen (unteren) Inversionstemperatur liegt. Die Inversionstemperatur ist bei einem gegebenen Druck diejenige Temperatur, bei der der Joule-Thomson-Koeffizient einen Vorzeichenwechsel erfährt. Dies ist die partielle Ableitung der Temperatur nach dem Druck. Wird ein Gas oberhalb (unterhalb) seiner oberen (unteren) Inversionstemperatur entspannt, so erwärmt es sich. Darunter kühlt es sich ab. Ist der Koeffizient größer Null kühlt sich das Gas ab, die anziehenden Kräfte überwiegen. Ist dieser jedoch kleiner Null erwärmt es sich, da die abstoßenden Kräfte überwiegen.

$$\mu = \frac{\partial T}{\partial p} \quad (41)$$

Phasenübergänge und Linde-Verfahren:

Phasenübergänge sind Zustandsänderungen eines Materials bei denen Phasen ineinander übergehen. Die molare Verdampfungsenthalpie beschreibt die thermische Energie, welche notwendig ist, um ein Mol eines Gases vom flüssigen in den gasförmigen Zustand zu transportieren. Durch Zufuhr von Wärme wird die Geschwindigkeit der Teilchen in einer Flüssigkeit erhöht und sie lösen sich von den sie umgebenden Teilchen, dadurch wird die Flüssigkeit zu einem Gas. Durch Abkühlung wird in einem Gas die Verringerung der Geschwindigkeit der Teilchen erreicht: Das Gas verflüssigt sich.

Ein Beispiel hierfür ist das Linde-Verfahren. Bei diesem werden Gasgemische verflüssigt und durch anschließende Destillation in ihre Bestandteile zerlegt. Zuerst verdichtet ein Kompressor die Luft auf einen Druck von 200 bar. Dann wird es gekühlt und über eine Turbine oder Drosselventil entspannt, wobei die Temperatur auf -25°C sinkt. Die Luft wird dann über einen Gegenstrom-Wärme-Überträger wieder zurück in den Kompressor geführt und dient somit zur Kühlung weiterer komprimierter Luft vor deren Entspannung. Durch diesen Prozess wird die Luft allmählich abgekühlt, bis eine Verflüssigung eintritt.

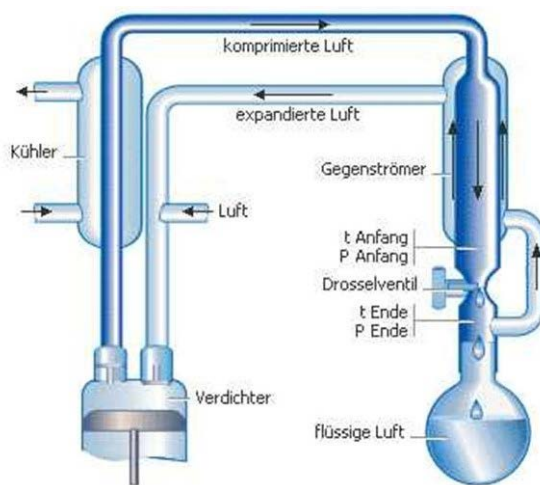


Abbildung 1: Linde-Verfahren zur Luftverflüssigung

Quellen

- Meschede, D.: *Gerthsen Physik*, 23. Auflage, Berlin/Heidelberg: Springer Verlag, 2006
- Poul, B.: *Anschauliche Physik für Naturwissenschaftler*, Heidelberg: Springer Verlag, 2014
- Grehn, Joachim & Krause, Joachim: *Metzler Physik*, 4. Auflage, Braunschweig: Schroedel Verlag, 2007
- Bildquellen: http://images.slideplayer.org/1/632041/slides/slide_28.jpg (30.07.2016)

5.8 Atmosphärischer Luftdruck und Boltzmann Verteilung

Antonia Weiland

Betreuer: Prof. Dr. Wolf Aßmus

Mit der barometrischen Höhenformel kann der Luftdruck als Funktion der Höhe berechnet werden. Bei Flüssigkeiten ergibt sich der Schweredruck aus dem Produkt der Höhe der Flüssigkeitssäule, der Gravitationskonstante und der Dichte

$$p = \rho \cdot g \cdot h \quad (42)$$

Der Unterschied zu Gasen besteht in deren Kompressibilität, weshalb man zunächst die Druckänderung von infinitesimalen Höhendifferenzen betrachtet, innerhalb derer man annehmen kann, dass die Dichte gleich ist, sodass gilt:

$$dp = -\rho dh \cdot g \quad (43)$$

Um den Druck als Funktion der Höhe bei einem Idealem Gas und konstanter Temperatur zu berechnen, stellt man eine Kräftebilanz auf, die sowohl die Gewichtskraft als auch die Kraft durch den Druck von oben und von unten auf das betrachtete Volumen mit der Grundfläche A und der Höhe dh einbezieht. Im Kräftegleichgewicht müssen sich die Kräfte aufheben:

$$-g\rho(h) \cdot A \cdot dh - p(h + dh) \cdot A + p(h) \cdot A = 0 \quad (44)$$

Nach Umformen dieser Kräftebilanz stellt man fest, dass diese die erste Ableitung des Druckes in Abhängigkeit von der Höhe ist

$$\frac{dp}{dh} = -g\rho(h) \quad (45)$$

Da der Druck in Abhängigkeit der Höhe berechnet werden soll, setzt man in die Formel für die Dichte ρ die Teilchenzahl N ein, die nach der Zustandsgleichung eines idealen Gases pV/kT wie folgt gegeben ist:

$$\rho = \frac{N \cdot m}{V} = \frac{p \cdot m}{kT} \quad (46)$$

Schließlich wird ρ in der Differenzialgleichung durch diesen Term ersetzt:

$$-g \frac{m}{kT} p(h) = \frac{dp}{dh} \quad (47)$$

Nach Lösen dieser Differenzialgleichung erhält man den Druck als Funktion der Höhe:

$$p(h) = p_0 \cdot e^{-\frac{mgh}{kT}} \quad (48)$$

Im Exponenten steht also das Verhältnis von potenzieller Energie eines Teilchen des Gases im Gravitationsfeld zu thermischer Energie. Diese Formel beinhaltet den Boltzmann Faktor ($e^{-\frac{mgh}{kT}}$), der in vielen Gebieten der Physik vorkommt und die Energieverteilung innerhalb eines Systems beschreibt. Bei einem mehrkomponentigen Gas muss man nach Dalton die Druckverteilung der einzelnen idealen Gase addieren.

Um zu veranschaulichen, dass nach der barometrischen Höhenformel der Druck mit zunehmender Höhe abnimmt, haben wir ein Experiment mit dem Behn'schen Rohr (Flammenwaage) durchgeführt.

Das Behn'sche Rohr ist ein geschlossenes Rohr, welches an den Enden des Rohres jeweils eine Bohrung hat und in dessen Mitte ein Schlauch abführt, der an eine Gasflasche angeschlossen werden kann. Beim ersten Durchlauf haben wir das brennbare Gas Methan in das Rohr fließen lassen und entzündeten es an den Bohrungen. Die Flammen waren, stand das Rohr waagrecht, gleich groß. Hob man eine Seite an, so wurde die höher gelegene Flamme größer, da das leichtere Gas Methan in der Höhe einen größeren Druck hatte als das schwerere Gas Luft. Im zweiten Durchlauf führten wir das Gleiche mit Butan, welches eine höhere Masse als die atmosphärische Luft hat, durch. Wir konnten das analoge Phänomen erneut beobachten, nur dass die Flammen am unteren Ende größer waren.

In einem weiteren Versuch haben wir, durch das Schwingen einer Membran, die darauf liegenden Teilchen, welche zwei unterschiedlichen Massen hatten, in Bewegung gebracht. Es ließ sich deutlich erkennen, dass die Teilchen mit geringerer Masse sich weiter oben bewegten, als die schwereren. Dies veranschaulichte, weshalb sich z.B. Bergsteiger beim Aufstieg auf einen sehr hohen Berg Gedanken über den Sauerstoffanteil in der Luft mit zunehmender Höhe machen sollten, da Sauerstoff (32 g mol^{-1}) schwerer ist als Stickstoff (28 g mol^{-1}).

Quellen

- Recknagel A.: *Physik, Schwingungen und Wellen, Wärmelehre*, 16. Auflage, Huss-Medien, 1990
- Meschede D.: *Gerthsen Physik*, 23. überarb. Aufl., Berlin/Heidelberg: Springer Verlag, 2006
- Tipler P. & Mosca G.: *Physik*, 6. Auflage, Berlin/Heidelberg: Springer Verlag, 2009

5.9 Statistische Mechanik

Kira Kauff

Betreuer: Jan Fotakis

Die Thermodynamik beschreibt, als phänomenologische Theorie, Vielteilchen-Systeme ausschließlich auf Grundlage experimenteller Daten. Zur Beschreibung dieser Phänomene durch ein theoretisches, mikroskopisch motiviertes Modell muss die Bewegung der Teilchen dieses Systems durch die Bewegungsgleichungen der klassischen Mechanik beschrieben werden.

Unter einem Vielteilchen-System versteht man ein System miteinander wechselwirkender Teilchen, wobei die Zahl der Teilchen in der Größenordnung von 10^{23} Teilchen liegt. Um jedoch die Bewegung von einer so enormen Anzahl von Teilchen zu beschreiben, müsste man ebenso viele i.A. miteinander gekoppelter Bewegungsgleichungen lösen. Dies ist weder analytisch noch numerisch mit der aktuell vorhanden Rechenleistung möglich. Trotzdem kann man physikalische Aussagen über ein solches Vielteilchen-System treffen, indem man anhand von Energie, Teilchenanzahl und Volumen mit Hilfe der Entropie-Definition Größen wie Temperatur, Druck und chemisches Potential beschreibt. Die statistische Mechanik möchte nun diese Größen mikroskopisch begründen. Hierbei bedient sie sich Methoden aus der Statistik, wie etwa die Berechnung von Mittelwerten, Häufigkeitsverteilungen und Schwankungen.

Man betrachte nun ein isoliertes System mit N Teilchen. Ein isoliertes System ist ein System, was weder Energie noch Materie mit der Umgebung austauscht. Wobei angemerkt sei, dass ein isoliertes System eine idealisierte Annahme ist, da immer ein kleiner Energieaustausch mit der Umgebung stattfindet. Es gibt aber Systeme, bei denen der Energieaustausch so gering ist, dass man in guter Näherung das System als ein isoliertes System betrachten kann (quasi-isoliert). Das System wird mit sogenannten generalisierten Koordinaten und den dazugehörigen generalisierten Impulsen beschrieben. Generalisierte Koordinaten sind verallgemeinerte Koordinaten.

Wenn ein System verschiedenen Zwangsbedingungen unterliegt (z.B. ein Teilchen kann sich nur innerhalb eines Rohrs bewegen) können die kartesischen Koordinaten durch diese generalisierte Koordinaten beschrieben werden; z.B. kann die Schwingung eines Fadenpendels alleine durch den zeitlichen Verlauf des Winkels zwischen Faden und Lot beschrieben werden. Die generalisierten Koordinaten und Impulse spannen nun, als unabhängige Koordinaten, ein $2s$ -dimensionales Koordinatensystem auf, in welchem die Bewegung eines jeden Teilchens im System durch einen $2s$ -dimensionalen Vektor beschrieben werden kann. Jeder Punkt in diesem Phasenraum stellt somit einen sogenannten Mikrozustand des gesamten Vielteilchen-Systems da und wird durch einen Vektor π eindeutig charakterisiert. Er enthält sowohl die generalisierten Koordinaten als auch die zugehörigen Impulse eines jeden Teilchens des Systems. Präpariert man das System zunächst im Zustand $\pi(0)$, so wird der Phasenraumvektor mit der Zeit durch den Phasenraum wandern. Verbindet man alle passiertten Mikrozustände in zeitlich korrekter Reihenfolge miteinander, so erhält man die sogenannte Phasenraumtrajektorie $\pi(t)$.

Da es sich um ein isoliertes System handelt, ist die Energie des Systems erhalten, sodass nur solche Mikrozustände angenommen werden können, die die gleiche Energie besitzen. Die Menge dieser Phasenraumpunkte nennt man den zugänglichen Phasenraum und stellt eine $2s-1$ -dimensionale Fläche im $2s$ -dimensionalen Phasenraum da. Die Bewegung der einzelnen Teilchen ist weder messbar noch berechenbar; gleiches gilt auch für Observablen.

Bei experimentellen Messungen messen wir in der Tat lediglich Mittelwerte und zugehörige Schwankungen. Ein Ziel der statistischen Mechanik ist folglich die Definition einer Wahrscheinlichkeitsdichte zur Berechnung von Mittelwerten und Schwankungen von Systemgrößen. Hierfür zerlegt man den zugänglichen Phasenraum in infinitesimal kleine Volumina und betrachtet zunächst die Bewegung der

Phasenraum-Trajektorie durch diese.

Die Quasi-Ergodenhypothese besagt, dass die Phasenraumtrajektorie jedem Teilvolumen mit der Zeit beliebig nahe kommt, sodass der gesamte, durch die Energieerhaltung zugängliche Raum durchlaufen wird. Das System ist dadurch unabhängig von den Anfangsbedingungen, weil die Phasenraumtrajektorie zwangsläufig jeden Punkt durchlaufen wird, unabhängig davon wo man startet. Systeme, die die Ergodenhypothese erfüllen heißen ergodisch, andernfalls nicht-ergodisch. Im folgenden betrachten wir ergodische Systeme. Da nun alle zugänglichen Zustände im Laufe der Zeit passiert werden, kann man, anstatt ein System unendlich lange zu betrachten, auch unendlich viele Kopien des selben Systems zu einem Zeitpunkt betrachten. Der einzige Unterschied zwischen den Kopien sollen die Anfangsbedingungen sein – die zugehörigen Phasenraumtrajektorien starten an verschiedenen Punkten im zugänglichen Phasenraum. Die Gesamtheit dieser Kopien nennt man Ensemble. Dadurch muss man nicht mehr unendlich lange warten, bis das System einen beliebigen Mikrozustand im zugänglichen Phasenraum passiert, denn zu jedem Zeitpunkt wird aufgrund der Quasi-Ergodenhypothese irgendein Mitglied des Ensembles diesen Mikrozustand passieren. Zählen wir nun die gesamte Anzahl der Ensemble-Mitglieder innerhalb eines kleinen Phasenraum-Volumens um einen beliebigen Mikrozustand herum und teilen es durch die gesamte Anzahl aller Ensemble-Mitglieder, so erhalten wir eine Wahrscheinlichkeitsdichte, die uns angibt, wie wahrscheinlich es ist, dass das System sich in diesem Mikrozustand befindet. Schließlich liefert uns das sogenannte Liouville-Theorem, dass die Wahrscheinlichkeitsdichte eines Vielteilchen-Systems, welches sich im thermodynamischen Gleichgewicht befindet, im gesamten zugänglichen Phasenraum-Volumen konstant ist. Sei folglich Γ das Volumen des zugänglichen Phasenraums, dann ist die Wahrscheinlichkeitsdichte gegeben durch

$$\rho = \frac{1}{\Gamma} \quad (49)$$

Wir haben somit unser Ziel erreicht, einen Wahrscheinlichkeitsbegriff zu finden, mit welchem wir Mittelwerte und Schwankungen von Observablen in unserer Theorie berechnen können. Definiert man weiter die oben erwähnten thermodynamischen Zustandsgrößen und vergleicht man die gefundenen Ergebnisse mit experimentellen Messungen, so sieht man, dass die phänomenologische Thermodynamik äquivalent zur gerade eingeführten statistischen Mechanik ist.

Quellen

- Rischke, D.: *Theoretische Physik V: Statistische Mechanik*, (Vorlesungsskript WS 2011/12): http://th.physik.uni-frankfurt.de/~drischke/Skript_SM.pdf, S.1-17, Rev. 23.08.2016
- Nolting, W.: *Grundkurs Theoretische Physik 6: Statistische Physik*, 7. Auflage Online-Ausgabe, Berlin/Heidelberg: Springer Spektrum, 2013
- Tipler P. und Mosca G.: *Physik*, 6. Auflage, Berlin/Heidelberg: Springer Verlag, 2009

5.10 Wärmestrahlung und Strahlungsgesetze

Nele Dierlamm

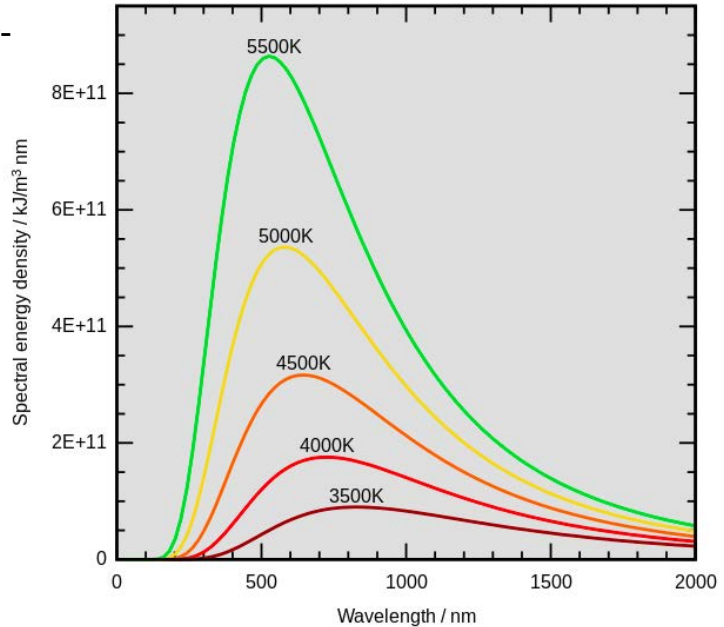
Betreuer: Prof. Dr. Wolf Aßmus

Ausbreitungsarten von Wärme (Wärmetransport)

Die Wärmestrahlung als dritte Variante der Wärmeausbreitung ist im Gegensatz zu Konvektion und Wärmeleitung nicht an Materie gebunden. Die Übertragung der Sonnenwärme auf die Erde ist ein Beispiel dafür, denn diese ist nicht durch Konvektion oder Wärmeleitung möglich, da das All frei von Materie ist. Der Energietransport erfolgt über Strahlung, das heißt über elektromagnetische Wellen.

Das Strahlungsspektrum des Schwarzen Körpers

Bei einem Schwarzen Körper ist das Verhältnis von Emission zu Absorption gleich Eins. Ein „kleines“ Loch in einem Hohlraum strahlt wie ein idealer Schwarzer Körper ab. Das Spektrum der Strahlung erhält man, indem man die Intensität der Strahlung über die Wellenlänge aufträgt. Misst man das Spektrum erkennt man (s. Abb.), dass bei sehr niedrigen bzw. sehr hohen Wellenlängen nur sehr wenig Leistung abgestrahlt wird. Dazwischen befindet sich ein Maximum. Zu jeder Temperatur gibt es eine Wellenlänge, bei der die Intensität maximal ist. Das Maximum verschiebt sich bei steigender Temperatur zu kleineren Wellenlängen (Wien'sches Verschiebungsgesetz).



Plancks Strahlungsgesetz

Max Planck entwickelte im Jahr 1900 eine theoretische Begründung für den Verlauf der Kurven dieses Spektrums. Dafür begab er sich auf den der klassischen Physik bisher völlig fremden Denkweg der Quantenhypothese: Nach ihr kann ein strahlendes System (Körper) nicht beliebige Energieportionen abgeben, sondern nur ganzzahlige Vielfache des Energiequantums $h\nu$. Dabei ist ν die Frequenz der Strahlung und h eine neue Naturkonstante, das Planck'sche Wirkungsquant ($h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$). Die elektromagnetische Strahlung kann also nur in bestimmten Energieportionen (Quanten) absorbiert und emittiert werden. Die Quantenhypothese liefert exakt die gemessene Energieverteilung der Strahlung eines Schwarzen Körpers. Zur Erklärung des Planck'schen Strahlungsgesetzes betrachtet man zunächst die verschiedenen Möglichkeiten des Energieaustausches zwischen Teilchen und Strahlung sowie deren Häufigkeit.

Für die Anzahl der Absorptionen/ $(m^3s) = B\rho(\nu, T)n_0$ sind die Strahlungsintensität und n_0 maßgeblich. Für die Anzahl der spontanen Emissionen/ $(m^3s) = An^*$ ist n^* maßgeblich und für die Anzahl der erzwungenen Emissionen/ $(m^3s) = B\rho(\nu, T)n^*$. Aus diesen Größen erhält man im Gleichgewicht das Planck-Gesetz

$$\rho(\nu, T)d\nu = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} d\nu \quad (50)$$

Es beschreibt genau den Verlauf der oben gezeigten Kurven. Vor dem Planck-Gesetz waren schon länger die Teilnäherungen in Form der Gesetze von Rayleigh-Jeans und Wien bekannt, die sich als Grenzfälle des Planck-Gesetzes ergeben.

Das Rayleigh-Jeans-Gesetz liefert brauchbare Werte bei sehr kleinen Frequenzen, also großen Wellenlängen – allerdings steigt in Wirklichkeit die abgestrahlte Energie nicht kontinuierlich mit der Frequenz, wie es dieses Gesetz beschreibt. Es liefert bei hohen Frequenzen viel zu hohe Werte, die Energiedichte würde für große Frequenzen unendlich werden (Ultraviolett-Katastrophe).

Das Wiensche Strahlungsgesetz hingegen beschreibt die Existenz eines Maximums und ist korrekt für die Wiedergabe der spektralen Energieverteilung für hohe Frequenzen, liefert im langwelligen Bereich aber zu niedrige Werte.

Lage des Emissionsmaximums; Wiensches Verschiebungsgesetz

Das Wien-Verschiebungsgesetz gibt an, bei welcher Frequenz ν_{max} ein Schwarzer Körper je nach seiner Temperatur die größte Strahlungsleistung abgibt. Je höher die Temperatur eines Körpers ist, bei desto kürzeren Wellenlängen liegt das Maximum der Verteilung. Das Planck-Gesetz führt auf das folgende Gesetz in der Frequenzdarstellung:

$$\nu_{max} = \frac{2,82k}{h} \cdot T = 5,88 \cdot 10^{10} T \frac{1}{sK} \quad (51)$$

(das Maximum der spektralen Energiedichte über ν aufgetragen weicht leicht vom Maximum der spektralen Energiedichte über λ ab – wegen der Umrechnung des Planck-Gesetzes mit $d\nu = \frac{c}{\lambda^2} d\lambda$.)

Temperatur an der Sonnenoberfläche:

Die Sonne emittiert maximal bei $3,4 \cdot 10^{14} Hz$. Da sie sich in guter Näherung wie ein Schwarzer Körper verhält, lässt sich mit dem Wien-Verschiebungsgesetz die Temperatur ihrer sichtbaren Oberfläche berechnen – sie liegt bei rund 5800K.

Gesamtemission des schwarzen Strahlers; Stefan-Boltzmann-Gesetz

Das Stefan-Boltzmann-Gesetz gibt die thermisch abgestrahlte Leistung eines idealen Schwarzen Körpers in Abhängigkeit von seiner Temperatur an. Die Gesamtenergiedichte in einem Hohlraum, der von Schwarzer Strahlung erfüllt ist, entspricht der über alle Frequenzen integrierten Fläche unter der Planck-Kurve. Sie ist bis auf den Faktor c identisch mit der spezifischen Abstrahlung des Schwarzen Körpers.

$$R = \frac{2\pi^5}{15} \cdot \frac{k^4}{c^2 h^3} \cdot T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} T^4 \frac{W}{m^2} \quad (52)$$

Der Vorfaktor wird als Stefan-Boltzmann-Konstante bezeichnet. Die Strahlungsleistung P eines Schwarzen Körpers der Fläche A und der (absoluten) Temperatur T, der diese aussendet, beträgt demnach:

$$P = \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad | \quad \text{mit } \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \quad (53)$$

Quellen

- Meschede, D.: *Gerthsen Physik*, 23. Auflage, Heidelberg, Springer Verlag, 2006
- Braune G: *Physik für Jederman*, München: Compact Verlag, 2010
- Kuhn W: *Physik Band I*, Braunschweig: Westermann Verlag, 1981

6 Informatikkurs

Das Innenleben eines Computerspiels

Spiele waren schon immer ein bedeutender Teil der Computer-Geschichte. Im Kern dienen sie dem reinen Vergnügen, doch sie haben gerade dadurch auch als Lernsoftware oder zum Training von Geschicklichkeit und Denken Eingang in unseren Alltag gefunden. Die Spieleindustrie ist zu einem der großen Träger von Forschung und Entwicklung auf Software- und Hardwareebene gewachsen. Es ist viel Zeit vergangen seit den ersten Versionen von Tetris, Pong oder Pacman – heute sehen wir nicht mehr die einzelnen bewegten Pixel, sondern für eine Person schier undurchdringliche Mammut-Projekte, welche uns die Möglichkeit bieten, ganz in andere Welten einzutauchen.

Wir haben uns damit beschäftigt, was hinter dieser bunten Verpackung steckt, und einen Eindruck von der Programmier-, Design- und Teamarbeit erhalten, die bis zur Vollendung eines solchen Produktes notwendig ist. Dazu haben wir uns mit einem eigenen praktischen Beispiel befasst, für welches nur grobe Rahmenlinien vorgegeben waren. Wir haben festgestellt, dass das Programmieren bei Weitem nicht die einzige Aufgabe ist: Es musste ein Spielkonzept gewählt werden, welches mit Level- bzw. Welt-Design und dem Art-Style Hand in Hand geht, einzelne Komponenten müssen aufeinander abgestimmt werden und last but not least beanspruchen auch Debugging und Politur viel Zeit.

Wir haben uns bereits im Vorfeld der Akademie getroffen und ein Spielkonzept ausgearbeitet sowie die dafür anfallenden Arbeiten modularisiert. Jeder Schüler hat dann während der Akademiezeit einen bestimmten Teil des Spiels bearbeitet und außerdem in einem kurzen Vortrag den anderen Teilnehmern die Theorie hinter seinen Aufgaben näher gebracht. Wir haben die Spiele-Engine *Unity* benutzt, um alle Module zusammenzuführen, und die verschiedenen Versionen mit *Git* sowie die Aufgaben mit *Trello* verwaltet.

Kursleitung

Dr. Daniel Schiffner, Forschungs- und Entwicklungskoordinator bei studiumdigitale, Wiss. Mitarbeiter in der Informatik an der Goethe-Universität Frankfurt am Main

Birthe Anne Wiegand, B.A. Mathematik, Goethe-Universität Frankfurt am Main

6.1 Storytelling

Alexandra Janzer
Betreuer: Mischa Holz

Storytelling ist die Kunst des Darstellens von fiktiven und realen Events mithilfe von Worten, Bildern und Geräuschen [1]. Dafür standen im Laufe seiner Entwicklung nach und nach immer mehr Medien zur Verfügung: Von rein mündlicher Überlieferung über das Festhalten in Bild und Schrift ist es heute in Computerspielen ganz neu erfahrbar. Dabei war die *Super Mario Bros.*-Reihe der erste große Meilenstein von Storytelling in Computerspielen, da sie im Gegensatz zu anderen Videospiele der Zeit überhaupt eine Geschichte beinhaltete – auch, wenn diese ausgesprochen simpel ist: Ein Klempner will eine Prinzessin retten. Einen weiteren Meilenstein setzte *Half Life*, welches vor allem das *First Person Shooter*-Genre revolutionierte. In diesem Spiel wird man nicht sofort in die Shooter-Action geworfen, sondern erst einmal mit einem normalen Arbeitsalltag konfrontiert. Der Protagonist ist stumm und

Umwelt und Aktionen dienen als erzählerische Elemente genauso wie sonst der Dialog. Es wurde zum ersten Mal die Geschichte des Spiels mit Audio und Interaktion verbunden und dem Spieler multimedial vermittelt [2].

Nun kann man sich die Frage stellen, ob mit dieser enormen Entwicklung Videospiele vielleicht das perfekte Medium für Storytelling sind. Man kann argumentieren, dass man in Videospiele im Gegensatz zu Büchern und TV-Shows aktiv am Geschehen teilnimmt und den Protagonisten steuern kann, was die Immersion und emotionale Bindung zwischen Spieler und Spiel verstärkt [3]. Bücher hingegen lassen dem Leser viel Raum für Fantasie und Details, und TV-Shows nehmen lange Storylines geübt Stück für Stück auseinander [4]. Nach gründlichen Recherchen und ausgiebigen Diskussionen im Kurs sind wir so zu dem Schluss gekommen, dass es darauf weder eine klare noch richtige Antwort gibt, sondern jedes Medium seine eigenen Vor- und Nachteile mit sich bringt und Geschichten vor allem auf eine *andere* Art erzählt.

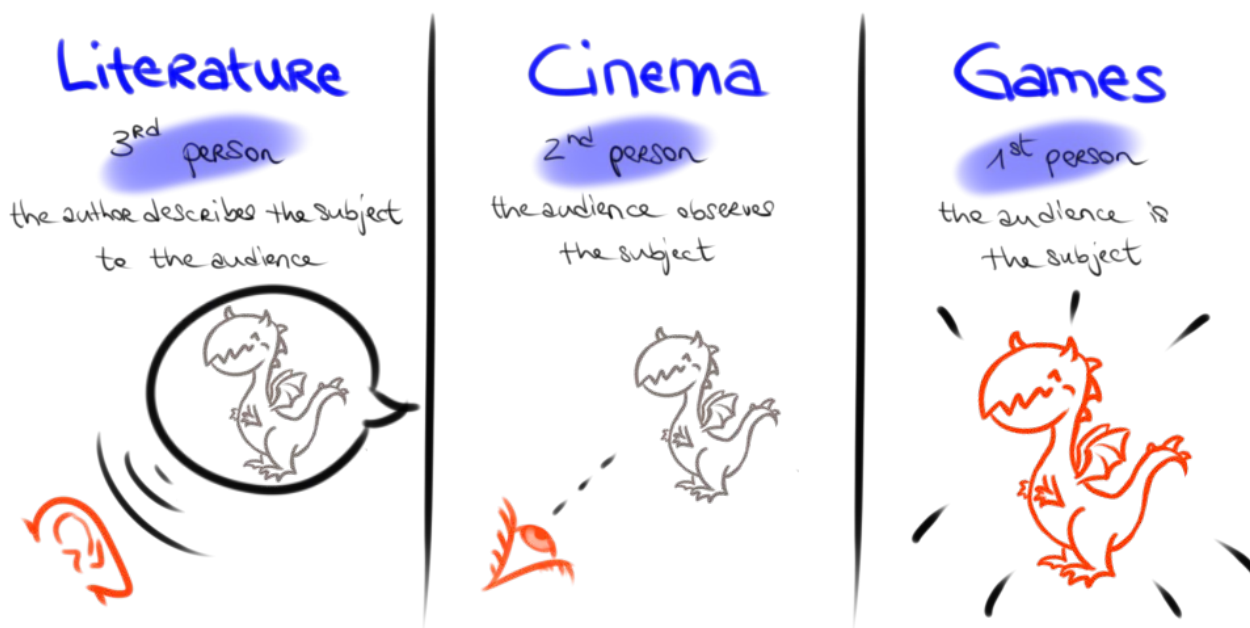


Abbildung 1: Unterschiede zwischen verschiedenen Medien für Storytelling. Eigene Grafik nach [5]

Sogenannte interaktive Stories unterscheiden sich insofern von gewöhnlichen, als dass man eigene Entscheidungen treffen und damit die Storyline bis zu einem gewissen Maße beeinflussen kann. Designtechnisch wäre es ein viel zu großer Aufwand, tatsächlich ein vollständig nicht-lineares Spiel zu entwickeln, dessen Geschichte sich vollends an alle Entscheidungen des Spielers anpasst. Durch die geschickte Platzierung von Entscheidungen und das Auseinander- und Zusammenführen von verschiedenen vordefinierten Handlungssträngen ist es jedoch möglich, die Illusion zu erschaffen, dass der Spieler einen echten Einfluss auf den Verlauf der Geschichte nimmt. Meiner Meinung nach ist diese Illusion genug, um die emotionale Bindung zu den Charakteren und der Welt zu stärken, da sie einem im besten Falle real – also ganz von den eigenen Handlungen bestimmt – vorkommt [3].

Einigen Menschen gefällt die Freiheit, eigene Entscheidungen zu treffen, so gut, dass sie es bevorzugen, ein Spiel ohne einen festgelegten Story-Schwerpunkt zu spielen. Gute Beispiele dafür sind *Minecraft*, *Grand Theft Auto* und das neue *The Legend of Zelda: The Breath Of The Wild* [6]. Diese sogenannten *Open World*-Spiele haben meist nur eine untergeordnete oder sogar überhaupt nicht fest definierte Sto-

ry, sondern erlauben es dem Spieler, sich frei in der Spielwelt zu bewegen und eine eigene Geschichte zu erleben. Somit kann er selbst entscheiden, was genau die Motivation und das Ziel des Spiels ausmachen.

Aufgaben während der Akademiezeit

Ich war im Informatikkurs für das Storytelling zuständig. Während der Akademie war meine Hauptaufgabe, die Story für unser Spiel zu entwickeln. Somit kreierte ich die Hintergrundstories der Charaktere, die im Spiel vorkommen; ich entschied, wie und wo die Story im Spiel durch Textboxen oder Sprechblasen erzählt werden sollte und korrespondierte mit den anderen Schülern, damit sie mir helfen konnten, die Story im Spiel umzusetzen – zum Beispiel teilte ich dem Art-Team mit, wie die Charaktere aussehen sollten, um ihre Geschichte auch durch ihr Aussehen zu spiegeln.

Obwohl die restliche Spielentwicklung sich normalerweise an die Story anpasst, musste die Story sich diesmal an manchen Stellen aus Zeitgründen der Technik unterordnen. Zum Beispiel konnte die Idee von zwei Enden, also einer interaktiven Entscheidung, leider zeitlich nicht mehr realisiert werden, weswegen unser Spiel „nur“ ein Ende hat.

Die Story wurde hauptsächlich in Google Docs entwickelt. Unity, den eigentlichen Bereich zum Programmieren, benutzte ich persönlich eher weniger – ich fügte damit lediglich den Text an den entsprechenden Stellen mithilfe von Textboxen ein. Meine Zusammenarbeit mit den anderen Schülern stellte allerdings sicher, dass diese Textabschnitte sich organisch in das Gesamtwerk einfügten und die Story durch mehr als nur Text vermittelt wurde.

Quellen

- 1 <https://en.wikipedia.org/wiki/Storytelling> (23.08.2016)
- 2 <https://thesixthstation.wordpress.com/2014/06/12/essential-moments-in-video-game-storytelling-half-life/> (23.08.2016)
- 3 <http://www.techtimes.com/articles/84016/20150914/how-video-games-have-become-the-perfect-storytelling-medium.htm> (23.08.2016)
- 4 <https://www.quora.com/Which-is-the-best-medium-to-convey-a-story-a-book-a-game-an-animation-a-movie-a-TV-show-a-comic-Theatre-etc> (23.08.2016)
- 5 <http://hitboxteam.com/designing-game-narrative> (23.08.2016)
- 6 http://www.nintendolife.com/news/2016/06/nintendo_outlines_a_fresh_approach_to_storytelling_in_the_legend_of_zelda_breath_of_the_wild (23.08.2016)

6.2 Worldbuilding

Hannah Kraus
Betreuer: Benedikt Ebert

Faszination Videospiele: Ein Medium, das seine Fans stunden- und tagelang fesselt, weltweite Turniere wie *The International* mit 18 Millionen Dollar Preisgeld ausruft und seine Sieger als Helden feiern lässt [1]. Doch wie entsteht diese Faszination? In wirtschaftlichen Zahlen gesprochen stieg der Umsatz weltweit von 23,3 Milliarden Dollar im Jahr 2003 auf 86,4 Milliarden Dollar im Jahr 2014. Damit wird diese Branche in Deutschland zu einem bedeutenderen Wirtschaftsfaktor als die Bundesliga [2].

Ich habe bei meiner Vorbereitung einen entscheidenden Faktor der „Faszination Videospiele“ genauer untersucht: das Worldbuilding. Wie lässt sich dieser Begriff definieren? Wie trägt er zu der Begeisterung, die ein Videospiele auslösen kann, bei?

Eine naheliegende Antwort wäre das reine Designen der „Welt“ – Städte, Wälder, Gewässer, Gebirge und so weiter. Mit *Worldbuilding* ist allerdings viel mehr als nur das gemeint: Es umfasst alles, was eine Welt wirklich ins Leben ruft und ihr einen eigenen Charakter gibt. Das umfasst natürlich auch die Szenerie, doch schon für eine konsistente Kultur sind viele verschiedene Aspekte abzudecken, was Abb. 1 verdeutlicht. Alle tragen dazu bei, welchen Eindruck eine Welt beim Spieler vermittelt und auf welche Art und Weise er sie wahrnimmt.

Das Spielgenre bestimmt die Art und Weise, wie Worldbuilding eingesetzt werden kann. Hat das Spiel eine konkrete Story, die der Spieler durchläuft, ist es die Aufgabe der Welt, den Plot bestmöglichst zu unterstützen. Wie bei zwei Puzzleteilen werden Plot und Welt aneinander angepasst, um ein gutes Gesamtbild zu ergeben. Eine verwinkelte Stadt eignet sich zum Beispiel besser für eine Verfolgungsjagd als flaches Land, die Story sollte also dorthin führen, falls eine solche erlebt werden soll. Handelt es sich hingegen um ein *Open-World-Game*, bei welchem der Spieler einen größeren Einfluss auf die Story hat bzw. diese überhaupt nicht oder nur in Teilen spielen muss, ändert sich die Art und Weise, wie das Worldbuilding umgesetzt wird. Bei diesen Spielen muss die Welt nicht nur einen primären Handlungsstrang unterstützen, sondern in der Lage sein, eine Vielzahl von Geschichten zu erzählen.

Bei einem linearen Spielerlebnis wird die Welt meistens zu einem gewissen Grad dem Handlungsstrang angepasst. Selbst wenn an einigen Stellen „Lücken“ in der zugrundeliegenden Welt-Logik entstehen, wird diese der Spieler in einem solchen Spiel nicht zu sehen bekommen, sofern die Story ihn nicht explizit dort vorbeiführt. Kann der Spieler allerdings nach Belieben erforschen, muss die Welt dies ermöglichen, ohne in sich zusammenzufallen. Darum wird in solchen Fällen meistens erst die Welt mit ihren Naturgesetzen, Einwohnern, Religionen und vielem mehr entwickelt, danach werden die Geschichten des Spiels eingefügt.

Aufgaben während der Akademiezeit

„A masterpiece of worldbuilding“ nennt die Internetseite eurogamer.net das Rollenspiel *Witcher 3* – ein Spiel, das in seiner Entwicklung 73 Millionen Euro gekostet hat und in einem Zeitraum von dreieinhalb Jahren mit einem Kernteam von 240 Leuten entwickelt wurde. Insgesamt beschäftigte das Projekt rund 1500 Mitarbeiter [3]. In starkem Kontrast dazu stand unsere knappe Entwicklungszeit von zwei Wochen mit vier Stunden Kurszeit täglich und einem Team aus zehn Schülern und sieben Betreuern. Daher hatte ich nicht die Möglichkeit, eine so vielschichtige Welt zu entwickeln wie in sogenannten *Triple-A-Games* wie *Witcher 3*.

Maßgebend für meine Aufgaben auf der Akademie war daher der Anspruch, trotz der eingeschränkten Möglichkeiten eine konsistente Welt zu erschaffen. Ich arbeitete dabei vor allem mit den Verantwortlichen für Storytelling, Art und Leveldesign zusammen. Wichtig war für mich vor allem der ganzheitliche Eindruck aller beteiligten Komponenten, also die Konsistenz von Text, Grafik, Musik und Gameplay. Um die Story einzubinden, entschieden wir uns dafür, die Geschichte mit Hilfe von Objekten zu erzählen, welche bei Berührung Storytexte in Form von Textboxen am Spielfeldrand aufrufen. Die wichtigsten

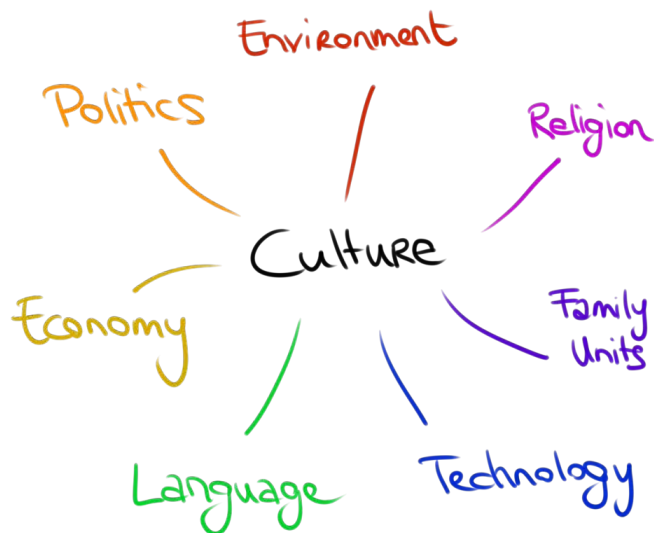


Abbildung 1: Beispiele für Bausteine einer Kultur. Eigene Grafik

von diesen sind an Orten positioniert, welche der Spieler zwangsläufig passieren muss – andere sind als sogenannte *Easter Eggs* in Sackgassen oder an schwer erreichbaren Orten versteckt.

Obwohl unser zweiwöchiges Projekt nur einen kleinen Einblick in die Welt der Spieleentwicklung lieferte, konnten wir einen guten Vorgeschmack auf die Probleme und Herausforderungen erhalten, die in der Spieleindustrie jeden Tag zu bewältigen sind. Das Spiel befindet sich zum Beispiel dauerhaft in einem Status der Veränderung, es kommen Abschnitte hinzu, andere Funktionen werden verworfen und so muss auch die Welt immer wieder angepasst werden. Wichtig ist hier das gründliche und möglichst unvoreingenommene Testen, um herauszufinden, ob sich Elemente für den Spieler unpassend anfühlen oder gar ganz die Immersion zerstören – diese müssen dann dringend angepasst werden.

Digitale Welten lassen uns oft unsere eigene vergessen und völlig in das erschaffene Universum eintauchen, und das Worldbuilding ist dafür wesentlich verantwortlich – und somit auch für den Erfolg eines Spiels.

Quellen

- 1 <http://www.dota2.com/international/overview/> (23.08.2016)
- 2 <http://www.sueddeutsche.de/digital/gamescom-spielen-ohne-rot-zu-werden-1.2590395> (23.08.2016)
- 3 <http://www.next-gamer.de/the-witcher-3-das-hat-die-entwicklung-gekostet/> (23.08.2016)

6.3 Artstyle

Bela Bolender
Betreuer: Hannes Güdelhöfer

Der Artstyle eines Computerspiels beschreibt seine charakteristische visuelle Erscheinungsform. Er kann Inhalte und Stimmungen intuitiv vermitteln und spielt eine wesentliche Rolle beim Eindruck des Spieles auf den Spieler.



Abbildung 1: Drei Segelboote – ganz verschieden. Quelle: [1]

Ähnlich kunstgeschichtlichen Epochen kann man Artstyles von Spielen in verschiedene Phasen kategorisieren. Ganz wie in der Kunstgeschichte sind die Übergänge zwischen den einzelnen Stilformen dabei nicht klar definiert, wenn auch zu überblicken, da sich die Geschichte der Kunst in Videospiele nur über wenige Jahrzehnte erstreckt. Es finden sich sogar konkrete Überschneidungen: Realismus [2] – eine möglichst realistische und objektive Darstellung der Wirklichkeit – entstand in der Kunst im 19. Jahrhundert und findet nun seit einigen Jahren Einzug in die Computerspielbranche (vgl. Abb. 2).



Abbildung 2: Realismus in der Kunst und in Computerspielen. Quelle: [3]

Die Grafik hat einen wesentlichen Einfluss auf den Eindruck, den das Spiel vermittelt. Während alle anderen Aspekte des Spiels dem Benutzer nur auffallen können, während er das Spiel bereits spielt, erkennt man den Artstyle eines Spiels auf den ersten Blick, sogar bereits in der Werbung oder auf der Verpackung. Besonders der erste Eindruck wird also durch den Artstyle geprägt. Er definiert jedoch nicht nur das Aussehen eines Spiels, sondern beeinflusst auch stark die erforderliche Rechenleistung und damit die Anforderungen, die das Spiel an das System stellt. So musste man in früheren Spielen wie zum Beispiel *Pac-Man* (vgl. Abb. 3) einfachere Stile verwenden, weswegen sich das Gesamtdesign auf wenige Bilder beschränkte.

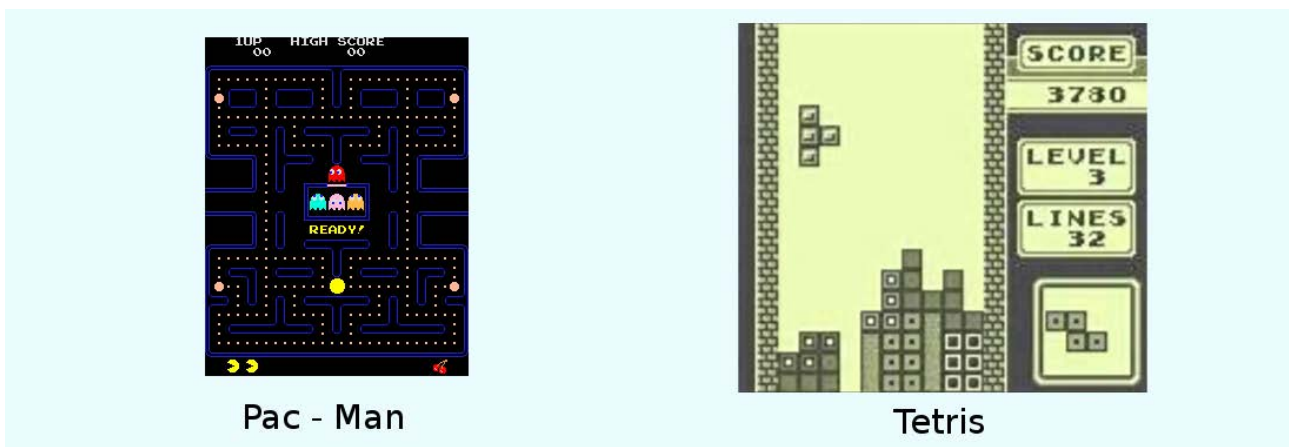


Abbildung 3: Frühe Spiele – Design durch Technik beschränkt. Quellen: [4], [5]

Obwohl den heutigen Spieleentwicklern fast keine Grenzen mehr gesetzt sind, entscheiden sich einige Entwickler noch immer für einfache bzw. ältere Stile. Ein heute bekanntes Beispiel für einen sehr schlichten graphischen Stil ist *Minecraft* (vgl. Abb. 4).



Abbildung 4: Minimalistischer Stil trotz zurückgehender technischer Beschränkungen. Quelle: [6]

Hierbei wird auf die intensive Grafik verzichtet, um dem Spieler mehr oder weniger realistische physikalische Interaktionen mit der Umgebung zu gewährleisten. Im Endeffekt geht es natürlich darum, ein gutes Zusammenspiel mit den anderen Aspekten eines Spiels, zum Beispiel der *User Experience*, zu gewährleisten. Liefert das Spiel ein gutes Gesamtpaket, kann der Spieler sich deutlich besser im Spiel wiederfinden. Besonders die Identifikation des Spielers mit dem Charakter baut auf dem Aussehen: So hat man sich bereits in den Anfängen der *Mario* Reihe viele Gedanken über das Aussehen der Leitfigur gemacht, damit sich jeder mit dem kleinen, dicklichen, netten und dynamischen Italiener identifizieren kann.

Aufgaben während der Akademiezeit

Als Artstyle-Verantwortlicher eines 2D-Videospiels hatte ich in den zwölf Tagen der Akademie die Aufgabe, die Spielgrafiken zu designen und über ein Drawpad zu digitalisieren. Meine erste Aufgabe war es, einen Artstyle zu finden, der sich für unseren Inhalt eignet. Um einen Überblick über die technischen Rahmenbedingungen zu erhalten, habe ich außerdem die genauen Anforderungen für die Grafiken mit den anderen Teilnehmern besprochen. Um den Charakter zum Beispiel im späteren Verlauf zu animieren, habe ich ihn in seine Bestandteile wie Beine, Arme und Körper unterteilt.

Ich habe mich jedoch nicht nur auf meinem Themengebiet weiterentwickelt, sondern auch viel Erfahrung beim Arbeiten im Team gesammelt. Jedes auftretende Problem musste durch die Gruppe gelöst werden, dabei hat jedes Modul einen unverzichtbaren Teil zur Lösung und somit auch zum Spiel beigetragen. Daher war das Projektmanagement, was von der Projektleitung im Vorfeld geplant wurde, sehr wichtig und lehrreich, was wir schnell gemerkt haben, wenn wir uns einmal nicht abgesprochen haben – dann mussten Assets angepasst und doppelt bearbeitet werden. Als ich die Entwicklung des Spiels durch ein sehr begeistertes Team verfolgen konnte, war ich direkt motiviert, in weiteren Projekten mitzuwirken.

Quellen

- 1 <http://ejsartblog.com/easiest-explanation-of-game-art-style-ever/> (23.08.2016)
- 2 <http://www.unilad.co.uk/video/photorealism-finally-achieved-in-gaming-with-the-unreal-4-engine/> (23.08.2016)
- 3 <http://www.carmen-kroese.ch/Kerstin-Birk/Galerie> (23.08.2016)
- 4 <https://en.wikipedia.org/wiki/Pac-Man> (23.08.2016)
- 5 <http://dotageeks.com/original-tetris/> (23.08.2016)
- 6 <https://gamerjaskyla.wordpress.com/2012/01/31/minecraft/> (23.08.2016)

6.4 Animation

Lucas Aschenbach
Betreuer: Hannes Güdelhöfer

Animationen (lat. animare: beleben, beseelen, etwas beleben) sind im Allgemeinen definiert als eine Aneinanderreihung von Bildern, welche die Illusion einer Bewegung erzeugt. Eine der ersten Formen war das 1868 erfundene Daumenkino. Heute finden sich Animationen in fast allen Computerspielen, wo sie den Entwicklern eine riesige Bandbreite an Möglichkeiten geben, ihre Visionen effektiver umzusetzen und den Spieler in eine völlig neue Welt eintauchen zu lassen.

Zur Anwendung kommen Animationen zum einen im *Graphical User Interface* (GUI), wo sie Platz einsparen können und eine intuitivere Strukturierung ermöglichen, sodass Inhalte für den Nutzer deutlich verständlicher gemacht werden. Ganz wesentlich profitieren auch Gamemechanics und Gameplay: Animationen machen das Spielgeschehen nicht nur nachvollziehbarer, sondern auch auf ästhetischer Ebene wesentlich ansprechender, etwa durch eine besonders aufwändige Bewegung beim Ausführen einer Spezialattacke. Abgesehen davon können dem Spieler durch Animationen Informationen sehr effizient und subtil vermittelt werden – ein Humpeln steht für einen verlangsamenden Effekt, rotes flackerndes Feuer auf dem Boden ist definitiv gefährlich und ein weit ausholender Knüppel wird bald Schaden zufügen. Dies spart unnötige Symbole oder Texterklärungen ein [1].

Andererseits funktionieren Animationen auch als eine Art Motivator, indem der Spieler zum Beispiel nach einer erfolgreichen Mission mit einer ansprechenden Animation belohnt wird. Über diese Art der Animation kann der Spieler auch emotional stark beeinflusst werden und so etwa durch viel Input (viele Animationen auf einmal) in Stress versetzt werden, was für den weiteren Spielverlauf als zusätzlicher Faktor im Gameplay zählen kann.

Vom Daumenkino bis zu lebensechten Animationen war es allerdings ein weiter Weg. Als im Jahr 1980 die ersten grafisch anspruchsvolleren Computerspiele auf den Markt kamen (Beispiele: *Donkey Kong* 1981, *The Legend of Zelda* 1986), verfügten diese meist nur über Lauf- und Angriffsanimationen. Wenige Jahre später, als das erste 3D-Spiel auf den Markt kam, revolutionierte dies die gesamte Branche: In der Animation konnte man Objekte nun nicht mehr nur auf der X- und Y-Achse bewegen, sondern es kam durch die Tiefe eine dritte Achse hinzu. Das sorgte zwar dafür, dass der Animationsprozess wesentlich komplexer wurde, ließ jedoch dafür die fertigen Animationen deutlich realistischer aussehen. Zudem kamen zahlreiche unterschiedliche Animationen hinzu, wie zum Beispiel eine Renn- oder Sprunganimation. Spielekonsolen wie die Playstation und die Xbox ermöglichten es, die Anzahl und Qualität von Animationen erneut drastisch anzuheben. Ein Beispiel für ein revolutionäres Spiel aus dieser Zeit ist eines der ersten Open-World-Spiele: *Grand Theft Auto III*, welches dem Nutzer ein für diese Zeit sehr umfassendes Repertoire von Spielzügen bot und somit auch animationstechnisch wesentlich fortschrittlicher sein musste. Ebenfalls in dieser Zeit etablierte sich das *Motion Capturing*. Diese

Methode zeichnet die Bewegungen eines Menschen mithilfe einer Kamera auf, übertägt sie auf einen 3D-Charakter und speichert sie dann als Animation. Neben einer wesentlich lebensechteren Animation bringt dieses Verfahren auch viel Zeitersparnis mit sich, was Produktionskosten senkt. Des Weiteren hat die Entwicklung der Hardware in den letzten Jahren große Sprünge gemacht, was so komplexe Animationen, wie wir sie heute kennen, technisch überhaupt erst möglich macht [2].

Auch in der Filmindustrie spielen Animationen eine entscheidende Rolle. Angefangen mit der Kameraführung und den Blickwinkeln gibt es allerdings schon die ersten großen Unterschiede: Während für den Gamedeveloper die Kameraführung selbst selten im Fokus steht, hat er die Schwierigkeit, eine Szene so zu gestalten und animieren zu müssen, dass sie aus jedem möglichen Blickwinkel gut aussieht – in der Filmanimation ist es genau umgekehrt. Zudem ist man im Film im Hinblick auf Details und Komplexität deutlich freier, da die Animationen nicht live erzeugt werden müssen. Obwohl Film und Spiel also ähnliche oder sogar gleiche Verfahren benutzen, sind Animationen in Spielen durch die technischen Umstände deutlich stärker eingeschränkt [3].

Aufgaben während der Akademiezeit

Mit dem Problem der technischen Einschränkungen wurde ich während meines Burgaufenthaltes direkt konfrontiert: Aufgrund von Performanceproblemen war ich gezwungen, sämtliche Animationen in einer wesentlich geringeren Qualität anzufertigen, als ich das vom Animieren kürzerer Videosequenzen gewohnt war. Durch die enge Zusammenarbeit mit anderen Zuständigkeitsbereichen – in meinem Fall Artstyles und Gamelogik – war eine gründliche Absprache und Abstimmung mit diesen nötig, um die nur begrenzt zur Verfügung stehende Leistung möglichst optimal zu nutzen. Den Hauptteil meiner Zeit widmete ich der Animation der Hauptcharaktere, welche beispielsweise eine Lauf- und Sprunganimation benötigten. Andere Objekte, die eine Animation benötigten, waren zum Beispiel ein Blättereffekt über den gesamten Bildschirm für unsere Katzenminzenfallen und unsere wichtigsten Gegner.



Abbildung 1: Die Animation unseres Hauptcharakters. Eigener Screenshot

Quellen

- 1 <http://www.heiolenmarkus.com/fin/blogi/the-effect-of-animation-on-game-usability> (23.08.2016)
- 2 <http://blog.digitaltutors.com/80s-now-evolution-animation-video-games/> (23.08.2016)
- 3 <http://blog.digitaltutors.com/how-animation-for-games-is-different-from-animation-for-movies/> (23.08.2016)
- 4 <https://de.wikipedia.org/wiki/Spielmechanik/> (23.08.2016)

6.5 Leveldesign

Paul Taverne

Betreuer: Benedikt Ebert

Was unterscheidet eigentlich einen Ego-Shooter von einem Jump-and-Run-Spiel, wenn in beiden die Charaktere Katzen sind? Diese Katzen könnten sogar noch gleich aussehen, und doch würde sicherlich niemand bestreiten, dass beide Spiele ganz unterschiedliche Spielerlebnisse liefern werden. Ein wesentlicher Unterschied ist das *Leveldesign* – also die Art und Anordnung der Herausforderungen, vor die ein Spieler gestellt wird. Es beginnt bei offensichtlichen Elementen wie dem Aufstellen von Hindernissen oder dem Definieren von Gegnern, umfasst aber auch abstrakte Konzepte wie den Spannungsverlauf oder das Entgegensetzen von Zielen.

Spannungsverlauf

Spannung ist einer der wesentlichen Motivatoren in fast jeder Art von Unterhaltungsmedium, und ganz gewiss auch in Computerspielen. Ein guter Spannungsbogen gehorcht überall den gleichen Prinzipien: Er sollte sich insgesamt langsam aufbauen, dabei aber viele kleine Höhepunkte haben und nach diesen wieder abfallen. Abb. 1 verdeutlicht dies in einem sogenannten *Pacing Graphen*. Die Idee dahinter ist, den Spieler immer wieder mit spannenden Szenen zu konfrontieren – seien es besondere Hindernisse oder Ereignisse in der Geschichte –, ihm danach aber auch Zeit zu geben, das Erlebte zu verarbeiten. Wird dem Spieler diese Zeit vorenthalten, gewöhnt er sich an ein (theoretisch) hohes Spannungslevel und verliert das Interesse. Es führt auch dazu, dass sich der Spieler kaum an das Erlebte erinnern kann, da vor allem Höhepunkte gut im Gedächtnis bleiben.



Abbildung 1: Der Pacing Graph, welcher einen guten Spannungsverlauf gegen die Zeit demonstriert.

Das Entgegensetzen von Zielen

Jeder einzelne Augenblick in einem Spiel stellt eine Entscheidung dar. Springe ich oder laufe ich? Laufe ich nach links oder nach rechts? Was habe ich davon, nach links oder rechts zu laufen? Eine wesentliche Aufgabe des Leveldesigns ist es, letztere Frage zu beantworten und diesen Entscheidungen damit eine Bedeutung zu geben. Dies kann zum Beispiel realisiert werden, indem dem Spieler mehrere entgegengesetzte Ziele angeboten werden. Ein Ziel kann sein, das Level möglichst schnell abzuschließen

– ein anderes das Finden von versteckten Objekten. Der Spieler muss sich also entscheiden, welchem er nachgehen will und welches er vielleicht lieber zu einem späteren Zeitpunkt oder sogar überhaupt nicht verfolgen will. Dies ermöglicht also eine starke Individualisierung des Spielerlebnisses und erhöht gleichzeitig den Wiederspielwert.

Herausforderungen

Schwer zu bewältigende Abschnitte in Spielen sind wichtig, da sie dem Spieler die Möglichkeit geben, über sich selbst hinaus zu wachsen. Dabei ist allerdings wichtig, dass diese Schwierigkeit nach festen Regeln verläuft, da sich beim Spielen sonst schnell ein Gefühl von „Unfairness“ einschleichen kann. Ein (allerdings gewolltes) Negativbeispiel dafür ist das Spiel *Unfair Mario* (vgl. Abb. 2) – hier verliert man gelegentlich ohne Vorwarnung den Boden unter den Füßen, Stacheln schießen hervor oder die Lebenspunkte von Gegnern vervielfachen sich. Da all dies zufällig geschieht, hat das Spiel weniger mit Geschicklichkeit und mehr mit Glück zu tun, was sich beim Spieler eher als Frustration denn als angenehme Herausforderung manifestieren kann. Ziel beim Designen eines Levels sollte es also nicht sein, den Spieler zu „besiegen“, sondern ihn zu ermutigen, das Level zu bewältigen.



Abbildung 2: Beispiel für ein unvorhersehbares Level: Der Boden unter Mario fällt nach unten, sobald man ihn betritt.
Quelle: [2]

Aufgaben während der Akademiezeit

Bereits vor der Akademiezeit haben wir uns in Vortreffen auf das Genre unseres Spiels geeinigt: ein Jump-and-Run-Spiel mit sowohl Knobel- als auch Actionaspekten. Zuerst habe ich mich dafür mit den Verantwortlichen für User Experience und Worldbuilding auf die Umsetzung des Gesamtkonzepts und des Tutorials geeinigt. Begonnen habe ich dann auch direkt mit der Gestaltung der Tutorial-Level. Für diese Arbeit habe im Gegensatz zu den anderen im Kurs nicht am Computer gearbeitet, sondern mit Stift und Papier, womit ich die ersten Entwürfe skizzierte. Vor der Akademie hatte ich befürchtet, dass meine Levelentwürfe sich als zu einfach zu bewältigen herausstellen würden und ich keine guten Ideen für angemessene Herausforderungen haben würde, doch diese Sorge erwies sich als unbegründet. Zusammen mit den anderen Kursteilnehmern entwarf ich neue Features für unser Spiel, zum Beispiel Bonuslevel oder zerstörbare Wände. Diese mussten dann sowohl mit den Programmierern als auch dem Art- und Audio-Team koordiniert werden, um schließlich im Spiel umgesetzt zu werden. Natürlich hatten wir viel mehr Ideen als Zeit, aber wir konnten viele verschiedene Visionen verwirklichen.

Danach begann ich, meine Skizzen in Unity umzusetzen. Dabei traten trotz vorheriger Absprachen noch jede Menge Probleme auf, sei es innerhalb von Programmen oder an den Schnittstellen – um diese zu finden, wurden die Level sowohl von Kursteilnehmern als auch von anderen Akademieteilnehmern immer und immer wieder getestet.

Insgesamt habe ich viel über den Aufbau von Computerspielen und das modularisierte Arbeiten in Gruppen gelernt. Selbst bei einer vorherigen eindeutigen Aufteilung waren doch alle Bereiche eng verknüpft und jeder war auf jeden angewiesen.

Quellen

- 1 <https://www.youtube.com/user/ExtraCreditz> (08.08.2016)
- 2 <http://playunfairmario.net/> (23.08.2016)

6.6 Spiellogik I – Engines

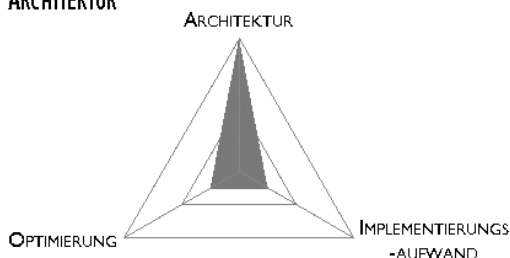
Fabrice von der Lehr
 Betreuer: Hilmar Wiegand

Bei jedem Programmier-Projekt entsteht unabhängig von Art, Komplexität und Umfang immer das Problem des *Zeitmanagements*. Seine Lösung erfordert die Setzung von Prioritäten und die damit verbundene Fokussierung auf bestimmte Teilbereiche. *Zeitmanagement* bezieht sich dabei in diesem Kontext nicht nur auf den zu leistenden Programmieraufwand seitens des/der Entwickler(s), sondern auch auf die Kontrolle zeitkritischer Prozeduren zur Laufzeit des Programms selbst:

- Durch eine gute Architektur im Quellcode wird eine hohe langfristige Entwicklungsgeschwindigkeit erreicht, da der Code über den Zeitraum seiner Entwicklung und Wartung hinweg leichter nachvollziehbar bleibt und etwaige Fehler schneller behoben werden können.
- Durch Optimierungen im Quellcode wird eine hohe Ausführungsgeschwindigkeit erreicht, da Befehle schneller vom Prozessor ausgeführt werden können und sich so die Performance zur Laufzeit erhöht.
- Durch einen niedrigen Implementierungsaufwand wird eine hohe kurzfristige Entwicklungsgeschwindigkeit erreicht, da neue Funktionen einfacher in den Code eingebaut werden können und so schneller einsatzbereit sind.

Alle drei Aspekte sind grundsätzlich erstrebenswert, doch sie kollidieren bei begrenzt vorhandener Zeit. Erfolgreiche Programmierung setzt voraus, dass diese drei Felder abhängig von den Rahmenbedingungen des jeweiligen Projekts sinnvoll gegeneinander abgewogen werden [1, eigene Grafiken].

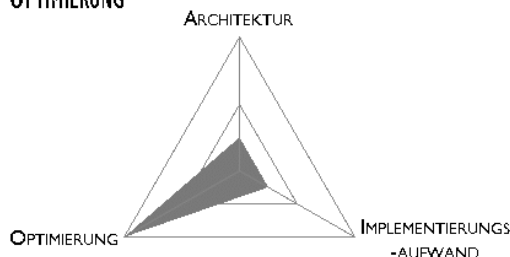
PRIORITÄT: ARCHITEKTUR

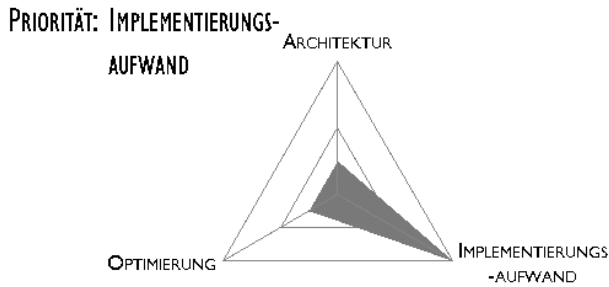


Viel Overhead durch Vereinheitlichung, feste Struktur in der Architektur
 ⇒ Nicht Performance-orientiert, erhöhter Aufwand bei der Implementierung neuer Funktionen

Programmieren einiger Komponenten in Hardware-näheren Sprachen
 ⇒ Kohärente Architektur kaum möglich, erhöhter Aufwand bei der Implementierung neuer Funktionen

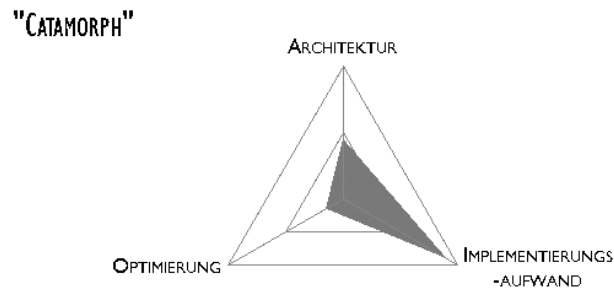
PRIORITÄT: OPTIMIERUNG





Im Extremfall viele „dirty hacks“
(kurzzeitig effektive, aber ineffiziente
Problemlösungen)
⇒ Aufwändigere Wartung, nicht
Performance-orientiert

Während der Akademie stand uns ein Entwicklungszeitraum von zwei Wochen zur Verfügung – eine sehr knapp bemessene Zeitspanne. Da ein 2D-Platformer eher geringe Anforderungen an die Hardware stellt, konnten wir auf manuelle Optimierungen verzichten. Die von uns genutzte Spielengine Unity stellt die Grundlagen einer Architektur schon bereit, sodass wir hier externe architektonische Vorgaben hatten, aber auch sehr viel Arbeit einsparen konnten. Insgesamt haben wir also einen starken Fokus auf die Geschwindigkeit bei der Implementierung neuer Funktionen gesetzt.



Spiel-Engines

Um eine Engine wie Unity effizient zu verwenden, sollte man ihren Aufbau und dessen Funktion verstehen. Allen modernen Spiele-Engines ist die Aufteilung in voneinander getrennte Logikbereiche gemein, Beispiele dafür sind die Eingabeverwaltung (Input), die Physikberechnung (Physics), die künstliche Intelligenz (KI) und die Grafik- und Soundausgabe (Rendering, Audio). Diese Module werden dem Programmierer nach dem Baukasten-Prinzip zur Verfügung gestellt [2]. Hauptsächlich dient die Engine dabei der Reduzierung des Entwicklungsaufwands: Das Grundgerüst, welches ohnehin bei vielen Spielen übereinstimmt, ist schon vorhanden, lediglich die spielspezifischen Teile müssen noch programmiert werden.

Darüber hinaus wird durch die Modularität die Aufgabenverteilung an verschiedene Personen(-gruppen) vereinfacht. Auch die Koordination dieser Personen oder Gruppen fällt wesentlich leichter.

Zuletzt ist die Nutzung einer Spielengine auch schlicht und einfach eine Sache des Komforts: Die meisten Menschen würden schließlich auch dem Arbeiten an einem aufgeräumten Schreibtisch mit sortierten, voneinander getrennten Schubladen und erprobten Werkzeugen den Vorzug gegenüber dem Herumhantieren mit Bleistift und Papier am Fußboden geben, um ein komplexes Bau- oder Bastelprojekt anzugehen.

Aufgaben während der Akademiezeit

Mein Tätigkeitsbereich umfasste die Umsetzung der Spiellogik, also der Programmierung der Mechaniken und Prozeduren, die „hinter den Kulissen des Spiels“ ablaufen. Konkret bedeutete das beispielsweise die Implementierung der grundlegenden Bewegungsfunktionen des Protagonisten, welche immer dann ausgeführt werden, wenn die entsprechenden Eingaben seitens des Spielers getätigt werden.

Im Verlauf der Entwicklung des Spiels habe ich eine Vielzahl neuer Erkenntnisse erlangt. Zu nennen sind dabei beispielsweise die Vorzüge einer Versionsverwaltungs-Software, die zur Synchronisation von Änderungen in einer Arbeitsgruppe eingesetzt wird. Einmal korrekt konfiguriert, erleichtert sie die Arbeit und beschleunigt sowohl den individuellen als auch den kollektiven Fortschritt ungemein.

Quellen

- <http://gameprogrammingpatterns.com/architecture-performance-and-games.html> (31.07.2016)
- <http://www.giantbomb.com/profile/michaelenger/blog/game-engines-how-do-they-work/101529/> (31.07.2016)

6.7 Spiellogik II – Design Patterns

Tobias Chen
Betreuer: Hilmar Wiegand

Als *Design Patterns* (dt: Entwurfsmuster) bezeichnet man vorformulierte Lösungsansätze für Probleme, welche bei der Entwicklung von Programmier-Projekten häufig auftreten. Sie sind keine vollständig implementierten Codestücke, sondern abstrakte „Schablonen“, die dann auf das spezifische Problem angewendet werden können. Im Folgenden stelle ich einige der Entwurfsmuster vor, mit denen ich mich befasst habe.

Programmieren ohne ausreichende Planung kann dazu führen, dass der Quellcode schnell sehr unübersichtlich wird. Eine der Möglichkeiten, den Code kurz zu halten, ist das *Component-Pattern*. Unterschiedliche Objekte derselben Kategorie enthalten häufig ähnliche oder sogar identische Komponenten. Wenn diese Komponenten in jedem Objekt neu geschrieben werden, sind sie eng mit den Objekten und untereinander vernetzt. Dies kann dazu führen, dass Änderungen an einem Stück Code unvorhersehbare Komplikationen in anderen hervorrufen. Um dieses Problem anzugehen, kann man diese Komponenten in einzelne Klassen auslagern, welche von einem Objekt dann nur noch instanziiert werden müssen. Die einzelnen Instanzen der Klassen können variabel verändert werden; sollten globale Änderungen implementiert werden, muss nur eine Klasse im Code geändert werden. Dies fügt jedoch eine weitere Ebene der Abstraktion hinzu und lohnt sich meist nur, wenn der Code auf langfristige Wartung und eine Erweiterung des Funktionsumfangs ausgelegt ist [1].

Das *Command-Entwurfsmuster* dient der Kapselung von Befehlen in Objekten. Dies bedeutet, dass ein Befehl nicht direkt aufgerufen, sondern durch ein parametrisierbares Objekt modelliert wird. Dieses Objekt kann dann in eine Liste eingefügt werden, die man nach Prioritäten sortieren oder zu einem späteren Zeitpunkt aufrufen kann. Zudem können diese Objekte (oder die Liste der Objekte) gespeichert und somit auch rückgängig gemacht werden, sodass man beispielsweise einen *Undo*-Mechanismus

unkompliziert implementieren kann. Dieses Prinzip lässt sich gut am Beispiel eines Schachspiels visualisieren: Der Befehl „A4 nach A6“ wird als Objekt gespeichert und zum anderen Spieler geschickt. Soll ein Zug zurückgenommen werden, kann man das gespeicherte Objekt aufrufen und den Befehl umkehren („A6 nach A4“) [2].

Der *Gameloop* ist das Herz eines Spieles und kommt in so gut wie jedem Spiel vor. Er besteht meistens aus drei zentralen Aufgaben, die für das Funktionieren des Spieles unabdingbar sind:

- (a) User Input
- (b) Update
- (c) Draw

Der erste Schritt verarbeitet alle Eingaben des Nutzers, zum Beispiel das Drücken eines Knopfes. Darauf folgt das Update des Spieles auf den aktuellen Stand – die Aktionen des Spielers und der anderen Charaktere werden berechnet und ihre Auswirkungen auf die Welt ausgewertet. Allgemein wird dieser Schritt auch *Logik* genannt. Als letztes werden diese Updates im Drawschritt auf dem Bildschirm angezeigt.

Das Hauptproblem bei der Implementierung eines Gameloops ist die mangelnde Kontrolle über die Durchlaufgeschwindigkeit der Schleife. Ohne weitere Spezifikationen läuft der Loop so schnell, wie es der CPU möglich ist, sodass die Wiederholungsrate des Gameloops von der Geschwindigkeit der Hardware abhängt. Dies kann zu unvorhersehbaren Problemen führen, da besonders die Physik eines Spiels konstante Updates benötigt. Fehler in diesem Bereich kann man an alten Konsolenspielen deutlich erkennen: Lässt man sie auf heutigen PCs laufen, kann es passieren, dass ein Spieler eine Sekunde lang „Vorwärts laufen“ drückt, dies aber durch die neue Hardware als sehr viele Updates mit gedrückter Taste interpretiert wird, sodass man sich sehr viel weiter fortbewegt als geplant. Dies hängt damit zusammen, dass die Spiele damals meist für genau einen Typ Hardware geschrieben wurden und die Entwickler sich darauf verlassen konnten, dass das Spiel immer gleich schnell lief. Da dies mit der heutigen Vielfalt an CPU-Modellen unmöglich geworden ist, läuft das Spiel nicht mehr synchron.

Eine einfache Lösung ist, den Gameloop zeitlich zu fixieren. Da man allerdings Spielern mit besserer Hardware höhere Frameraten nicht verweigern möchte, setzt man auf variable *Frames per Second* (FPS) mit konstanten Updates pro Sekunde, sodass sich im Optimalfall Spiele auf jeder Hardware gleich verhalten [3].

Ein weiteres Problem, das bei der Spiele-Entwicklung auftritt, ergibt sich aus der allgemeinen Tatsache, dass Schreiben meist langsamer als Lesen ist. Dies kann zum Beispiel zu Konflikten führen, wenn ein Programm Bilder an den Nutzer ausgeben soll. Dabei muss das Programm in den Grafikspeicher schreiben, welchen der Monitor ausliest. Wenn nun der Monitor schneller liest als der Speicher neu beschrieben wird, zeigt der Monitor den Rest der Informationen aus dem vorherigen Bild an. Dieser Effekt ist als *Screen-Tearing* (Risse im Bild) bekannt. Um diesem Problem entgegenzuwirken, wird *Double Buffering* angewendet. Bei dieser Technik verwendet man zwei separate Speicher, von denen immer nur einer beschrieben und der andere ausgelesen werden kann. Sobald der eine Buffer vollgeschrieben ist, werden beide ausgetauscht und der Monitor erhält somit immer ein vollständiges Bild [4].

Aufgaben während der Akademiezeit

Mein Aufgabenbereich im Informatikkurs der HSAKA umfasste hauptsächlich das Schreiben des Codes und das Umgehen mit der benutzten Engine, Unity. Konkret habe ich die verschiedenen Menüs implementiert und an den Verhaltensskripten für den Hauptcharakter gearbeitet. Es war eine großartige Erfahrung, in einem Team aus Menschen zu arbeiten, die ihre jeweilige Aufgabe mit Motivation und

Fachwissen angingen. Wir alle haben uns bereits im Vorfeld der Akademie großflächig mit unseren Themen befasst und selbständig Zeit und Arbeit in das Projekt investiert – dies hat sich auch auf der Akademie wiedergespiegelt. Ich persönlich habe bisher keiner Gruppe angehört, die von Anfang an so eine gute Arbeitsatmosphäre und Dynamik hatte. Vereinzelte Softwareprobleme waren der einzige Störfaktor bei unserer Arbeit. Zusammenfassend kann ich sagen, dass die Arbeit auf der Hessischen Schülerakademie eine persönliche Bereicherung für mich war und ich wertvolle Erfahrungen aus dem Projekt ziehen konnte.

Quellen

- 1 gameprogrammingpatterns.com/component.html (23.08.2016)
- 2 gameprogrammingpatterns.com/command.html (23.08.2016)
- 3 gameprogrammingpatterns.com/game-loop.html (23.08.2016)
- 4 gameprogrammingpatterns.com/double-buffer.html (23.08.2016)

6.8 Künstliche Intelligenz

Jannis Hamborg
Betreuer: Mischa Holz

Künstliche Intelligenz (KI) bezeichnet allgemein die (mehr oder weniger exakte) Simulation menschlicher Intelligenz durch ein Computerprogramm. Die Grundlagen künstlicher Intelligenz auf der Basis von informationstechnischen Systemen wurden 1956 auf der Dartmouth-Conference [1] entwickelt. Diese war ein Forschungsprojekt verschiedener Wissenschaftler und wurde u.a. von John McCarthy ins Leben gerufen und durchgeführt. Sie gilt seither als Grundlage der KI als Wissenschaft. Als Kriterien für die „Intelligenz“ eines Systems wurden dessen Fähigkeit zur autonomen Aktion, Abstraktion, Selbstverbesserung und Beherrschung des Zufalls definiert.

In Videospiele ist eine rudimentärere KI-Technologie schon etwas länger zu finden. So wurde bereits 1952 das *Nim-Spiel* veröffentlicht. Dieses Spiel war das erste, welches einen menschlichen Gegner mithilfe von mathematischen Algorithmen schlagen konnte. Dabei wurde die *Gewinnstrategie nach Bouton* benutzt, die es ermöglicht, das Nim-Spiel in jeder Situation zu gewinnen [2]. Im Laufe der Zeit wurden weitere, ausgefeiltere Strategien entwickelt, die es Nichtspielercharakteren (NPCs) ermöglichen, auf das Handeln des menschlichen Spielers zu reagieren (etwa durch Geräusche, Animationen oder eine Verhaltensänderung).

Einfachere KI-Systeme basieren hauptsächlich auf dem Vergleich der eigenen Position mit der des Spielers. Auch die Umgebungsbeschaffenheit und die Fähigkeiten des NPCs können in die Abfrage einbezogen werden, wodurch zum Beispiel überflüssige Bewegungen und Aktionen verhindert werden können. Im Jahr 1980 wurde der Spieleklassiker *Pac-Man* veröffentlicht, welcher als neues Feature unterschiedliche NPCs mitbrachte. Somit war es dem Spieler nicht mehr sofort möglich, die Taktik des Computers zu durchschauen. Bei *Pac-Man* gibt es vier verschiedene Gegnertypen: *Blinky* visiert immer die aktuelle Position des Spielercharakters an, er verfolgt ihn also auf Schritt und Tritt. Ähnlich agiert *Pinky*: Er bewegt sich auf dasjenige Feld zu, das sich aktuell in der Bewegungsrichtung des Spielers zwei Felder von ihm entfernt befindet. *Clyde* bewegt sich bis auf einen Abstand von acht Feldern auf den Hauptcharakter zu und flüchtet danach. Die komplizierteste Steuerung hat *Inky*: Für die Berechnung seiner Zielposition wird sowohl die Position des Spielers als auch die von *Blinky* einbezogen [3].

Durch diese dynamische Verfolgung muss sich der Spieler immer wieder auf neue Situationen einstellen und kann nicht immer nach dem gleichem Schema den Computer austricksen. Durch diese recht einfache Technik der Positionserkennung ist es außerdem möglich, eine simple Schwarmintelligenz zu simulieren.

All diese Verhaltensmuster haben gemeinsam, dass die zu Grunde liegenden Entscheidungsmuster sehr berechenbar und damit kaum „menschlich“ wirken. Man bezeichnet sie als *schwache KIs*. Im Gegensatz dazu steht die *starke KI*, welche durch das Bestehen des *Turing-Tests* [4] definiert ist. Dieser besteht darin, dass der Tester sich mit einem Computer oder einem anderen Menschen schriftlich unterhält. Wird der Gesprächspartner als Mensch identifiziert, obwohl es eigentlich der Computer war, gilt der Test als bestanden und unterstellt diesem Computerprogramm ein menschenähnliches Denkvermögen. Seit dieser Test entwickelt wurde, wurde allerdings keinem System von mehr als 30% der Befragten menschenähnliche Kommunikationsfähigkeit zugeschrieben [5].

Eines der wichtigsten Grundkonzepte der KI ist das Lernen (Selbstverbesserung). Ein plakatives Beispiel dafür sind sogenannte *Expertensysteme*: Diese Systeme werden mit allen verfügbaren Informationen aus einem möglichst scharf abgegrenzten wissenschaftlichen Gebiet „gefüttert“. Dieses „Wissen“ setzen sie in alle möglichen Abhängigkeiten, um so Probleme zu lösen. Dies wird zum Beispiel in der Mathematik eingesetzt [6].

Eine ähnliche Such- und Optimierungstechnik wurde 1990 von den Entwicklern von *Dragon Quest 4* aufgegriffen, wodurch es den computergesteuerten Charakteren möglich war, Strategien zu entwickeln und sich auf den menschlichen Spieler einzustellen. Hierfür wurden Aktionen des Spielers analysiert und mit seinen vorherigen Reaktionen auf Spielzüge des Computers abgeglichen, um letztendlich eine „taktisch kluge“ Antwort auf die Handlungen des Spielers zu finden.

Durch die Zunahme an Rechenleistung heutiger Computer ist es möglich geworden, immer mehr NPCs innerhalb eines Programms gleichzeitig „denken“ zu lassen. Somit ist es auch möglich, dass diese sich untereinander beeinflussen und aufeinander reagieren. In den neusten *Assassin's Creed*-Spielen kann zum Beispiel eine einzige Handlung des Spielers (z.B. ein Schuss in eine Menschenmenge) eine Kettenreaktion auslösen, die mehrere hundert NPCs beeinflusst und dementsprechend handeln lässt (z.B. Massenpanik und Flucht) [7].

Aufgaben während der Akademiezeit

Meine Aufgabe war es, die Steuerung und die Verhaltensweisen der verschiedenen Gegnertypen zu programmieren. Um sie aktiv auf den Spieler reagieren zu lassen, muss die Position des Spielers in Relation zu der des Gegners ermittelt werden. Mithilfe dieser Angaben lassen sich Bewegungsrichtung und Abstand der Akteure berechnen. Den Abstand nutzt man, um bestimmte Aktionen des computergesteuerten Gegners zu starten und zu koordinieren, die Bewegungsrichtung zu ändern und den Spieler zu verfolgen und anzugreifen. Die Kombination von Position und Bewegungsrichtung ergibt auch die Möglichkeit, den Spieler gezielt abzuwerfen, was in unserem Spiel durch eine Käse werfende Maus genutzt wurde.

Ein weiterer Gegner mit anderem Angriffsschema ist der Hund, welcher auch unseren Endgegner darstellt. Bei diesem gab es das Problem, dass er bei der Verfolgung des Spielers an Hindernissen, die der Spieler leicht überspringen konnte, hängen blieb. Also musste ich die menschlichen Erkennungsweisen und Lösungsstrategien (in diesem Fall für ein Hindernis) auf den Hund übertragen; dies erforderte eine Objekterkennung mit Einordnung, um welchen Typ von Hindernis es sich handelt. Aus diesen Daten musste eine passende Aktion (zum Beispiel Springen) errechnet werden. Gleichzeitig durfte diese Berechnung nicht so perfekt sein, dass der Spieler nicht mehr darauf reagieren kann, weswegen die Implementierung eines Zufallswertes von Nöten war.

Bei all diesen Tätigkeiten war es wichtig, sich sowohl vorher als auch während der Entwicklungszeit im Team dahingehend abzustimmen, was die zu entwickelnden Fähigkeiten sein sollten und wie diese mit dem Spieler und der Welt interagieren würden. Ein gutes Mittelmaß zwischen einer zu passiven und einer zu aggressiven Gegnersteuerung zu finden, die sich gut ins Gameplay und die Handlung einfügt, ist die größte Herausforderung für einen KI-Entwickler. Dies habe ich selbst erfahren müssen und viel gelernt bei dem Versuch, diese zu meistern.

Quellen

- 1 <https://www.dartmouth.edu/~ai50/homepage.html> (21.08.2016)
- 2 http://www.imn.htwk-leipzig.de/~jahn/Cprog/Alg_Inf_Jahr_pdf/streichholzspiel.pdf (21.08.2016)
- 3 <http://www.gamersglobal.de/report/pac-man?page=0,3> (21.08.2016)
- 4 http://www.alanturing.net/turing_archive/pages/Reference%20Articles/What%20is%20AI.html (21.08.2016)
- 5 <http://www.telegraph.co.uk/earth/main.jhtml?xml=/earth/2008/10/12/eacomputer112.xml> (21.08.2016)
- 6 <http://www.inf.fu-berlin.de/lehre/SS09/KI/fohlen/v12.pdf> (23.08.2016)
- 7 <http://www.golem.de/news/kuenstliche-intelligenz-in-spielen-die-ki-ist-so-intelligent-wie-ihre-entwickler-1412-110758.html> (21.08.2016)

6.9 Musik in Computerspielen

Leon Vack

Betreuer: Leon Strauss

Die Musik in Computerspielen hat sich seit ihren simplistischen Anfängen in Spielen wie *Pong* oder *Space Invaders* weit entwickelt. Anfangs war sie stark technischen Limitationen unterworfen, was mit der steigenden Rechen- und Speicherleistung immer weniger zu einem Problem wurde. Doch selbst in den Anfangstagen erreichte einfache Musik schon ihre Ziele: In *Space Invaders* zum Beispiel werden die Hintergrundgeräusche immer schneller und erhöhen damit kontinuierlich das Stresslevel des Spielers, obwohl sie nur aus wenigen Tönen bestehen.

Mit der Zeit wurde die Musik in Spielen immer komplexer und hochwertiger und das Interesse der Spieler wuchs. Heutzutage werden Spiele von ganzen Symphonien begleitet – dies gipfelt in Events wie der Konzert-Serie *Video Games Live*, wo Musikausschnitte aus Videospiele live von einem Orchester gespielt und von Licht, Effekten und Videoausschnitten unterspielt werden.

Funktionen im Spiel

Eine der wesentlichen Funktionen von Musik in Spielen ist das Erzeugen von Atmosphäre und Gefühlen. Dies ist zum Beispiel in Horror-Spielen überdeutlich zu erkennen: Auch ganz ohne das Spielgeschehen ist der Soundtrack von *Slender: The Eight Pages* höchst beunruhigend. Spielt man hingegen das Spiel ohne Ton, ist es wesentlich weniger gruselig, fast schon langweilig.

Weit verbreitet ist ebenfalls, Handlung oder Geräusche mit Musik und Tönen nachzuahmen, um das Geschehen zu unterstreichen. Hierbei wird auch auf Klischees zurückgegriffen, welche bestimmte Instrumente oder Melodien mit Kulturen, Orten, Ideen oder ähnlichem verbinden. Das Stück *Pyrates*

Beware aus dem Soundtrack zu *Assassin's Creed IV: Black Flag* erzeugt zum Beispiel ein Piraten-Gefühl durch die Verwendung von tiefen Trommeln im Hintergrund und dominanten Streichern im Vordergrund.

Das Nachahmen und Anlehnen an das Spielgeschehen zeigt sich etwa auch in der Kampfmusik *Fragments* aus *Remember Me*. Die Musik im Kampf ist betont tempogeladen. Das Fehlen großer Teile der Erinnerungen der Protagonistin und deren Beschädigung spiegelt sich in Verzerrungen des Textes wieder, welcher ausschließlich aus dem Wort „Memories“ besteht. Der Rhythmus der Musik ist zusätzlich synchron mit dem Kampfrythmus, der durch das Combo-basierte Kampfsystem entsteht.

Ökonomische Funktionen

Eine weitere Funktion der Musik ist die Vermarktung des Spiels. Zum einen werden gezielt Musikgenres gewählt, welche die Zielgruppen des Spiels ansprechen. Manchmal werden auch Musiker, die in der Musik des Spieles mitgewirkt haben, direkt in den Werbekampagnen eingesetzt, um Fans aufmerksam zu machen. Diese beiden Methoden sieht man zum Beispiel im *Need for Speed*-Soundtrack: Hier werden zum einen mehrere Interpreten, die im Soundtrack auftauchen, angepriesen, zum anderen ist die Musik größtenteils im Electro- und HipHop-Genre angesiedelt, um die junge Zielgruppe, die sich für getunte Autos interessieren, direkter anzusprechen.

Musik kann außerdem einen Wiedererkennungswert haben und das Spiel damit einprägsamer machen. Viele Soundtracks bekannter Spiele sind auch bei Nicht-Spielern bekannt und wecken sofort den Gedanken an das zugehörige Spiel.

Aufgaben während der Akademiezeit

Ich habe mich während der Akademie um alles gekümmert, was in unserem Spiel mit Musik und Ton zu tun hat – von Effekten bis zur Musik selbst. Dabei habe ich Effekte selbst generiert, einige aus vorhandenen Bibliotheken herausgesucht und die Musik ebenfalls aus dem Internet ausgewählt. Die Stimmung für die einzelnen Levels habe ich mit den Art- und Storyteams abgesprochen, und für die Einbindung der Effekte musste ich auch selbst am Programm arbeiten.

Quellen

- 1 <http://www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=89565567> (23.08.2016)
- 2 http://www.needforspeed.com/en_GB/news/soundtrack (23.08.2016)
- 3 http://www.uni-potsdam.de/u/slavistik/vc/filmanalyse/arb_stud/mueller_meisdrock/docs/techniken.htm (23.08.2016)
- 4 http://www.uni-potsdam.de/u/slavistik/vc/filmanalyse/arb_stud/mueller_meisdrock/docs/funktionen.htm (23.08.2016)
- 5 <https://www.hdm-stuttgart.de/~curdt/Reuter.pdf> (23.08.2016)
- 6 <http://e-filmmusik.de/diplomarbeit/funktion-filmmusik.html> (23.08.2016)

6.10 User Experience

Milisa Jettkandt
Betreuer: Leon Strauss

Die *User Experience*, kurz UX, beschreibt die Eindrücke und Gefühle eines Users beim Benutzen eines Gegenstandes oder eines Programms. Es gibt keine einheitliche Definition für „gute“ oder „schlechte“ UX, doch sie wird generell unter den folgenden drei Aspekten betrachtet, welche vom römischen Architekten Vitruv etabliert wurden [1]:

Firmitas (Festigkeit) beschreibt den Grad der realen Nutzenerfüllung.

Utilitas (Nützlichkeit) beschreibt die Nützlichkeit und Intuitivität.

Venustas (Schönheit) beschreibt die Ästhetik bzw. die Freude beim Benutzen.

UX ist ein Zusammenspiel aus all diesen Kategorien und macht letzten Endes das gewisse Etwas aus, das uns ein gutes Gefühl gibt, wenn wir einen Gegenstand, eine Webseite oder ein Programm benutzen. Sie ist höchst subjektiv, denn mit unserem sich ständig im Wandel befindenden Verständnis vom Umgang mit Medien und neuen, sich schnell etablierenden Designkonzepten ändert sich auch unser Anspruch an „zeitgemäße“ Webseiten, Apps und Alltagsgegenstände. Wo ein Gegenstand im Regal platziert werden soll, wie ein Link nach „Klick mich!“ aussieht und woran wir Qualität festmachen, sind Faktoren, welche die User Experience beeinträchtigen. Ein wichtiger Grundsatz lautet „Don't make me think!“, denn wenn wir all unsere Geisteskraft darauf verwenden müssen, um hinter die Funktionsweise einer elektrischen Zahnbürste zu kommen, so bleibt nicht mehr genügend übrig, um sie zu bedienen [1, 2].

Der Designer muss darüber hinaus über die Kompetenz verfügen, sich in den User hineinzusetzen. Er muss sich fragen: „Was will ich dem User geben und wie gebe ich es ihm?“ Ferner sollte sich ein Designer auch darüber bewusst sein, was der User tatsächlich möchte. Er sollte in der Lage sein, Designstandards hinterfragen zu können.

Als *Designprinzip* beschreibt man den „roten Faden“, der sich durch alle Designepochen zieht. Wenn ein User eine Aktion ausführt, so muss er zum Beispiel ein Feedback erhalten, damit sich ein gutes Gefühl der Bestätigung einstellt. Wie ihm dieses konkret vermittelt wird, hängt dann vom aktuellen *Designstandard* ab – dieser ist trendabhängig, vergleichbar mit verschiedenen Kunstepochen wie zum Beispiel dem Pointillismus [3], dem die Entstehung des Bildes aus Punkten als Designstandard zugrunde liegt. Ein Standard ist also zu verstehen als die konkrete, an die entsprechende Zeit angepasste Umsetzung eines Prinzips. Folglich ist das einzige, was sich im Laufe der Zeit ändert, die Art, wie die immer gleichen Prinzipien umgesetzt werden.

Design verhält sich wie Evolution, stets im Wandel und niemals statisch. Wer nicht abgehängt werden möchte, muss sich im Zuge des Wandels fragen, warum sich Standards etablieren konnten; nur so hat man als Designer die Möglichkeit, den Transfer zu schaffen und unabhängig vom Standard Prinzipien umsetzen zu können.

Aufgaben während der Akademiezeit

Meine Aufgabe auf der Akademie war es, sich um solche UX-Fragen zu kümmern. Zum einen habe ich sichergestellt, dass die oben genannten Kriterien im Interesse des Users erfüllt sind, und mich außerdem um das Graphical User Interface (GUI) gekümmert. Praktisch bedeutete dies, dass ich zum Beispiel ein Menü entworfen habe, das erscheint, wenn man das Spiel pausiert, oder eine Minimap, die die aktuelle Position in einem Levelausschnitt zeigt. Außerdem wurde ich von allen anderen Arbeitsgruppen konsultiert – die Belegung der Steuerung, die Einführung von neuen Spielmechaniken, die Verständlichkeit der Animationen und vieles mehr muss auch heute noch Vitruvs Kriterien angepasst werden.

Quellen

- 1 Steve Krug: *Don't Make Me Think: A Common Sense Approach to Web Usability (Voices That Matter)*, New Riders Verlag, 2013
- 2 Don Norman: *The Design of Everyday Things: Revised and Expanded Edition*, Basic Books Verlag, 2013
- 3 <http://www.art-directory.de/malerei/pointillismus/> (23.08.2016)
- 4 http://www.artline-bremen.com/user_experience.html (23.08.2016)

7 Geschichtskurs

Geschichte in Bewegung

Spielfilme und Dokumentationen sind in unserer Gesellschaft schon seit vielen Jahren die primäre Sozialisationsinstanz für historisches Wissen. Für viele Menschen bietet das Medium Film nicht nur den ersten Kontakt mit historischen Themen, bei den meisten bleibt es nach der Schulzeit auch der einzige Lieferant von Wissen über die Geschichte.

Die Forderung nach einer stärkeren Auseinandersetzung mit der Geschichte im Film und mit dem Film in der Geschichtswissenschaft wird darum seit geraumer Zeit immer lauter – nichtsdestotrotz spielt das Medium bis heute eine eher marginale Rolle in der Schule und an der Universität. SchülerInnen, Studierenden und LehrerInnen fehlen daher meist die Kompetenzen für eine adäquate Arbeit mit dem Medium Film in der Geschichte.

Wir ändern das.

Im Kurs haben wir uns Methoden und Techniken der Filmanalyse erarbeitet und auf ausgewählte Historienfilme angewendet. Wir haben die historischen Kontexte der Filminhalte und der Filmproduktionen betrachtet und die narrativen Strategien dieser in bewegten Bildern erzählten Geschichte(n) herausgearbeitet.

Gemeinsam haben wir Geschichte in Bewegung untersucht – und damit hoffentlich etwas Bewegung in die Geschichte gebracht!

Kursleitung

Dr. Peter Gorzolla, Wiss. Referent am Historischen Seminar der Goethe-Universität Frankfurt am Main

7.1 Die Heldenreise als narratives Grundmuster des (historischen) Erzählens

Victoria Kolac & Nina Quandt

In unserem Kurs haben wir uns auf unterschiedliche Weise mit Strukturen beschäftigt. Dies war vor allem inhaltlich dort bedeutsam, wo es um den Erhalt oder den Bruch von Kontinuitäten und ihre Darstellung ging, etwa bei der Frage, welche politische Botschaft Ridley Scott in seinem Film *Kingdom of Heaven* mitzuteilen versuchte. Innerhalb unserer Betrachtungen wurde augenscheinlich, dass neben der direkten Lesart des Films, quasi zwischen den Zeilen, weitere Bedeutungsebenen zu Tage gefördert werden können. Hierfür war es unerlässlich, sich die narrative Struktur des Films genauer anzuschauen. Um für unsere Arbeit eine geeignete analytische Verfahrensweise zu schaffen, beschäftigten wir uns in unserer ersten Sitzung mit den narrativen Strukturen der klassischen Heldenreise nach dem Konzept von Campbell und Vogler. Der Mythenforscher Joseph Campbell hatte im Zuge seines Studiums der Mythenerzählungen verschiedener Kulturen 1949 in *The Hero's Journey* beschrieben, dass sich alle von ihm untersuchten Mythen in ihrer Struktur gleichen und ein universelles Erfahrungsmuster aufweisen. Diese Erkenntnis verknüpfte er mit Thesen C.G. Jungs aus dem Bereich der Tiefenpsychologie und Symbologie und kam zu der Erkenntnis, dass alle menschlichen Erzählungen, Mythen, Märchen etc., gleich wo auf der Welt, ein gemeinsames narratives Grundkonstrukt aufweisen. Dieses von ihm akademisch trocken beschriebene und als „Heldenreise“ benannte strukturelle Gerüst blieb jedoch fast vollkommen unbeachtet, bis der Regisseur und Autor Christopher Vogler es Mitte der 1980er Jahre auf die Konstruktion moderner Hollywoodfilme anwendete. Er beschreibt, wie die Heldenreise nach

Campbell, in welcher der Held 12 vorgegebene Stationen durchläuft, in beinahe allen großen Hollywood-Filmen Anwendung findet, dieses Schema jedoch so universell ist, dass es selbst abgewandelt immer noch zu erkennen ist, sofern man die Grundstruktur und die Bedeutungsebenen der Heldenreise erst einmal durchschaut hat. So findet sich die Heldenreise ebenso in großen epischen Blockbustern wie dem *Herrn der Ringe* oder *Star Wars* wie in Filmen, in denen das Schema augenscheinlich weniger leicht zu erkennen ist, zum Beispiel in *Pretty Woman* oder *Beverly Hills Cop*. Heute ist Voglers ursprünglich als 7-seitiges Memo entstandener „Practical Guide“ Pflichtlektüre für angehende Regisseure und Drehbuchautoren und die „Heldenreise“ Grundlagenwissen in den Literatur- und Medienwissenschaften.

Die Heldenreise beginnt in der „gewohnten Welt“, dem Zuhause des Helden, die geprägt ist von Routinen und Alltäglichem. Es folgt der „Ruf des Abenteurers“, der ganz unterschiedlich aussehen kann: Ein unvorhergesehener Impuls von außerhalb verlockt zum Aufbruch, oder es gilt eine Gefahr abzuwenden. Sicher ist, dass etwas geschieht, das die Welt unseres Helden auf den Kopf stellt und ihn zum Handeln zwingt. Es folgen Weigerungen und Proben, der Kontakt mit Unterstützern und Widersachern und das Bestehen harter Proben. Hierbei trifft der Held auf viele Figuren, die Vogler als Archetypen der Heldenreise beschrieben hat. Sie sind sehr bedeutsam für eine Geschichte, stellen sie doch häufig die treibenden Kräfte dar.

So trifft der Held z.B. auf seinen Mentor, der ihn unterstützt, sich innerhalb der neuen Welt zu orientieren und Freund von Feind zu unterscheiden. Viele Bewährungsproben dienen dazu, den Helden immer wieder aufs Neue zu testen, ihn herauszufordern und ihn auf den Abstieg in die „tiefste Höhle“ vorzubereiten, in welcher der Held dem „Schatten“, seinem Antagonisten, begegnet. Nun muss er eine entscheidende Prüfung bestehen, seine Angst überwinden und unter Beweis stellen, dass er nicht mehr der ist, als der einst aufgebrochen ist zu diesem Abenteuer. Nachdem er sich dem Bösen gestellt hat, erhält er eine Belohnung, die aus neuem Wissen, einem Schatz oder Ähnlichem bestehen kann. Nun begibt sich der Held auf den Heimweg in seine gewohnte Welt, auf welchem er sich erneut beweisen muss, und er kommt nicht selten daheim zu der Erkenntnis, dass nichts mehr so ist, wie es einst war – da er selbst nicht mehr der Gleiche ist! Die „äußere“ Heldenreise wird stets durch eine (letztlich sogar wichtigere) „innere“ begleitet. So ist die Heldenreise auch immer eine Geschichte des Wachsens und der Initiation.

Dass das Konstrukt der Heldenreise sehr variabel ist und die Heldenwerdung auf vielfältige Weise eintreten kann, war eine unserer wichtigsten Erkenntnisse im Kurs. Hierzu haben wir die Lektüre Voglers in einem interaktiven Rollenspiel innerhalb unserer Sitzung umgesetzt. Wie tief die Struktur der Heldenreise in unser aller Vorstellung einer guten Geschichte verankert ist, konnten wir so direkt erfahrbar machen, durchliefen unsere „Helden“ doch, ohne dies zu forcieren, ganz automatisch die beschriebenen Stationen Voglers. Durch die Arbeit an Steckbriefen der Archetypen haben wir dieses Erleben kontextualisiert, um unser Wissen im Anschluss hieran auf den *13. Krieger* anzuwenden. Hierbei wurde deutlich, dass die Struktur der Heldenreise im klassischen Hollywoodfilm sehr variabel eingesetzt wird und zahlreiche Mittel und Stationen, wie sie Campbell und Vogler beschreiben, auch in Variation oder doppelt besetzt benutzt werden, um die Entwicklung des Protagonisten plausibel erscheinen zu lassen. Das Wissen über die grundlegende Erzählstruktur der Heldenreise nutzte uns nicht nur für das Verstehen des *13. Kriegers*, sondern fand auch in zahlreichen anderen Sitzungen bei der Analyse der Filme und ihrer Narration nützliche Anwendung. Einen interessanten Anstoß für weitere Betrachtungen bot unsere Diskussion, inwieweit die Heldenreise als erzählerisches Gerüst auch dazu dienen kann, die Geschichtsschreibung bedeutsamer Personen der Menschheitsgeschichte neu zu betrachten. Denn was waren Chronisten und Geschichtsschreiber vergangener Zeiten anderes als Geschichtenerzähler?

Quellen und Literatur

- *Der 13. Krieger* (1999, Regie: John McTiernan, 102 min.) [orig. *The Thirteenth Warrior*]
- Christopher Vogler: *Die Odyssee des Drehbuchschreibers. Über die mythologischen Grundmuster des amerikanischen Erfolgskinos*, 6. Aufl., Frankfurt a. M. 2010 [orig. *The Writer's Journey: Mythic Structure For Writers*, 1992], Kap.: Eine praktische Einführung (S. 49-77).
- Joseph Campbell: *Der Heros in tausend Gestalten*, Frankfurt am Main u.a., 1999. [orig. *The Hero with a Thousand Faces*, 1949]

7.2 Cinema of Immersion: Authentizitätseffekte in Spielbergs *Saving Private Ryan*

Adalie Ament & Nina Quandt

Filme haben die Macht, uns in Ihren Bann zu ziehen und unsere Emotionen zu steuern. Dies geschieht oft durch die Identifikation mit der diegetischen Figur, also der Person, aus dessen Perspektive heraus uns die Handlung erzählt wird. Um subjektive Authentizität im Film zu erzeugen, bedienen sich Regisseure und Filmtechniker sowohl neuester Technik als auch Variationen älterer Film- und Tontechniken, um ungekannte Effekte zu erzielen.

In dem Film *Saving Private Ryan* von Steven Spielberg aus dem Jahre 1998 wurden Authentizitätseffekte so geschickt arrangiert, dass das subjektive Authentifizieren der Kinozuschauer auf eine so eindringliche Weise angeregt wurde, dass sich viele direkt in die dargestellte Kriegsszenerie hinein versetzt fühlten. Die ersten 27 Minuten des Films stellen die Landung der Alliierten in der Normandie am 6. Juni 1946, dem sogenannten D-Day, dar und inszenieren, wie Hunderte amerikanische Soldaten bei dem Versuch, die Strände des Omaha Beach zu erstürmen, erschossen und zerstümmelt werden. Viele Kriegsveteranen, die sich diesen Film in Kino anschauten, brachen aufgrund der authentischen Darstellung des Geschehens emotional zusammen, erlebten Flashbacks und wurden teilweise sogar retraumatisiert.

Mit welchen filmischen Mitteln Regisseure und Filmtechniker in der Lage sind, den Zuschauer zu manipulieren, war in verschiedenen Kurssitzungen Thema unserer Betrachtung. In dieser Sitzung lag unser Hauptaugenmerk darauf, wie Immersionsstrategien im modernen Kriegsfilm funktionieren und welche Auswirkungen dies auf unser Bild von Kriegen hat. Unter „Cinema of Immersion“ wird die über gängige Authentizitätseffekte hinausgehende filmische Herstellung eines Realitätseindrucks verstanden, der sich bis ins körperliche (Nach-)Empfinden des Zuschauers hinein steigert. In *Saving Private Ryan* führt dies zu einer derart eindrücklichen Darstellung des Krieges, dass die Behauptung einer authentischen Vorstellung dessen, was tatsächlich geschehen ist, entsteht: als habe sich Spielberg das Ziel gesetzt, den Zuschauer so dicht wie möglich an die „Wahrheit des Krieges“ heranzuführen. Il-Tschung Lim versteht unter Immersion die technische Forcierung der körperlichen Einfühlung in die subjektiven Erlebnisse der diegetischen Figur.

Saving Private Ryan bietet hierfür einige Beispiele auf der Bild- und Tonebene. So wird der Kinozuschauer z.B. über tontechnische Verfahren in die raumklangliche Erlebniswelt des Kriegsschauplatzes hineingezwungen: Im Kinosaal wird der Zuschauer, ebenso wie die Personen auf der Leinwand, räumlich durch den Einsatz ohrenbetäubender Lautstärke über Surround Sound-Systeme desorientiert. Musik und Dialoge kommen hierbei weiterhin aus dem zentralen Frontlautsprecher, während Soundeffekte wie z.B. Explosionen und Schüsse aus den anderen Lautsprechern, die um den Zuschauer herum aufgestellt waren, ertönten. Bei dieser Technik ist für die räumliche Zuordnung des Geschehens quasi keine

visuelle Ebene mehr erforderlich. Detoniert z.B. eine Bombe links hinter der diegetischen Figur, muss dies nicht auf der Leinwand zu sehen sein, sondern es genügt, wenn der entsprechende Lautsprecher eine Explosion simuliert. Außerdem wurde in vielen Kinosälen ein Subwoofer verwendet, welcher tief-frequente Schallwellen wiedergibt, die Vibrationen auslösen – ein Effekt, der vor allem bei Explosionen oder Zusammenstößen verwendet wird. Der Zuschauer wird somit durch Tontechniken so physisch wie möglich in das Geschehen hinein positioniert, denn anders als das Blickfeld erfasst der menschliche Hörraum einen Gesamtradius von 360 Grad. Diese assoziierte Hörposition des Zuschauers wird auch *spacial point of audition* genannt. Die körperliche Wahrnehmung der gezeigten oder angedeuteten Detonationen verstärkt das Gefühl, direkt in der Handlung zu sitzen.

Des Weiteren bediente sich Spielberg sehr häufig einer Technik, die als *subjective point of audition* bezeichnet wird. Hierbei wird die auditive Wahrnehmung der diegetischen Figur simuliert. Diese Technik, oft zur allgemeinen Verständlichkeit kombiniert mit einer Parallelmontage aus *point of view shots* und Nahaufnahmen der Figur, wird vor allem eingesetzt, wenn eine verzerrte Wahrnehmung der Figur dargestellt werden soll. Die Tonspur wird dann akustisch so verfremdet, dass sie dem Empfinden der diegetischen Figur entspricht. In *Saving Private Ryan* findet diese Technik primär Anwendung in der Simulation von Hörstürzen. Diese erzeugen einen Authentifikationseffekt und erzwingen die Identifikation mit der diegetischen Figur. Zusammen mit den verwackelten Bildern der Handkamera, welche den Eindruck vermitteln, distanzlos der Handlung beizuwohnen, erzielen die *subjective point of audition*-Effekte das Gefühl der subjektiven Authentifikation, welche einhergeht mit dem Gefühl, eine objektive und somit dokumentarisch authentische Darstellung des Krieges zu erleben – obwohl es sich bei allem um die Illusion eines Blockbusters handelt. In *Saving Private Ryan* manipulieren und attackieren Filmtechniken den Zuschauer also derart, dass es gelingt, sowohl dokumentarische als auch subjektive Authentizitätseindrücke zu erzielen. Wie wirkungsmächtig diese Immersionsstrategien sind, zeigen nicht nur die Reaktionen von Kriegsveteranen, sondern auch einige Aussagen von Rezensenten, die dem Film attestierten, eine noch nie da gewesene Authentizität des Krieges für ein breites Publikum erfahrbar zu machen. Diese sei so wirkungsstark, dass der *New Yorker* Spielbergs Werk gar als „the film to end all wars“ (Röwekamp, 180) bezeichnete.

Quellen und Literatur

- *Der Soldat James Ryan* (1998, Regie: Steven Spielberg, 169 min.) [orig. *Saving Private Ryan*]
- Il-Tschung Lim: *Die Spionage, der Krieg und das Virus*, Paderborn 2012, Kap. 2: Cinema of Immersion (S. 75-120).
- Burkhard Röwekamp: *Antikriegsfilm. Zur Ästhetik, Geschichte und Theorie einer filmhistorischen Praxis*, München 2011.
- Thomas Würstlein: *Strategien der Authentifizierung im Kriegsfilm*, Saarbrücken 2008.

7.3 Erinnern und Vergessen: Theoretische Grundlagen des Gedächtnisses

Elina Dilger & Marina Kukina

Am 13. November 2015 traf Paris ein Anschlag der Terrororganisation Islamischer Staat. An fünf Standorten wurden über 350 Menschen verletzt und 128 starben. Wir alle haben dieses Ereignis über die Medien mitbekommen und sind mit zahlreichen Informationen überschüttet worden. Doch an wie viel können wir uns noch erinnern? Haben sich unsere Erinnerungen verändert? Und was beeinflusst unsere Erinnerung? Ausgehend von diesen Fragen haben wir uns in dieser Sitzung mit dem Wahrheitsgehalt von Erinnerungen, den neurowissenschaftlichen Grundlagen des Erinnerns und dem Einfluss der Gesellschaft auf unser Gedächtnis auseinandergesetzt.

Vor einem tieferen Einstieg in das Thema sollten wir das Grundvokabular klären: Wie wird „Erinnern“ definiert? Was genau ist das „Gedächtnis“? Dafür haben wir uns zunächst mit einem Text von Matthias Berek zum Thema „Kollektives Gedächtnis und die gesellschaftliche Konstruktion der Wirklichkeit“ beschäftigt und so eine kulturphilosophische Sichtweise auf das Thema gewählt. Berek beschreibt das Erinnern als einen Prozess, eine Handlung, bei der frühere Erlebnisse wieder ins Bewusstsein gerufen werden. In der Folge haben wir den Begriff „Gedächtnis“ differenziert definiert: „Gedächtnis“ kann zum einen die zum Wort „Erinnern“ zugehörige Fähigkeit sein, also das Erinnerungsvermögen, zum anderen aber auch die (veränderliche) Struktur einer Erinnerung beschreiben; außerdem bezeichnet der Begriff den Zustand der aktuellen im Gedächtnis vorhandenen Erinnerungsbausteine. „Unser Gedächtnis wird jeden Tag neu geboren“, schreibt die US-amerikanische Psychologin Elisabeth Loftus.

Um den eigenen Erinnerungsprozess zu reflektieren, versuchten wir, uns möglichst detailreich an die Anschläge von Paris im November 2015 zu erinnern. Dabei waren u. a. folgende Fragen zu beantworten: „Was geschah mit den Terroristen unmittelbar nach dem Anschlag? Welchen politischen Ausdruck benutzte der französische Präsident François Hollande bei der Bewertung der Anschläge? Warum wurde gerade Frankreich als Ziel gewählt?“ Der Fokus lag dabei nicht auf der korrekten Beantwortung, sondern auf den Schwierigkeiten beim Erinnern. Die anschließende Diskussion über unsere Eindrücke führte zum Ergebnis, dass Erinnerungen falsch, ungenau, oberflächlich, lückenhaft oder emotional gefärbt sein können, kurzum: Sie sind *instabil*.

Nachdem wir uns von unserer Vorstellung von „zuverlässigen“ und „wahren“ Erinnerungen verabschiedet hatten, nahmen wir eine neurowissenschaftliche Perspektive ein. Dabei haben wir nachvollzogen, was in unserem Gehirn geschieht, wenn wir vergessen: Bei einer Informationsüberflutung übernimmt das Gehirn die Selektion ganz von selbst, indem es *Komplexitätsreduktion* und *Vergessen* betreibt. Zudem macht Stress vergesslich, da eine zu hohe Konzentration des Stresshormons Cortisol die Nervenzellen im Gehirn schädigt. Uns Menschen fällt es in der Folge schwer, zwischen dem zu unterscheiden, was wir extern gehört, und dem, was wir intern selbst dazu gedichtet haben, nimmt die US-amerikanische Forscherin Kathleen McDermott an. Darüber hinaus lassen wir uns schnell von vermeintlich authentischen Quellen täuschen und bilden so falsche Erinnerungen auf Grundlage von Fehlinformationen.

Diese Manipulierbarkeit des Gedächtnisses haben wir anhand einer Studie von Loftus genauer betrachtet. Dabei wurde den Probanden von einem Familienmitglied ein ausgedachtes Kindheitserlebnis glaubwürdig erzählt. Die verwendete Geschichte hatte immer vier Kernelemente. Die Person hatte im Alter von fünf oder sechs Jahren ihre Familie in einem großen Einkaufszentrum verloren. Alleine begann er oder sie zu weinen. Daraufhin nahm sich eine ältere Dame des Kindes an, tröstete es und führte es wieder mit seiner Familie zusammen. Wiederholt konnte Loftus zeigen, dass es bei Personen verschiedenster Altersgruppen gelang, diese erfundene Kindheitserinnerung einzupflanzen.

In der Plenumsdebatte kamen wir zu dem Schluss, dass unsere Umwelt einen großen Einfluss auf die Erinnerungsgenese hat. Die Gesellschaft beeinflusst mit ihren Werten und Normen, wie wir die Vergangenheit wahrnehmen. Das heißt, die Vergangenheit wird auf Grundlage der aktuell geltenden sozialen Akzeptanz und Kommunikabilität von Erinnerungen angepasst. Sind Erinnerungen „erzählbar“, so nehmen wir sie auch mit einer höheren Wahrscheinlichkeit als wahr an. Zudem können Erinnerungen von physischen Gegebenheiten beeinflusst werden (z.B. Amnesie durch Gehirnerschütterung). Das heißt, dass die Erinnerungsgenese in einem bio-sozio-kulturellen System stattfindet. Erinnerungen, haben wir geschlossen, sind unter bestimmten Voraussetzungen (wie z.B. sozialer Akzeptanz der scheinbaren Erinnerung) *konstruierbar*.

Wir halten fest: Erinnerungen sind instabil und konstruierbar. Sie sind stark von unseren Emotionen geprägt, und wir können nicht erkennen, welchen Teil einer Erinnerung wir tatsächlich erlebt und welchen wir selbst erzeugt haben. Unsere Erinnerungen können sogar *falsch* sein. An diesem Punkt zeigte der Kurs besonderes Interesse, denn allein die Verbindung der beiden Worte „falsch“ und „Erinnerungen“ führt zu einiger Verwirrung. Wie können unsere Erinnerungen falsch sein? Die Vorstellung, dass

wir an Ereignisse denken, die sich nicht zugetragen haben, bringt unser Bild von uns selbst ins Wanken, da Erinnerungen die Grundlage der Identitätsbildung schaffen. Wir haben die anderen Akademiebesucher mit der Aufgabe, darüber nachzudenken, wie wir mit diesem Wissen im Alltag umgehen können und was das für uns alle bedeutet, entlassen.

Quellen und Literatur

- *Attentats: images des victimes fuyant le Bataclan*, (14.11.2015, Le Monde/AFP TV, 3 min.), <https://www.youtube.com/watch?v=nXTE2khDoA8>
- Mathias Berek: *Kollektives Gedächtnis und die gesellschaftliche Konstruktion der Wirklichkeit. Eine Theorie der Erinnerungskulturen*, Wiesbaden 2009.
- Aleida Assmann: Wie wahr sind Erinnerungen?, in: *Das soziale Gedächtnis. Geschichte, Erinnerung, Tradierung*, hg. v. Harald Welzer, Hamburg 2001, S. 103-122.
- Sina Kühnel / Hans Markowitsch: *Falsche Erinnerungen. Die Sünden des Gedächtnisses*. Heidelberg 2009.

7.4 Augenzeugenschaft im Genre des historischen Dokudramas

Julia Damrath & Marina Kukina

In der vorherigen Sitzung haben wir erkannt, dass Erinnerungen instabil und konstruiert sind und wir misstrauisch mit ihnen umgehen müssen. Dennoch vertrauen wir den Erinnerungen von Augenzeugen – warum eigentlich? Auf diese Frage gibt es viele Antworten, eine davon ist möglicherweise überraschend und erschreckend: Unsere Wahrnehmung wird immer gelenkt. Selbst Formate, die uns objektiv erscheinen, geben uns eine bestimmte Perspektive vor. Dies trifft auch auf die ZDF-Dokumentation *Das Drama von Dresden* zu, die wir in unserer Sitzung behandelt haben. Um uns der Wahrnehmungslenkung bewusst zu werden, haben wir es zum Ziel der Sitzung gemacht, mithilfe filmtechnischer Analysen die Manipulationen erkennen und bewerten zu können. Als Grundlage haben wir dabei die Theorie eines Rezeptionsästhetikers, Wolfgang Iser, verwendet.

Ein Theorie-Slam zur Eröffnung sollte Iserns anspruchsvolles Konzept erklären und so eine Arbeitsgrundlage schaffen. Obwohl Iser Literaturwissenschaftler ist, haben wir uns im Vorfeld für seinen Text entschieden, da er natürlich ebenso leicht auf das Medium des Films anwendbar ist. Iser ersetzt den üblichen Dualismus aus „real“ und „fiktiv“ durch eine Triade, die noch das „Imaginäre“ beinhaltet. Er beschreibt das Reale als die Ebene der empirischen Lebenswelt, das Fiktive als ein Produkt aus der Verknüpfung von Realem und Imaginärem, wobei letzteres die Ebene der Vorstellungen und Ideen ist, welche auch unseren Erwartungshorizont beinhaltet. Eben dieser ist relevant für die Manipulation im Film, da der Regisseur gezielt mit den Vorstellungen des Publikums spielt. Im Fiktiven wird also eben nicht etwas frei erdichtet (wie es die Bezeichnung vermuten lässt), vielmehr bestätigt dieses Produkt (aus Realem und Imaginärem) die Vorstellungen der Zuschauer – egal, ob diese historisch richtig oder falsch sind.

Den Theorieinput beendeten wir mit einer Vorstellung der Instrumente, die zur Bindung des Adressaten eingesetzt werden: die *Selektion*, die Auswahl von bestimmten realen Aspekten, wie sozialen Systemen oder Weltansichten, welche in der *Kombination* aus dem alten in einen neuen Kontext eingefügt werden, und schließlich noch die *Selbstanzeige*, welche das Medium „offenbart“, indem beispielsweise „Dokumentation“ auf dem Cover steht.

Wir überprüften Iserns Konstruktion am konkreten Fall einer filmischen Produktion, dem *Drama von Dresden*. Dabei handelt es sich um ein Dokudrama von Sebastian Dehnhardt aus der Schule von Guido

Knopp. Nach Iser lässt sich dieses Dokudrama in die Kategorie „Fiktives“ einordnen, da sich in ihm sowohl Reales als auch Imaginäres erkennen lässt, obwohl die Zuschauer es oft nur als real wahrnehmen. Interessanterweise haben auch viele von uns die Tatsache, dass der Regisseur die Erwartungen der Zuschauer aufgreift und die subjektiven, jedoch faktisch falschen Erinnerungen der Augenzeugen gegenüber den Aussagen der Historiker bevorzugt, außer Acht gelassen. Dies konnte man an den „Kundenrezensionen“ ablesen, die wir zu Beginn unserer Sitzung über den Film schreiben ließen. Aussagen wie „gute Stimmungswiedergabe“ oder „Mir gefiel, dass man viele Berichte von Privatpersonen hatte“, sind dabei deutliche Hinweise auf die Lenkung der Rezipienten.

Wie diese Manipulation unserer Einstellungen zustande kam, erarbeiten wir uns in Kleingruppen. Mithilfe von Iser's Werkzeugen (*Selektion, Kombination, Selbstanzeige*) haben wir Szenen aus dem *Drama von Dresden* filmtechnisch analysiert. Uns fiel auf, dass das Dokudrama insbesondere zu Beginn durch die Autorität des Erzählers und eine klare Trennung von Originalaufnahmen, Zeitzeugeninterviews und Spielszenen als möglichst objektive Dokumentation wahrgenommen werden soll. Im Verlauf setzt Dehnhardt jedoch zunehmend auf emotionalere Elemente und lässt Fakten in den Hintergrund treten. Wichtig ist dabei der Schnitt: Originalaufnahmen und Spielszenen gehen ineinander über, und die Zeitzeugen hört man – anders als zu Beginn – über den Spielszenen. Gegen Ende entwickelt sich der Film so immer mehr zu einem regelrechten Drama, vom Objektivitätsanspruch einer Dokumentation ist nichts mehr erkennbar.

Auffällig ist die Rolle der Augenzeugen, die durch ihre Emotionalität den Betrachter gewinnen können, wenn sie zunächst nur über Alltägliches berichten. Parallel zur dramatisierenden Inszenierung der historischen Ereignisse werden dann aber auch die Augenzeugen immer stärker in Szene gesetzt. Ihre subjektiven – und wie wir erfahren haben: unzuverlässigen – Berichte werden von dramatischen Bildern (jetzt fast ausschließlich Spielszenen!) und spannungsreicher Orchestermusik effektiv unterstützt. Am Fall der angeblichen Tiefflieger, die auf Dresdner Flüchtlingstreks Jagd gemacht haben sollen, wird besonders deutlich, wie historische Argumente gegenüber der Emotionalität des Dramas zurückstehen müssen. Der Erzähler gibt Autorität und Deutungshoheit über die Geschichte an die Augenzeugen ab; so verabschiedet sich auch das letzte Stückchen Anspruch auf Objektivität.

Die *Selbstanzeige* des Werkes als „Dokumentation“ baut eine bestimmte Erwartungshaltung auf, nämlich die, eine detailgetreue und möglichst objektive Darstellung zu erhalten. Ohne genaues Hinsehen wird der Zuschauer jedoch in den Bann eines Dramas gezogen, das Filmprodukt wird nicht kritisch hinterfragt. Derartige Verfahren machen aber gezielte Manipulation möglich – und diese ist umso wirksamer, je unscheinbarer sie daherkommt. Wir können hinzufügen, dass solche Manipulationen nicht nur im *Drama von Dresden*, sondern überall in unserer Lebenswelt lauern. Häufig bemerken wir ihren Einfluss nicht, weil wir uns für besonders aufgeklärt und medienkompetent halten. Wir sind im Kurs daher zur Einsicht gekommen, dass wir immer dann, wenn Medien Objektivität für sich beanspruchen, besonders aufmerksam und kritisch hinschauen sollten.

Quellen und Literatur

- *Das Drama von Dresden* (aus der Reihe „Schauplätze der Geschichte“ von Guido Knopp) (2005, Regie: Sebastian Dehnhardt, 89 min.)
- Wolfgang Iser: *Das Fiktive und das Imaginäre. Perspektiven literarischer Anthropologie*, Frankfurt 1993.
- *Germanistik. Sprachwissenschaft – Literaturwissenschaft – Schlüsselkompetenzen*, hg. v. Heinz Drügh u.a., Stuttgart/Weimar 2012.

7.5 Propaganda! Führer, Volk und Charisma bei Max Weber und Leni Riefenstahl

Richard Kettner, Nina Quandt & Dalila Truchan

Wie hilft uns ein soziologisches Konzept der frühen 1920er Jahre, die Propaganda in *Triumph des Willens*, Leni Riefenstahls Film über den Nürnberger Reichsparteitag von 1935, besser zu verstehen? Die Antwort heißt: Max Weber! Der deutsche Soziologe erarbeitete eine Herrschaftssoziologie, in der die „charismatische Führerschaft“ eine der drei Idealtypen legitimer Herrschaft darstellt. Wir haben dieses Modell über die Beziehung zwischen Führer und Volk im Kurs auf Riefenstahls angeblichen „Dokumentarfilm“ in Anwendung gebracht und Erstaunliches herausgefunden.

In der Sitzung haben wir uns zunächst ausführlich mit Webers Konzept der charismatischen Herrschaft beschäftigt. Für ihn setzen sich die für einen charismatischen Führer notwendigen Eigenschaften sowohl aus individuellen wie aus vom Volk zugeschriebenen Aspekten zusammen. Zu den individuellen zählen außeralltägliche Persönlichkeitsmerkmale wie zum Beispiel Mut oder Härte; aber auch politische Eigenschaften wie beispielsweise Skrupellosigkeit gehören zum Repertoire eines charismatischen Führers. Außerdem braucht dieser eine Vision, revolutionäres Potential und nicht zuletzt auch die Fähigkeit, Krisen zu überwinden. Auf der Seite der zugeschriebenen Eigenschaften steht ganz vorn die Verkörperung der Wünsche und Hoffnungen des Volkes. Weiter wird dem charismatischen Führer zugeschrieben, im „Geist des Volkes“ zu handeln und die „tiefere Wahrheit“ der Gesellschaft zu kennen. Das Charisma wird, wie es die etymologische Herleitung aus dem griechischen, „Gnadengabe“, nahelegt, vom Volk verliehen. Derjenige, dem das Volk Charisma verleiht, ist „auserwählt“. In der Folge wird dem charismatischen Führer Vorbildfunktion zugestanden.

Von besonderem Interesse sind zwei weitere Eigenschaften, die der charismatische Führer sowohl selbst besitzen als vom Volk zugeschrieben oder bestätigt bekommen muss: Einmal sollte er erfolgreich sein, da er ohne Erfolg einerseits nicht regieren könnte, der Erfolg andererseits aber auch für alle erkennbar sein muss. Zweitens sollte er authentisch sein, das heißt, er muss als Teil und Vertreter seines Volkes wahrgenommen werden. Diese Authentizität macht ihn glaubwürdig, doch letzten Endes liegt sie im Auge des Betrachters, also des Volkes, das ihn als authentisch wahrnehmen muss.

Der Idealtypus der charismatischen Führerschaft ist nicht voraussetzungsfrei. Damit ein Volk sich einen charismatischen Führer erwählt, müssen bestimmte gesellschaftliche Vorbedingungen gegeben sein. Zu diesen gehören stets gesellschaftliche Probleme: politische und ökonomische Unzufriedenheit oder Verzweiflung, Aussichtslosigkeit, Krisen oder fehlende Struktur. Aus diesen ergeben sich dann bestimmte gesellschaftliche Charakteristika: Das Volk wird Hoffnung hegen, dass sich die Lage bessert und dass seine Wünsche erfüllt werden. Es wird mehr Bereitschaft zu Gehorsam und Treue zeigen. Es wird williger sein, in einem Führer die genannten besonderen Fähigkeiten zu erkennen. Zuletzt ist für Webers charismatische Herrschaft ein Nationalgefühl zwingend notwendig, da der Führer das Volk sonst nicht zur Nation vereinen kann, über die er sich legitimiert. Wenn das Volk schließlich die entsprechenden Eigenschaften auf den Führer projiziert, wird es persönliche Hingabe an eben diese Führerfigur zeigen sowie Hoffnung und Erregung mit der Führerfigur verbinden.

In der Sitzung haben wir den Film *Triumph des Willens* von Leni Riefenstahl auf die filmischen Mittel hin untersucht, mit deren Hilfe Hitler als charismatischer Führer dargestellt wird. Dafür haben wir vor allem die Kameraführung, den Ton und die Montage in ausgewählten Szenen des Films betrachtet. In der Kameraführung fallen vor allem die heroische Perspektive, die zentrale, erhöhte Position, die besondere Anleuchtung („Erleuchtung“) Hitlers und der „over-the-shoulder-shot“, also das Filmen über Hitlers Schulter, als seine Position unterstreichende Merkmale auf. Bezüglich des Tones fiel auf, dass es in den Szenen außerhalb der Reden wenig Text gibt – Musik oder noch häufiger die Geräusche der jubelnden Massen machen hier die Tonspur aus. In der Montage erkannten wir schnell den Gebrauch gezielter Schnitte zwischen Hitler und den Zuschauern, die eine Verbindung zwischen Führer und Volk herstellen sollen.

Die spannendsten Entdeckungen in *Triumph des Willens* lassen sich machen, wenn man als Betrachter die (gewollte) Fixierung auf Hitler ablegt und die Darstellung „seines“ Volkes analysiert. Viele Großaufnahmen von jubelnden Menschen, vor allem aber von glücklichen Kindern sollen empathische Reaktionen auslösen und zudem Konzepte wie Hoffnung und Zukunft assoziieren. Panoramaaufnahmen in Kombination mit Schwenks verdeutlichen die Größe dieses Massenphänomens und lösen Gefühle von Einheit und Gemeinschaft aus. Um die Deutung der Massenbilder zu steuern, werden diese durch schnelle Schnitte mit Nahaufnahmen von Individuen abgewechselt, deren am Gesicht ablesbare Emotionen durch den Zuschauer so auf die gesamte erregte Masse übertragen werden können.

Am wichtigsten sind jedoch vielleicht die vielen Aufnahmen aus der Perspektive der Masse. Hier sind nicht nur die bekannten und vielzitierten Hinaufsichten zu einem übermenschlich erhöhten Führer zu nennen – auch die haben wir untersucht –, sondern vor allem viele Szenen in der Masse auf die Masse. Der Zuschauer von Riefenstahls Film kann so die Erregung der Zuschauer auf dem Reichsparteitagsgelände in direkter Nähe sehen und erleben, kann sie spüren, mitempfinden – und für sich annehmen. Wenn wir daran denken, dass *Triumph des Willens* natürlich in Kinosälen in ganz Deutschland aufgeführt wurde, dann haben die Zuschauer diesen Film ihrerseits als Teil einer Masse erlebt. Der Gedanke liegt nahe, dass die angeblich unpolitische Regisseurin mit diesen Techniken – gezielt und von durch und durch propagandistischer Absicht getragen – die Zuschauer überall in Deutschland zu einer Erweiterung jener Masse von Nürnberg machen wollte, die ihren Führer bereits gefunden hatte.

Quellen und Literatur

- *Triumph des Willens* (1935, Regie: Leni Riefenstahl, 114 min.)
- Frank Möller: Zur Theorie des charismatischen Führers im modernen Nationalstaat, in: *Charismatische Führer der deutschen Nation*, hg. von Frank Möller, München, 2004, S. 1-18.

7.6 Rassismus! Zur Konstruktion von Schwarz & Weiß in *Birth of a Nation*

Armin Dashti & Moritz Gleditzsch

Der Film *The Birth of a Nation* (von G.W. Griffith) ist eindeutig als rassistisches Machwerk zu klassifizieren. Er erzählt die Geschichte des Amerikanischen Bürgerkriegs und der Gründung des Ku-Klux-Klans als notwendige Konsequenz aus den rassistischen Unterschieden von schwarzen und weißen Amerikanern. Die Zeit vor der Aufhebung der Sklaverei wird als ein geordnetes Idyll dargestellt, in dem jeder seinen Platz kennt. Dieses Idyll wird durch das Ende der Sklaverei zerstört, der Bürgerkrieg bricht aus, und die weiße Bevölkerung der Südstaaten muss sich vor der Bedrohung durch „marodierende Horden“ von Schwarzen fürchten. Schließlich wird durch das Eingreifen des Ku-Klux-Klans der schwarze Mob wieder in seine Schranken verwiesen.

Doch wie erfährt der Rezipient diese (explizite) Art der Darstellung, in der die Afroamerikaner im Vergleich zur weißen „Rasse“ so negativ in den Vordergrund (des Films) gerückt werden? Die Antwort ist simpel und komplex zugleich – durch die Bilder. In unserer Sitzung stand die Betrachtung der Bilder im Mittelpunkt. Jede untersuchte Szene wird durch bestimmte Kameraeinstellungen in ihrer Wirkung(-weise) unterstützt. Die Ausgestaltung der Bilder transportiert Suggestionen und Symboliken und bewirkt eine Manipulation, welche der Rezipient nicht aktiv wahrnimmt, die aber soweit führt, dass ein weißer Schauspieler, der schwarz angemalt ist („blackfacing“), vom Zuschauer als schwarz identifiziert wird.

Schon in der Form, in der die afroamerikanische Bevölkerung der Südstaaten dargestellt wird, liegt die rassistische Agenda des Filmes weitgehend offen. Werden Afroamerikaner einzeln dargestellt, so erscheinen diese oft in einer überbeugten, an Affen erinnernden Körperhaltung, was besonders in einer

Tanzszene zu Beginn des Filmes sehr deutlich zu sehen ist. Ebenso deuten unpassende Musterkombinationen in durchweg ungepflegter Kleidung bereits in der Darstellung der Vorbürgerkriegszeit an, dass die Afroamerikaner nicht den kulturellen Stand der Weißen haben. Während der Kriegszeit werden selbst die uniformierten schwarzen Soldaten der Nordstaaten nie in intakten Kleidern dargestellt, stattdessen hängen Uniformjacken in Fetzen an ihren Oberkörpern und bedecken diese nur spärlich. Diese Wirkung wird auf filmischer Ebene durch die Kameraperspektiven subtil unterstrichen. Sind weiße Akteure im Bild zu sehen, so befindet sich die Kamera mit ihnen auf einer Ebene – dem Zuschauer wird suggeriert, dass er sich mit diesen auf Augenhöhe befindet. Werden jedoch Afroamerikaner dargestellt, so befindet sich die Kamera zumeist in einer Aufsicht – dem Zuschauer wird suggeriert, dass er über den im Film Handelnden stehe.

Am deutlichsten wird der Rassismus des Filmes allerdings, wenn man genauer betrachtet, wem überhaupt eine individuelle Identität, also ein Gesicht zugesprochen wird. Während nicht nur die weißen Protagonisten, sondern nahezu alle im Bild auftauchenden Weißen ein erkennbares und identifizierbares Gesicht haben, besitzen ein solches nur eine Handvoll Afroamerikaner im Film. Dies wird in den großen Massenszenen gegen Ende des Filmes geradezu frappierend. Während die weißen Opfer des Mobs mit dem Gesicht in Richtung Kamera ausgerichtet sind, steht dieser mit dem Rücken zu Kamera, weshalb keine Gesichter zu sehen sind.

Griffith konnte sich allerdings nicht nur die Kameraperspektive zu Nutze machen – es gab auch eine Schwäche des Filmmaterials an sich. Filme waren bis zur Erfindung der digitalen Bilderzeugung eine Zusammenstellung lichtempfindlicher Chemikalien, die auf einem Trägermaterial aufgetragen waren. Während des Filmens wurden diese Chemikalien dann belichtet und erzeugten ein Negativbild, das beim Entwickeln fixiert und in ein Positivbild umgewandelt wurde. Um helle Oberflächen deutlich darzustellen, brauchte es eine relativ kurze Belichtungszeit, damit der Film nicht überbelichtet und damit zerstört wurde. Um dunkle Oberflächen kontrastreich darzustellen, musste dagegen recht lange belichtet werden. Will man mit einem Schwarz-Weiß-Film also Schauspieler mit unterschiedlichen Hautfarben abbilden, wird es zu einer schier unlösbaren Aufgabe, alle gleichermaßen kontrastreich darzustellen, sodass die Gesichter gleich gut zu erkennen sind. Eine Problematik, die Griffith in seinem eigenen Sinne löste: Sind bei ihm Schwarze und Weiße in einer Szene zu sehen, so sind nur Weiße kontrastreich abgebildet, während die schwarzen Gesichter beinahe eine amorphe Masse bilden.

Doch das wichtigste Mittel, mit dem Griffith arbeiten konnte, und zugleich der schlagendste Beweis dafür, dass der rassistische Kern des Films bis heute Wirksamkeit entfalten kann, liegt in der etablierten Konstruktion eines diachronen Weltbildes. Eine bereits existierende kategoriale Einteilung teilt die Menschen im Film in zwei Rassen, obwohl erkennbar nur „weiße“ und schlecht angemalte „weiße“ Schauspieler mitwirken. In dem Moment, in dem wir die rassistische Darstellung „der Weißen“ und „der Schwarzen“ in *Birth of a Nation* kritisieren, rufen wir eine wissenschaftlich nicht haltbare, aber historisch in unserer Kultur verankerte Einteilung in „Weiß“ und „Schwarz“ bei uns ab – und handeln damit bereits rassistisch. Wie erkennen wir sonst im „Blackfacing“ einen schlecht geschminkten hellhäutigen Schauspieler als Repräsentanten von Afroamerikanern an?

Quellen

- *Geburt einer Nation* (1915, Regie: D. W. Griffith, 165 min.) [orig. *The Birth of a Nation*]
- <http://www.zfmedienwissenschaft.de/online/blog/instagram-racism-die-neue-alte-shirley-card>

7.7 Der Mythos der 300 und seine Rezeption in der Populärkultur

Natascha Janho & Dalila Truchan

Um 480 vor Christus stellten sich 300 Spartiaten im vollen Bewusstsein der Konsequenzen einer persischen Übermacht entgegen und opferten sich bis auf den letzten Mann für ihre Heimat. Dieser antike Mythos wird in zahlreichen Epochen der Geschichte rezipiert, sowohl in der Kunst und Kultur als auch im militärischen und politischen Kontext. Beispiele dafür finden wir im Gedicht von Schiller oder den Griechenliedern von Wilhelm Müller, aber auch in den Befreiungskriegen gegen Napoleon oder der Rede Görings nach der Niederlage in Stalingrad. Der Mythos der 300 hat den Charakter eines Vorbilds. Der Opfermythos der 300 ist so konstruiert, dass Ideale, Werte und Heimatland der völligen Selbstaufgabe des Individuums durch den Opfertod einen Sinn geben. Die Opfer werden damit zu Helden stilisiert. Dieser heroische Charakter der 300 wird auch in der Darstellung im gleichnamigen Film von Zack Snyder deutlich – und eine stark kontrastierte Darstellung der Perser verstärkt diesen Eindruck. Wenn man die Darstellung der Perser betrachtet, ist es kein Wunder, dass dieser Film im Iran für Empörung sorgte. In unserer Sitzung haben wir uns mit verschiedenen Zeitungsartikeln beschäftigt, welche iranische Einstellungen aus Politik und Gesellschaft zu *300* repräsentierten. *300* stelle „die Iraner als Dämonen, ohne Kultur, Gefühl oder Menschlichkeit“ dar (Lau). Der Film sei antiiranische Propaganda Amerikas und „ein weiterer Versuch, das iranische Volk und seine Zivilisation in den Augen der Weltöffentlichkeit anzuschwärzen, in einer Zeit zunehmender Drohungen gegen den Iran“. Der Botschafter des Irans selbst reichte eine formelle Beschwerde bei der UN ein. In einem Time-Artikel beschreibt der Journalist Azadeh Moaveni die Stimmung in Teheran, als der Film in die Kinos kam. Vor allem die Beleidigungen des kulturellen Erbes und des Nationalstolzes machten die Menschen wütend, auch wenn sie den Film selbst nie gesehen hatten. Die Spartiaten werden als gutgebaute Heldenfiguren dargestellt, die tapfer für Ideale wie Freiheit, Pflicht und Ehre bereitwillig in den Tod gehen. Die Perser hingegen sind Eroberer, die in Griechenland einfallen und Sparta mit Sklaverei und Zerstörung bedrohen. Das persische Heer in *300* besteht aus Sklaven und deformierten Gestalten und macht damit die Spartaner, die für Vaterland und Familien kämpfen, viel sympathischer. Wie eigenartig, lehnten die historischen Perser doch die Sklaverei ab und hielten erstmalig in der Geschichte Menschenrechte schriftlich fest, wohingegen in der spartanischen Gesellschaft Sklaverei fest verankert war.

Auch sonst teilt der Film Spartaner und Perser deutlich in die Kategorien von „gut“ und „böse“ ein. Der spartanische König Leonidas kämpft Seite an Seite mit seinen Hoplitern in der vordersten Reihe; Großkönig Xerxes verbringt seine Zeit mit missgestalteten Lesben und schickt Horden von Sklaven und wilden Bestien in den Kampf. Wenn er mit den Leistungen seiner Heerführer nicht zufrieden ist, lässt er sie köpfen. Er bezeichnet sich selbst als Gottkönig. Er benimmt sich heuchlerisch, grausam und Größenwahnsinnig. Die Perser im Film sind mit Schmuck überhäuft, stark geschminkt, effeminiert, haben missgestaltete Gesichter und sind nicht selten verkrüppelt. Äußere Gestalt und charakterliches Inneres bilden in Snyders *300* eine Einheit.

Demgegenüber werden die Spartaner fast nackt dargestellt, nur mit ledernem Lendenschurz und rotem Cape bekleidet, wodurch ihre durchtrainierten Körper zur Schau gestellt werden können. Sie bewegen sich viel in Zeitlupe, ihre Bewegungen sind elegant und wirken fast wie ein Tanz. Der ästhetische Anspruch, der im Film vor allem auch in den Gewaltszenen deutlich zu erkennen ist, erinnert stark an Leni Riefenstahl – bis hin zu bildlichen Referenzen. So weist zum Beispiel die Darstellung des Speerwerfers aus ihrem Film *Olympia* (von 1938) starke Ähnlichkeiten mit den Bildern aus *300* auf. Jenseits der inhaltlichen Aussagen liefern diese Bilder ein weiteres Indiz dafür, dass der Film nicht nur propagandistisch ist, sondern auch als faschistoid gelesen werden kann. Wir konnten leicht feststellen, dass

der Film *300* rassistische Elemente aufweist. Er ist polarisierend und voller Propaganda. Selbst wenn hier keine formulierte Intention des Regisseurs liegt, können all diese Elemente auch vom Zuschauer erkannt und gelesen werden. Und betrachtet man, auf wen die propagandistische Verwendung des Mythos‘ der 300 in der Vergangenheit wirken sollte, so richtete sich die Propaganda grundsätzlich auf die Einschwörung der eigenen Bevölkerung. Die iranische Kritik an Snyders 300 liegt also insofern falsch, als dass es sich eben nicht um Propaganda gegen den Iran handelt – so wie in den Befreiungskriegen auch nicht in erster Linie Propaganda gegen Frankreich oder in Görings Rede gegen die Sowjetunion betrieben wurde. Dieser Mythos der *300* propagiert die Ideale der westlichen Gesellschaft. Er richtet sich an die Bevölkerung der westlichen Welt und präsentiert ihnen den Durchhaltewillen, aber auch den Opfertod der Helden als Vorbild. Wir fragen uns: Auf welches Opfer will uns der Film einschwören?

Quellen und Literatur

- *300* (2006, Regie: Zack Snyder, 117 min.)
- *300 – The Frank Miller Tapes: Unfiltered Conversations with Frank & Friends* (2007, Warner Bros., 14 min.), <https://www.youtube.com/watch?v=ejgSp9xarzc>
- Azadeh Moaveni: 300 Sparks an Outcry in Iran, in: *TIME (online)*, 13. März 2007, <https://web.archive.org/web/20070316101637/http://www.time.com/time/world/article/0,8599,1598886,00.html?cnn=yes>
- Robert Tait: Spartans film is psychological war, says Iran, in: *The Guardian (online)*, 15. März 2007 <https://www.theguardian.com/world/2007/mar/15/film.iran>
- Mariam Lau: Ein Sandalen-Film reizt den Iran bis aufs Blut, in: *Die Welt (online)*, 2.4.2007, <http://www.welt.de/politik/article789452/Ein-Sandalen-Film-reizt-den-Iran-bis-aufs-Blut.html>
- Jörg von Brincken: *Ganz schön gewaltige Bilder. Zack Snyders Film 300* (Vortrag vom 26.01.2009), http://www.medienobservationen.lmu.de/artikel/kino/kino_pdf/brincken_300.pdf

7.8 Ironie & Pathos: Crossmediale Betrachtungen zu einem literaturwissenschaftlichen Konzept

Zoé Phillips & Dalila Truchan

„Snyders Film ist nur wie das Gegenstück zu einer Heavy-Metal-CD: ein fettes, düster stilisiertes und standardisiertes Paket aus Testosteron, Pathos, Horror und Fantasy“ schreibt die *Berliner Zeitung*. Der Film *300* basiert auf der gleichnamigen Graphic Novel von Frank Miller (1998). Beide Werke sind Beispiele für eine populärkulturelle Ausformung des antiken Mythos. Obwohl Regisseur Zack Snyder ausdrücklich betont, sein Film sei eine exakte Kopie der Graphic Novel, findet man dennoch auf Anhieb strukturelle Unterschiede. In unserer Sitzung haben wir diese Veränderungen analysiert und dabei festgestellt, dass die Verwendung des Pathos eine wichtige Rolle spielt.

Aber was ist Pathos überhaupt? Und in welcher Form ist er in Snyders Film zu finden? Obwohl die Wörter „Pathos“ oder „pathetisch“ bei der Bewertung von Filmen regelmäßig erscheinen, bleibt ihre Bedeutung dennoch oft unklar. Die Etymologie des Wortes weist auf den Ausdruck „Leiden(-schaft)“ hin und legt damit nahe, Pathos als eine bestimmte Weise zu definieren, etwas zu formulieren, darzustellen oder zu erzählen. Um dies zu verdeutlichen, haben wir die Sitzung an der Gedenktafel im Zwinger der Burg begonnen. Dort weist der Satz „Dieses Haus ist auf altem Grunde verwandelt zur Besinnung“ auf bedeutungsvolle Umbauarbeiten und Neuorientierung hin, die den Umbruch nach einer NS-geprägten Zeit markieren. Durch Kontext, Formulierung und Auswahl der Wörter erfährt der Satz

pathetische Aufladung.

Auch in Millers Graphic Novel findet man Paradebeispiele für pathetische Inhalte: Konzepte wie Ehre, Ruhm, Treue, Tapferkeit und Vernunft stehen dabei im Vordergrund. Zack Snyders Version steigert durch zusätzliche Storyelemente wie Leonidas innige Liebe zu seiner Frau den Pathos noch. Hier wird besonders deutlich, wie der Pathos Emotionalität in einzelnen Worten oder Gesten zum Ausdruck bringen, Leidenschaft in verschiedenen Formen verkörpern und Atmosphäre kreieren kann. Besonders interessiert hat uns natürlich die filmische Umsetzung des Pathetischen. An markanten Szenen von Snyders *300* haben wir einige Merkmale erarbeitet: Wir stellten zum Beispiel fest, wie der Voice Over mit der Stimme des einzig Überlebenden der Schlacht, Delios, als pathetische Rede genutzt wird, die die begleiteten Szenen unterstreicht. Ein anderes Mittel besteht im gezielten Einsatz der Beleuchtung der Protagonisten, um diese hervorzuheben oder emotionale Stimmungen zu produzieren. Gefühlvolle oder mitreißende Musikstücke verdeutlichen die dargestellten Emotionen. Und die Slow Motion lässt jede gewalt(tät)ige Szene natürlich noch gewaltiger erscheinen.

Wir haben gelernt, „Pathos“ als Begriff zu verwenden, der nicht wie im alltäglichen Gebrauch bloß einer negativen Bewertung dient, sondern ein Stilmittel beschreibt, das in uns Gefühle wachrufen und dem Autor/Regisseur die Möglichkeit geben soll, mit seinem Publikum auf einer weiteren Ebene zu kommunizieren. Erst nachdem uns die Bedeutung des Pathos in seiner Komplexität klarer geworden war, konnten wir uns einem anderen Schlüsselbegriff nähern, der eng in Verbindung mit dem Pathos steht: die Ironie.

Um die Wirkung der Ironie zu erfahren, versuchten wir uns an einer theatralischen Darbietung: Drei Freiwillige sollten uns einen ohnehin schon pathetischen Text möglichst pathetisch vortragen. Der Monolog des Protagonisten, dessen Liebste ihn verlassen hatte, war getränkt von Eifersucht, Leiden, Rachsucht und Wut. Dennoch waren wir als Publikum nicht ergriffen, sondern brachen in Gelächter aus. Bei der Antwort auf die Frage, warum wir diesen Pathos nicht empathisch miterlebt, sondern humoristisch aufgefasst hatten, waren wir uns zunächst einig: Die Darstellung wirkte auf uns übertrieben und aufgesetzt. Als wir uns danach aber Szenen aus *300* anschauten, fiel uns noch mehr als zuvor auf, dass auch da das „Übertriebene“ sehr präsent war und uns dennoch nicht zum Lachen reizte. Nicht die Übertreibung (allein) machte für uns also die Ironie aus; der Unterschied bestand vielmehr darin, ob wir als Rezipienten den Pathos für glaubwürdig hielten und ihn annahmen. Im pathetischen Setting des Films hatte dies funktioniert, bei unserer Inszenierung im Zwinger der Burg nicht.

In unserer Analyse unterschieden wir zwei typische Erscheinungsformen der Ironie. Sie kann sich etwa zeigen, wenn eine pathetische Szene durch Humor „gebrochen“ wird oder wenn der Pathos zu weit getrieben oder im falschen Kontext eingesetzt wird, so dass er in Ironie „kippt“. Im Gegensatz zum alltäglichen Verständnis von Ironie und Pathos konnten wir feststellen, dass beide keine konzeptionellen Gegensätze darstellen, sondern einander sogar verstärken oder wechselseitig bedingen können. Gutes Material zur Untersuchung lieferte uns dafür Millers *300*, denn die Graphic Novel ist voller Ironie – welche Snyders Film fehlt. Miller spielt Ironie und Pathos auf vielfältige (und oft subtile) Art gegeneinander aus und macht ironische Angebote in der Begleitung pathetischer Bilder. Wenn das Gelingen von Ironie jedoch davon abhängt, dass ein Rezipient nicht mehr bereit ist, den Pathos zu akzeptieren, dann wird am Ende auch Snyders Überzeugung erklärlich, sein Film kopiere bloß Millers Bilder: Wer beliebig viel Pathos ertragen kann, bleibt unempfänglich für Ironie. Viele von uns hingegen hatten nach der Arbeit an der Graphic Novel das Problem, dass sie auch den Film nur noch ironisch wahrnehmen konnten...

Quellen und Literatur

- *300* (2006, Regie: Zack Snyder, 117 min.)
- Frank Miller / Lynn Varley: *300*, Dark Horse Comics 1999.
- Anna Pawlak: Leonidas zwischen Heldentod und medialer Auferstehung. Zur (De-)Konstruktion eines antiken Heroen in Film und Comic der Gegenwart, in: *Kritische Berichte* 39.1 (2011), S. 34–50.
- Christian Schmitt: *Kinopathos. Große Gefühle im Gegenwartsfilm*, Berlin 2009.
- Anke Westphal: Ein flottes Heavy-Metal-Massaker im antiken Ambiente: "300" von Zack Snyder. Bommelperser greifen an, in: *Berliner Zeitung (online)*, 4.4.2007, <http://www.berlinerzeitung.de/ein-flottes-heavy-metal-massaker-im-antiken-ambiente---300--von-zack-snyder-bommelperser-greifen-an-15672818>
- *Honest Trailers – 300* (2014, Screen Junkies, 4 min.), <https://www.youtube.com/watch?v=B3Yb0Do7ieQ>

7.9 Das Übersetzer-Dilemma im Historienfilm: Geschichte „wortgetreu“ oder „sinngemäß“?

Sarah Greilich & Franziska Bank

Geschichte lässt sich nicht in einem Film darstellen! Aber warum? Liegt es am Medium Film? Oder an „der Geschichte“ selbst? Was ist überhaupt „Geschichte“? Und warum macht es Sinn, sich mit dem Übersetzerdilemma auseinander zu setzen, wenn sich die Geschichte doch gar nicht „richtig“ übersetzen lässt?

Unter „Geschichte“ versteht man die vergegenwärtigte Vergangenheit, d.h. unseren Versuch, uns anhand von überlieferten Quellen das zu erschließen, was passiert ist.

Der Begriff Übersetzerdilemma beschreibt ursprünglich die Schwierigkeiten der Übertragung von Inhalten aus einer Sprache in eine andere. Dabei geht immer Bedeutung verloren, da Wort-für-Wort-Übersetzungen nicht möglich sind. Dadurch kommt aber beim Übersetzen gleichzeitig auch immer neue Bedeutung hinzu. Gleichartiges gilt für die Übertragung von einem Medium in ein anderes, wobei hier vor allem bestimmte mediale Eigenheiten zum Tragen kommen. So vereint beispielsweise der Film mehrere darstellerische Ebenen, etwa die des Tons und die der Bilder. Im Kurs haben wir uns damit beschäftigt, wie im „Historienfilm“ die historischen Inhalte (gewonnen aus der Überlieferung der Quellen) in einen Film „übersetzt“ werden, wobei erwartungsgemäß einige Aspekte verloren gehen, während im gleichen Maß neue hinzukommen.

Obwohl eine hundertprozentig authentische Übertragung geschichtswissenschaftlicher Inhalte in den Film gar nicht möglich ist, wird an Historienfilmen – insbesondere auch von HistorikerInnen – immer wieder kritisiert, sie seien nicht historisch „authentisch“. Ein gutes Beispiel dafür liefert Ridley Scotts *Kingdom of Heaven* aus dem Jahr 2005, der von einigen Kritikern als „unhistorisch“ und von anderen als „ahistorisch“ beschrieben wurde. Wir haben uns daher besonders mit seiner historischen „Authentizität“ auseinandergesetzt und untersucht, inwieweit die filmische Darstellung von Ereignissen und Personen von der „Realität“ des historischen Konventionswissens abweicht. Dabei haben wir festgestellt, dass einige der Figuren historisch „authentischer“ erscheinen als andere; Ähnliches gilt auch für die im Film dargestellten Ereignisse.

Um neben der Theorie selbst einmal praktisch mit dem Übersetzerdilemma konfrontiert zu werden, haben wir uns schließlich eine Filmszene ausgesucht und diese in ein Drehbuch „übersetzt“. Während dieses Übersetzungsvorgangs sind wir zahlreichen Schwierigkeiten begegnet, die es zum Teil beinahe

unmöglich gemacht haben, diese Szene in ihrer Gesamtheit (Bilder, Ton, Stimmung, Emotionen) in eine schriftliche Form zu übertragen. In vielen Fällen mussten auch wir uns entscheiden, ob wir die Inhalte der Szene nun „wörtlich“ oder „sinngemäß“ übertragen. Genau diese Entscheidung müssen auch Drehbuchautoren und Regisseure als „Übersetzer“ treffen. Dabei haben sie nicht nur zu berücksichtigen, dass (Hollywood-)Filme andere Erwartungen hervorrufen als Dokumentationen oder Reportagen – Historienfilme müssen zumindest zu einem Teil auf historischen Fakten basieren. So hat sich Ridley Scott in *Kingdom of Heaven* für die Darstellung eines „guten“, toleranten und friedlichen Saladin statt der eines „bösen“ und feindseligen entschieden. Interessant dabei ist, dass es tatsächlich beide in der historischen Überlieferung gibt, Scott sich aber für eine entscheidet, ja sogar entscheiden muss. Wieder fallen also Inhalte und Bedeutungen weg, während dafür neue Aspekte hinzukommen, in diesem Beispiel vor allem auf der Ebene der Ausdrucksmöglichkeiten für die Sensibilität und den Respekt des Sultans gegenüber der christlichen Kultur.

Dabei ist ganz klar festzuhalten, dass ein Film nicht schlecht sein muss, nur weil er nicht komplett historisch „authentisch“ sein kann. Schließlich hat jeder von uns durch sein Vorwissen und seine medialen Erfahrungen geradezu zwangsweise eine eigene Sichtweise auf die Geschichte, die er natürlich gerne vermitteln beziehungsweise – im Falle des Betrachters – bestätigt sehen möchte. An unserem (meist unbewussten) Erwartungshorizont messen wir zwangsläufig alle neuen Wahrnehmungen zu einem Thema – das bereits Aufgenommene bestimmt die Aufnahme des Neuen. Dies führt dazu, dass kein Film in seiner Darstellung „neutral“ sein oder so betrachtet werden kann. Immer werden auch Interpretationen übertragen, in *Kingdom of Heaven* sind dies vor allem das Helden- und das Feindbild. Auf diese Weise prägen Filme unsere Vorstellungen von Geschichte, können unsere Geschichtsbilder grundlegend verändern oder sogar erst erschaffen. Generell bietet das Medium des Historienfilms eine eindrucksvollere, lebendigere und emotionalere Darstellung der Vergangenheit als andere Quellenarten. Aus diesem Grund werden Historienfilme inzwischen auch in der Schule nicht immer nur zum Vergnügen eingesetzt.

Zuletzt haben wir also den Anspruch an einen Film, die Geschichte historisch „authentisch“ darzustellen, grundsätzlich in Frage gestellt. Denn wie soll ein Film etwas historisch authentisch abbilden, wenn es so etwas wie historische Authentizität gar nicht gibt? (Ja, denn das Problem des Übersetzers stellt sich natürlich auch schon bei der Übertragung von Inhalten aus den historischen Quellen in die Darstellungen der Geschichtswissenschaft!) Welchen Sinn machen dann solche Filme, wenn ihnen zwangsläufig historische Inhalte und Bedeutungen verlorengehen? An dieser Stelle kommen wir noch einmal auf den Kern des Übersetzerdilemmas zurück, nämlich dass bei einer Übersetzung immer Aspekte verloren gehen, aber auch neue hinzukommen: Der Filmemacher interpretiert also seinerseits die „Geschichte“ der Wissenschaft, indem er Ergänzungen vornimmt, dem Betrachter vielleicht neue Bezüge aufzeigt und neue, individuelle Gewichtungen vornimmt. Er schafft damit neue „Geschichte“, wobei entscheidend ist, dass er es eben auf andere Weise, in den erweiterten Ausdrucksmöglichkeiten eines anderen Mediums als die Wissenschaft tut – und damit die Chance hat, die „alte“ Geschichte näher an den Zuschauer zu bringen. Wenn ein Werk wie *Kingdom of Heaven* das oft viel klüger und „authentischer“ tut als seine Kritiker, wäre dann für unser Thema der Begriff Übersetzer *chance* nicht passender?

Quellen und Literatur

- *Königreich der Himmel* (2005, Regie: Ridley Scott, 144 min. [Director 's Cut: 190 min.]) [orig. *Kingdom of Heaven*]
- William Monahan: *The Kingdom of Heaven. Early Draft*, c. 2005, http://www.dailyscript.com/scripts/The_Kingdom_of_Heaven.pdf
- Peter Thorau: *Die Kreuzzüge* (Beck Wissen), München 2013.
- Nikolas Jaspert: *Die Kreuzzüge* (WBG kompakt), 6. Auf., Darmstadt 2013.

7.10 Wie Filme Geschichtsbilder formen: das Beispiel *Kingdom of Heaven*

Esther Twardella & Franziska Bank

Unsere Eindrücke zu „der Geschichte“ speisen sich aus zahllosen Quellen, die wir – bewusst oder unbewusst – verinnerlichen, deren Eindrücke wir in uns aufnehmen. Besonders wirkmächtig ist dabei der durch Filme geschaffene Geschichteindruck, weswegen wir uns in unserer Sitzung ausführlich mit dem Historienepos *Königreich der Himmel* von Ridley Scott beschäftigt haben. Wir fragten uns, wie die durch Farben, Ton und Kameraeinstellungen im Medium Film vermittelten Eindrücke Einfluss auf „Geschichtsbilder“ nehmen können. Einen besonderen Schwerpunkt haben wir bei dieser Untersuchung auf Farben und Kostüme gelegt: Welche Wirkung haben sie auf uns? Was rufen sie in uns hervor? Welche Bilder erzeugen sie in uns?

Wir begannen bei einem exemplarisch ausgewählten Stich des Malers und Grafikers Gustave Doré (1832-1883), der in minutiösem Detail und wirkmächtigem Bildaufbau stark Scotts Filmbildern ähnelt. Hinsichtlich seiner Bildästhetik und der Bildkomposition konnten wir nachvollziehen, wie Scott sich für die Bildsprache seines Films an den berühmten Doré-Stichen orientiert hat. Über die Betrachtung dieser „schwarz-weißen“ Stiche gelangten wir zur Rolle der Farben im Film: Anhand ausgewählter Bilder analysierten wir ihre emotionale und assoziative Wirkung und setzten sie mit ihrer Symbolik in den inhaltlichen Kontext des Films. Wir verfolgten die Fragen, warum ausgerechnet bestimmte Farben eingesetzt wurden, welchen „Aussage“-Zweck wir mit ihrem Einsatz verbinden können und wie sich diese Aussagen in die sie ergänzenden medialen Eindrücke einfügen.

Bei der Farbe Blau etwa fiel uns ins Auge, dass sie vor allem für „Jerusalem“ steht: Sie wird verwendet bei der Darstellung der Stadt wie auch in häufigen Panorama-Aufnahmen mit viel Himmel. Die so geschaffene Assoziation von Blau mit Jerusalem, dem *Königreich der Himmel*, kann dann in Details (wie der ungewöhnlichen Kleiderfarbe der königstreuen Ritter) abgerufen werden. Gegenüber dieser „harmonischen“ Verwendung einer Farbe zeigt das Beispiel Rot eine andere Einsatzmöglichkeit: zum Aufbau oder zum Ausdruck von Spannungen. Rot ist einerseits die Farbe von Sybilla, der Lieb- schaft des Protagonisten, und wird eingesetzt, um Liebe, Leidenschaft und Verführung zu vermitteln. Andererseits findet sich dieselbe Farbe auch auf dem Gewand der Tempelritter und vor allem beim Antagonisten Guy de Lusignan – der außerdem auch noch Sibyllas Mann ist! Dort steht sie für Ag- gressivität, Opfertod und brutales Blutvergießen. Aber noch mehr ist mit Farben möglich: Saladin, der Sarazenenherrscher, ist meistens in der Farbe Schwarz gekleidet, wodurch er in unseren Augen seriös und stark wirkt. Interessant hierbei ist allerdings, dass Schwarz im Islam die Farbe der Rache ist, und diese Rache wird auch im Film zitiert als das Versprechen, das Saladin seinen Anhängern gegeben hat: Jerusalem wiederzuerobern. Seine Darstellung in *Kingdom of Heaven* ist jedoch alles andere als rachsüchtig, Scotts Saladin ist ein gerechter und friedliebender Mann. Insofern beinhaltet die farbliche Darstellung hier gleichzeitig mehrere – sogar widersprüchliche – Deutungsmöglichkeiten, die den Cha- rakter interessanter machen und ihm Tiefgang verleihen. Das wird auch dadurch unterstützt, dass sich Saladin farblich vom bunten Durcheinander der christlichen und muslimischen Schlachtreihen absetzt, als einziger besonnen und gesetzt, ja sogar zeitlos wirkt. Und dass der wortkarge Herrscher in seinen schwarzen Kleidern auf uns eindeutig „cooler“ als alle anderen Charakter im Film wirkt, verstärkt unseren Eindruck von der gezielten positiven Besetzung dieser Figur noch.

Insgesamt wählte Scott für seine Filmbilder klare, deutlich voneinander abgegrenzte Farbräume, die die Handlung gezielt auf der Metaebene unterstützen sollten. An der Untersuchung von *Kingdom of Heaven* haben wir gelernt, dass Farben nicht nur Symboliken tragen und damit zusätzliche Bedeu- tungsinhalte in einem Film vermitteln können. Sie sind zudem in der Lage, komplexe Zusammenhänge wie Widersprüche oder Spannungen auszudrücken und vor allem auch, Mehrdeutigkeiten zu erzeugen. Diese Effekte werden verstärkt, wenn die Farben in Wechselwirkung mit anderen filmischen Elementen (von den Kostümen bis zu den Dialogen) treten.

In einer letzten Arbeitsphase erstellten wir in kleinen Gruppen Storyboards. Drei Gruppen sollten anhand unseres in der vorausgegangenen Sitzung selbst erstellten Drehbuchs die einzelnen Einstellungen zeichnen; eine vierte Gruppe arbeitete mit einem Auszug aus dem Originaldrehbuch. Beim Vergleich der Ergebnisse wurde in weiteres Mal deutlich, wie schwer es ist, Inhalte von einem Medium (Text) in das andere (Bild) zu „übersetzen“. Der entscheidende Punkt war für uns hierbei, dass alle Storyboards denselben Ursprung – nämlich direkt oder indirekt die ausgewählte Filmszene – hatten, aber alle Storyboards letzten Endes völlig unterschiedlich ausfielen. Uns wurde klar, dass die Deutungsmöglichkeiten unüberschaubar vielfältig sind, da sie an individuelle Vorerfahrungen anknüpfen, die so mannigfaltig sind wie die Menschen, in denen sie sich zu Bildern – in unserem Fall zu Geschichtsbildern – zusammenfügen.

Quellen und Literatur

- *Königreich der Himmel* (2005, Regie: Ridley Scott, 144 min. [Director 's Cut: 190 min.]) [orig. *Kingdom of Heaven*]
- William Monahan: *The Kingdom of Heaven. Early Draft*, c. 2005, http://www.dailyscript.com/scripts/The_Kingdom_of_Heaven.pdf
- Peter Thorau: *Die Kreuzzüge* (Beck Wissen), München 2013.
- Nikolas Jaspert: *Die Kreuzzüge* (WBG kompakt), 6. Auf., Darmstadt 2013.

7.11 Strukturgeschichte: Vom Erkennen und Herausarbeiten von Strukturen in Kubricks *Dr. Strangelove*

Louisa Schwarz & Moritz Gleditzsch

Unser Handeln ist beeinflusst von einer Gegebenheit, die in Jahrzehnten der Geschichtsschreibung überhaupt nicht betrachtet wurde! Zu Beginn der 1920er Jahre sah sich die etablierte Geschichtswissenschaft mit Kritik von Vertretern der Politologie und Soziologie konfrontiert. Sie kritisierten grundlegend den Fokus auf der Geschichte „großer Männer“ und ihrer Taten auf Schlachtfeldern oder in Kabinettsitzungen – aber auch die historische Bedeutsamkeit, die dem Handeln dieser Persönlichkeiten eingeräumt wurde. Diese Kritik aufnehmend, stehen bei *strukturgeschichtlichen* Betrachtungsweisen alle Menschen, deren Alltag und deren Mentalitäten, vor allem aber deren Entwicklungen im Vordergrund. Mit solch einem neuen Untersuchungsfokus werden zunächst einmal deutlich größere Bereiche der historischen Wirklichkeit in den Blick genommen und zugänglich gemacht. Darüber hinaus wird jedoch statt eines Beschreibens der einzelnen Entscheidungen von Individuen eine analytischere Form der Geschichtsschreibung menschlichen Handelns betrieben. Die Einbeziehung geographischer, sozialer, psychologischer und weiterer Bedingungen des menschlichen Handelns führte fast notwendig zu methodengestützten Analysen. Strukturen bilden also den Möglichkeitsrahmen menschlichen Handelns. Der Spielraum des Handelns wird dabei vom Zusammenwirken unterschiedlicher Strukturen begrenzt. Ein historisches Ereignis mag zwar von einem Individuum ausgelöst werden, sowohl das Individuum wie sein Auslösen (also die Bedingungen seines Entscheidens wie die seines Handelns) werden allerdings von Strukturen beeinflusst oder gar bedingt. Auch für das Verständnis historischer Ereignisse ist die Betrachtung von Strukturen daher unerlässlich.

Die Erkenntnis, dass Strukturen und Ereignisse miteinander verknüpft sind, ist leicht zu gewinnen. Viel schwerer fiel uns im Kurs jedoch der Versuch zu beschreiben, was Strukturen eigentlich sind. Erklärungsansätze bleiben meist sehr theoretisch: So versteht man unter Strukturen zunächst einmal kontinuierliche Phänomene. Sie sind überindividuell, gehen Ereignissen auch in anderer Weise als nur zeitlich betrachtet voraus und können teilweise sogar in Ereignisse eingehen. Wichtig ist: Auch wenn

Strukturen Handlungen beeinflussen und bedingen, determinieren sie diese nicht.

Die Einführung der strukturgeschichtlichen Betrachtungsweise ging einher mit einem neuen, innovativen Umgang mit Quellen, der die beiden genannten Vorteile des Ansatzes trägt: indem er einerseits das analytische Potential der Geschichtswissenschaft stärkt und andererseits weiter gefasste Möglichkeiten des Zugriffs auf die Vergangenheit bietet. Praktisch schlägt sich die neue Art des Quellenumgangs in zwei Bereichen nieder: in dem der klassischen Quellenarten, die nun mit neuen Fragestellungen bearbeitet werden, und im Neuerschließen vorher nicht beachteter oder gar im Selbsterzeugen von Quellenbeständen. Für beide gilt, dass globale Modelle und Hypothesen aufgestellt werden, die dann mit Hilfe der Quellen belegt und erklärt werden.

Der Darstellungsmodus ist dabei um einiges analytischer und methodischer als es bei den beschreibenden, erzählenden Verfahren der konventionellen Geschichtsschreibung der Fall war. So wertet die Strukturgeschichte zum Beispiel „klassische“ Quellen auch statistisch aus und eröffnet damit die Möglichkeit, bekannte Quellen mit neuen Fragestellungen zu bearbeiten. Am Beispiel einer solchen „klassischen“ Quelle, einem Kirchenbuch, haben wir den Unterschied zwischen konventioneller und strukturgeschichtlicher Quellenarbeit sichtbar zu machen versucht. Statt den Daten über bedeutsame Persönlichkeiten – wann sie geboren, getauft, getraut oder gestorben sind – eine große Bedeutung zuzuschreiben, werden durch statistisches Arbeiten die Allgemeinheit betreffende Gegebenheiten wie Kindersterblichkeit, Geburtenrate oder Heiratspolitik untersucht. Das Leben der „einfachen Leute“ steht hierbei unbestreitbar im Vordergrund, ist aber schon längst nicht mehr Sinnbegründung für die Strukturgeschichte. Das *Verfahren*, mit der Erfassung statistischer Werte in Kombination mit anderen strukturellen Faktoren wie dem der Generationsabfolge oder der geographisch-räumlichen Konfiguration die Entwicklung eines Siedlungsraums über einen längeren Zeitraum zu untersuchen, lässt sich gleichermaßen auf „einfache“ dörfliche Gemeinschaften wie elitäre dynastische und politische Kreise anwenden.

Durch eine strukturgeschichtliche Bearbeitung von Quellen gelangt man zu neuen Erkenntnissen, die man mit konventionellen Methoden nicht unbedingt erlangt hätte. Das gilt oft gerade für auf den ersten Blick wenig sagende Dokumente: In den *confraternitates*, den Schriften von Gebetsbrüderschaften, sind spaltenweise Namen von Klosterbrüdern festgehalten, die füreinander beteten. Mit dem Abgleich dieser Namenslisten arbeiten Forscher z.B. den Grad der Verbindung zwischen verschiedenen Klöstern heraus. Bei königlichen Schenkungsurkunden wird nicht mehr nur Biographie oder Politik des Fürsten thematisiert, sondern grundlegendere Fragen gestellt – z.B. welche Arten von Geschenken gemacht wurden, welche Bedeutung die Privilegien hatten, wie sich der Kreis der Beschenkten verfasst usw. Solche Forschungen erlauben etwa Aussagen über die Mentalitäten der betreffenden Menschen, welche wiederum selbst eine Struktur darstellen, die den Handlungsspielraum der Personen mitbestimmte und somit ebenfalls die Ereignisse beeinflusst hat.

Weil „Strukturen“ so schwer zu greifen sind, kann leicht das Gefühl aufkommen, strukturgeschichtliche Fragestellungen seien banal. Dieses Gefühl ist trügerisch. Uns wurde in der Sitzung deutlich, wie komplex allein schon das Formulieren strukturgeschichtlicher Fragen ist – vom Beantworten ganz zu schweigen.

Quellen und Literatur

- *Dr. Seltsam, oder wie ich lernte, die Bombe zu lieben* (1964, Regie: Stanley Kubrick, 95 min.) [orig. *Dr. Strangelove or: How I Learned to Stop Worrying and Love the Bomb*]
- Sascha Foerster: Die französische Schule der „Annales“, in: *Blumen für Clio. Einführung in Methoden und Theorien der Geschichtswissenschaft aus studentischer Perspektive*, hg. v. Sascha Foerster, Julia ten Haaf u.a., Marburg 2011, S. 543-549.
- Stefan Jordan: *Theorien und Methoden der Geschichtswissenschaft* (Orientierung Geschichte / UTB 3104), Paderborn u.a. 2009. [Ausz.]
- Jürgen Kocka: *Sozialgeschichte. Begriff – Entwicklung – Probleme*, 2. Aufl., Göttingen 1986, Auszug S. 70-79.

7.12 Abschluss

Peter Gorzolla

Am Anfang unseres Kurses stand die Behauptung, dass sich weder Vergangenheit noch Geschichte im Film abbilden ließen. Leicht nachvollziehbar ist das für die Vergangenheit, da sie unwiederbringlich verloren ist und eine „Abbildung“ derselben in *keinem* Medium möglich ist – nicht einmal in der Fachliteratur der Geschichtswissenschaft! Aber warum soll auch die Geschichte nicht abbildbar sein – ist es nicht das, was wir als Anspruch an Historienfilme oder historische Dokumentationen formulieren? Geschichte verstehen wir als vergegenwärtigte Vergangenheit, und als solche ist sie entweder Produkt der wissenschaftlichen und methodisch abgesicherten Auseinandersetzung von HistorikerInnen mit der Überlieferung oder sie ist Teil des gesellschaftlichen (und häufig sehr politischen) Diskurses über die Vergangenheit. Beide Erscheinungsformen der Geschichte sind im Film nicht abbildbar: Auf der einen Seite erfolgt die wissenschaftliche Vergegenwärtigung der Vergangenheit (genannt Fachwissenschaft) in ihren eigenen, spezifischen – bisher fast ausschließlich schriftlichen – Medien. Der Wechsel aus diesen Medien in das Medium des Films, das natürlich seine eigenen spezifischen Regeln hat, macht eine originalgetreue Abbildung der fachwissenschaftlichen Geschichte prinzipiell unmöglich. Auf der anderen Seite stellen jeder Historienfilm und jede historische Dokumentation bereits Beiträge zur gesellschaftlichen Vergegenwärtigung der Vergangenheit (genannt Geschichtskultur) dar – sie *sind* also in diesem Sinne bereits Geschichte und bedürfen keiner Abbildung.

Folglich haben wir unsere Zeit im Kurs nicht damit verschwendet, sich wie manche HistorikerInnen als Kritiker im Feuilleton aufzuführen und über die an Details oder Kostümen aufgehängte, angebliche historische Unzulänglichkeit von Kinofilmen Urteile zu fällen. Statt eines mimetischen „Abbildens“ hat uns die Frage interessiert, ob sich Geschichte im Film „ausdrücken“ lässt, soll heißen: ob eine „authentische“, nicht den Sinn entstellende Darstellung möglich ist. Dazu mussten wir als ersten Schritt das Urteilen ablegen und uns daran machen, den Film als Medium in seiner Eigenlogik zu verstehen. Notwendigerweise war es dazu nötig, sich einiges Wissen über die Produktionsbedingungen und Techniken des Filmemachens aneignen. Genaues Hinsehen, Hinhören und eine gehörige Portion (vor allem emotionsbezogener) Selbstbeobachtung waren nötig, um diese Grundlagen dann auf die von uns untersuchten Filme anzuwenden.

In der Vorbereitung und in den Sitzungen haben wir dabei u.a. gelernt, dass Filme als Erzählungen auch den transmedialen Regeln des Erzählens folgen, dass Filmemacher mit speziellen Techniken Authentizität zu erzeugen versuchen, dass unser Erinnern instabil und (historisch) unzuverlässig ist, dass unser Gedächtnis gesellschaftlich konstruiert wird, dass Propaganda-Erfolg auch von sozialer Akzeptanz abhängt, dass kategoriales Denken und Vorurteile unvermeidbar und „natürliche“ Unterscheidungen oft

kulturelle Konstrukte sind, dass der (Opfer-)Mythos seit Jahrhunderten von Film und Politik instrumentalisiert wird, dass der Gebrauch von Pathos immer auch Ironie produziert, dass ein Medienwechsel immer Informationsverlust bedeutet, zugleich aber auch die (historischen) Ausdrucksmöglichkeiten erweitert und dass unser Handeln in (historisch wirksame) Strukturen eingebunden ist.

Aber zwischen all diesen Erkenntnissen haben wir noch mehr entdeckt: Verbindungen. Lernt man die Sprache des Films zu lesen, findet man unzählige Verweise auf soziokulturelle Zusammenhänge, Referenzen auf eine Vielzahl anderer Werke, den Gebrauch symbolischer Aufladungen, assoziative und imaginative Angebote in Bildern und Tönen, Farben und Formen, vor allem stößt man überall auf die beherrschende Rolle der Emotionen als heimliches „Medium“ der historischen Erfahrung im Film. Dennoch ist auch hier ein historisch angemessenes „Ausdrücken“ von Geschichte möglich, haben wir beschlossen; dieses ist jedoch an Bedingungen geknüpft. Die Umsetzung der Geschichte im Film, so haben wir unser Ergebnis zusammengefasst, muss dazu verschiedene strukturelle Gegebenheiten berücksichtigen. Die von uns behandelten – es gibt sicher mehr – haben wir in Strukturen des Erzählens, mentale Strukturen, soziokulturelle Strukturen und mediale Strukturen gruppiert. Und so, wie diese Strukturen von Filmemachern beachtet werden müssen, um der Geschichte angemessen und authentisch im Medium des Films Ausdruck zu verleihen, so ist das Verständnis dieser Strukturen auch für uns als HistorikerInnen unabdingbar, wenn wir uns hier an das Urteilen über Filme – und damit an das Kontrollieren von Geschichtsbildern – wagen wollen.

8 Musisch-kulturelle Kurse

Eine Burg mit Leben füllen

Musisch-kulturelle Arbeit auf der Hessischen Schülerakademie für Oberstufe 2016

von Julia Zaenker

In zwölf Tagen Schülerakademie beschäftigen sich die Schülerinnen und Schüler nicht nur intensiv mit ihrem gewählten Fachkurs, sondern werden in zwei musisch-kulturellen Kursen in je einer eineinhalbstündigen Einheit pro Tag aktiv. Außerdem erarbeiten alle Akademieteilnehmer in den ersten zwei Tagen gemeinsam Chorstücke. Klassiker wie „Hit the Road Jack“ oder der „Obstsalatkanon“ werden zu Ohrwürmern und sind über die gesamte Dauer der Akademie immer wieder spontan zu hören. Auch sonst wird, inspiriert von den Anregungen aus den Kurszeiten, kreativ experimentiert und Neues ausprobiert.

Neues ausprobieren steht in allen angebotenen musisch-kulturellen Kursen: „Italienisch“, „Theaterimprovisation“, „Gender und Gesellschaft“, „Englisches Theater“, „Kontratanz“, „Musikalische Improvisation“, „Naturkunde“, „Chor“, „Malen, Zeichnen und Gestalten“, „Fotografie“, „Kammermusik“ und „Storytelling“, im Vordergrund. In keinem der Kurse werden besondere Vorkenntnisse vorausgesetzt (außer Notenkenntnissen in der Kammermusik).

So spielten viele der Schüler zum ersten Mal Theater und lernten die Funktionen der eben schnell von den Eltern ausgeliehenen Kamera ganz neu kennen. Eine Schülerin berichtete, dass sie eigentlich davon ausging, für das englische Theater nur Text lernen zu müssen. Dass so viel mehr dazu gehört, um eine Rolle zu entwickeln, hätte sie nicht gedacht. Jetzt kann sie sich gut vorstellen, auch nach der Akademie mal wieder Theater zu spielen. Auch in der musikalischen Improvisation war es „eine interessante Erfahrung, ohne großes Vorwissen mit unbekanntem Instrumenten ein neues Stück langsam zu erarbeiten“ und dabei „Neues auszuprobieren und alte Gewohnheiten zu verlassen“.

Burg Fürsteneck als Inspirationsquelle

In allen musisch-kulturellen Kursen wurde, unterstützt durch ausgezeichnetes Wetter, die gesamte Burg Fürsteneck und deren Umgebung genutzt. Die Theaterimprovisation bespielte als Abschlussprojekt mit zuvor entwickelten Charakteren die ganze Burg. In „Malen, Zeichnen und Gestalten“ wurden unterschiedliche Techniken wie Pastell- und Acrylmalerei genutzt, um die Struktur des Burgmauerwerks oder die wunderschönen Ausblicke darzustellen. Im englischen Theater übte man den Text gerne im Freien auf dem Burggelände, und die Naturkunde spazierte jeden Nachmittag durch die Landschaft und lernte Flora und Fauna der Vorderrhön kennen. Der Kurs „Gender und Gesellschaft“ verteilte Stolpersteine über das gesamte Burggelände und setzte sich so kreativ mit einem geisteswissenschaftlichen Thema auseinander. Im Storytellingkurs wurde als Abschlussprojekt eine eigene Geschichte zu Janoschs „Oh, wie schön ist Panama“ als Rundgang um die Burg entwickelt. Diese wurde dann am Gästernachmittag als Burgführung mit zusätzlichen geschichtlichen Informationen zu den einzelnen Stationen angeboten.

Zusammenarbeit über die feste Struktur der Kurszeiten hinaus

Burg Fürsteneck als Veranstaltungsort beflügelte nicht nur die Kreativität in den einzelnen Kursen, sondern inspirierte auch zu Zusammenarbeit und gemeinsamem Schaffen. Die Kammermusik übte neben Stücken aus unterschiedlichen Epochen auch Kontratanzmusik für „Am Jungfernstieg“ nach einem eigenen Arrangement ein. Durch die enge Zusammenarbeit der Kursleiterinnen und Kursleiter entstand die Idee, mit den Schülerinnen und Schülern zum Popsong „Viva La Vida“ der Band „Coldplay“ gemeinsam kreativ zu werden. Im Kontratanz wurden eigene Tanzschritte zu dieser Musik entwickelt und am Ende zu einer tanzbaren Variante zusammengesetzt. Die jeweiligen Verantwortlichen für den Kontratanz, die musikalische Improvisation, die Kammermusik und die Theaterimprovisation bereiteten daraufhin gemeinsam Chornoten und einen kurzen Orchestersatz vor. Alle Schülerinnen und Schüler

waren dann zum gemeinsamen Musizieren nach dem Abendessen eingeladen. Zunächst wurde nach den vorbereiteten Noten musiziert und später auf die einfache Akkordfolge auch zum Improvisieren ermutigt. Schließlich wurde unter Anleitung ein dynamischer Spannungsbogen mit Temposteigerung entwickelt. Besonders schön war es zu beobachten, wie Schüler, die zunächst mit verschränkten Armen im Raum standen und „nur mal zuhören“ wollten, auf einmal wie von selbst begeistert mitsangen. Am internen Abschlussabend spielte dann zunächst diese Profigruppe die Musik für die Uraufführung des Kontratanzes. Zum Abschluss wurden dann alle Akademieteilnehmer eingeladen, den Tanz zu lernen oder mit zu musizieren. Tatsächlich wurde nicht nur innerhalb der musisch-kulturellen Kurse kooperiert. Die Kursleiterinnen der Theaterimprovisation und des Storytellingkurses wurden als Unterstützung für ein Rollenspiel, um die Heldenreise erfahrbar zu machen, zum Geschichtskurs eingeladen. Als Mentoren zogen sie mit zwei Schülergruppen vom Neun-Säulen-Raum zur furchterregenden Prüfung in die Kapelle und stachelten auf dem Weg die Heldengruppen dazu an, kreativ aus sich herauszugehen.

Ausblick

Natürlich entstanden, durch das ganzheitliche Konzept angeregt, noch viele weitere kleinere und größere Projekte und Momente. Es wurden bleibende Erinnerungen geschaffen, neue Talente entdeckt, Freundschaften geschlossen und Begeisterung verbreitet, die sich mit Worten nur schwer beschreiben lassen. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen musisch-kulturellen Kursen, aber vor allem auch mit den Fachkursen macht die Grundidee der ganzheitlichen Bildung noch besser erfahrbar. Dies ist nur möglich, weil einige Kursleiter durch Erfahrungen auf vergangenen Akademien, anderen Veranstaltungen der Burg und Vereinen, wie der Musischen Gesellschaft e.V., mit Burg Fürsteneck und der besonderen Atmosphäre vertraut sind. So können wichtige neue Impulse und Fähigkeiten ganz neuer Referentinnen und Referenten gleich optimal eingebunden werden. In Zukunft könnten durch diese guten Erfahrungen gerade schwieriger zu organisierende Kooperationen während der Kurszeiten schon im Vorfeld geplant werden. So wird ein gut strukturierter Rahmen geschaffen, der dann Raum für Spontanes und Improvisation in allen Arbeitsbereichen lässt. Die Begeisterung Neues auszuprobieren wird so noch leichter entfacht.

8.1 Chorstudio

Von der Wiener Klassik bis zur heutigen Musik – dem Chor waren keine Grenzen gesetzt. Wir sangen uns durch verschiedene Epochen und Musikströmungen und schrakten auch nicht vor fremden Sprachen zurück. Das Angebot an Musikstücken war genauso vielfältig wie unsere Stimmen. Um eine gute Harmonik und Klangfarbe zu erreichen, erlernten wir neben der richtigen Atemtechnik auch die optimale Körperhaltung für das Singen, die Stimmphysiologie sowie Phrasierung und Dynamik. Nach anfänglicher Aktivierung des Körpers und Artikulationsübungen sangen wir meist vierstimmige Stücke wie „Ave verum corpus“ von W. A. Mozart oder den bekannten Popsong „It’s raining men“. Im Vordergrund standen dabei die Freude und Begeisterung am gemeinsamen Singen, die auch außerhalb der MukK-Zeit zu spüren und zu hören war. Die Zeit im Kurs flog vorbei und somit wurde in den Pausen und während der Essenseiten motiviert und mit viel Enthusiasmus weitergesungen.

8.2 English Theatre

This year the “English Theatre” mukK has been working on the play “Hogfather”, which is based on a book set in the discworld created by Terry Pratchett. It tells the story of a mysterious crime – the Hogfather (Father Christmas of the Discworld) has disappeared and now the whole of Hogswatch (Christmas) is in danger. A most unlikely team, including Death himself as well as his human granddaughter Susan, sets out to rescue the Hogfather and save Hogswatch!

Our little group consisted of 11 people total, all of which were highly motivated to get all the scenes onto the stage. We started practicing straight away on Monday and had to know our respective parts by heart one week after - which isn't the most challenging task compared to having to know what to move and where to go between each scene. We did a ton of quite funny exercises to improve our posture, pronunciation and volume of voice, probably the most hilarious being speaking with a carrot in our mouths. Safe to say most of us will have wanted to stay away from carrots for at least one day after...

8.3 Fotografie

Alexander Dick führte den Kurs erstmalig für viele neue Begriffe wie Blende, Brennweite, Belichtungszeit und ISO-Werte ein und erklärte anhand dieser, was es alles braucht, um ein Foto zu schießen. Danach sollten die Kursteilnehmer draußen einige Probefotos machen, bei denen sie mit diesen Werten gezielt „spielen“ sollten. Außerdem schrieb Alexander Dick eine Liste mit möglichst unterschiedlichen Motiven, wie zum Beispiel Architektur, Landschaft, Natur, Menschen und vielem mehr, die es dann galt abzuarbeiten. Dies taten nun auch die Kursteilnehmer in den folgenden Tagen, wobei es anfangs noch kompliziert war einige nützliche Funktionen seiner Kamera zu entlocken, jedoch konnten sie jederzeit den Kursleiter bei Fragen konsultieren. Außerdem stellte er jede Menge nützliche Hilfsmittel, wie zum Beispiel Stativ, Reflektoren und ähnliches, zur freien Verfügung. Nachdem nun einige Bilder gemacht wurden, führte er die Teilnehmer auch in das Bildbearbeitungsprogramm Photoshop ein, um besagte Bilder zu bearbeiten und ihnen ein oft auch etwas paranormales Aussehen zu verpassen. In den nächsten Tagen galt es nun die übrig gebliebenen Bilder zu machen oder sie am Computer noch einmal zu verbessern.

Abschließend kann man sagen, dass jeder Kursteilnehmer viel Neues über seine Kamera gelernt hat und dass gerade diese mukK eine persönliche Bereicherung für jeden der Teilnehmer war.

8.4 Gender und Gesellschaft

Was kommt Ihnen in den Sinn, wenn Sie das Wort „Feminismus“ hören? Frauenrechte? Die Rolle der Frau in der Gesellschaft und Gleichstellung? Gendersternchen? Oder sogar einfach nur Alice Schwarzer?

Würde man den Feminismus nur unter diesen Schlagworten betrachten, wäre die Auseinandersetzung mit diesem Themenkomplex viel zu oberflächlich. In dem interdisziplinär angelegten musisch-kulturellen Kurs „Gender und Gesellschaft“ haben wir deshalb versucht, uns dem Feminismus von verschiedenen Seiten thesenartig zu nähern. Unsere erste Erkenntnis: Es gibt nicht „den“ Feminismus. In regen Diskussionen haben wir uns gefragt, wie sich der Feminismus im Laufe der Geschichte verändert hat, woher unser „Schubladen-Denken“ kommt und welche Auswirkungen dies auf unser alltägliches Leben hat.

Dabei galt es vor allem, sich Hintergrundwissen anzueignen, um sich reflektiert und sachlich begründet eine Meinung zu bilden – beispielsweise zum Thema „Die Rolle der Frau im Islam“. Kennen Sie beispielsweise den Unterschied zwischen Hijab, Niqab und Burka? Insbesondere in Bezug auf diese Thematik zeigte sich, dass die gesellschaftliche Auseinandersetzung mit der Genderthematik zu oft auf Halbwissen und Vorurteilen basiert und es mehr Kommunikation und Austausch in der Gesamtgesellschaft, aber auch zwischen den verschiedenen feministischen Strömungen bedürfte, um nicht nur oberflächliche Lösungen, sondern tiefgreifende Veränderungen in Bezug auf Geschlechterverhältnisse und -rollen zu erreichen.

8.5 Italienisch

Der diesjährige Italienisch-mukK hat sich aus sieben Teilnehmern ohne größere italienisch-Vorkenntnisse zusammengesetzt. Im Kurs wurden sowohl sprachliche als auch kulturelle Aspekte vermittelt. Einer Auseinandersetzung mit der Geographie Italiens folgte eine Einführung ins Zählen auf Italienisch. Im späteren Verlauf des Kurses wurden den Schülern einige für touristische Zwecke nützliche Inhalte mitgegeben, wie beispielsweise Wissen über den korrekten Ablauf eines Abendessens, das mit Antipasto, also einer Vorspeise, beginnt, gefolgt von dem Primo Piatto, klassischerweise Pasta, darauf folgt der Secondo Piatto, der entweder aus Fisch oder Fleisch besteht, und abgeschlossen wird ein gehobeneres italienisches Abendessen mit einem Dessert. Natürlich wurde in diesem Zug auch auf sprachliche Hilfsmittel eingegangen, so wurde das Einchecken im Hotel, das Bestellen einer Mahlzeit, das Fragen nach dem Weg oder die Angabe der Uhrzeit zum Thema gemacht.

Dabei wurde sowohl theoretisch auf die Grammatik der Sprache eingegangen als auch praktisch in Form von selbst erstellten Dialogen die Sprache angewandt, so wurden beispielsweise Besonderheiten bestimmter und unbestimmter Verben wie auch grundlegende Konjugation behandelt, während sich aber auch um die Aussprache italienischer Worte gekümmert wurde: Im Großen und Ganzen also eine adäquate Voraussetzung für einen Urlaub in Italien.

8.6 Kammermusik

Der Kammermusik-Kurs der diesjährigen Schülerakademie bestand aus elf Schüler_innen und studentischen Betreuer_innen, ausgestattet mit Flöte, drei Klarinetten, Bassklarinetten, Tenor- und zwei Altsaxophonen, Posaune, Tuba, zwei Geigen, Cello, Gitarre und Percussion.

Genauso abwechslungsreich wie unsere Besetzung waren auch die Stücke, die wir erarbeitet haben: Neben einem Auszug aus dem zweiten Satz von Antonin Dvořaks Sinfonie Nr. 9 „Aus der Neuen Welt“ haben wir uns intensiv mit der Filmmusik aus „Harry Potter und der Feuerkelch“ beschäftigt. Ebenfalls in voller Besetzung spielten wir „Born to be wild“, wobei wir das Arrangement um improvisierte Soli erweiterten. Die Streicher, Gitarre, Klarinette und Posaune begleiteten den Kontratanzkurs mit „Am Jungfernstieg“, während die Blasinstrumente sowie Elias am Cajon „Cantina Band“ und „Down by the Riverside“ spielten.

Der Kammermusik-Kurs hat uns besonders wegen des angenehmen, lockeren Klimas, beispielsweise durch spontane Gesangseinlagen, viel Spaß bereitet. An dieser Stelle auch einen herzlichen Dank an Antonia Kölbl, die nicht nur dirigierte, sondern auch selbst oft mitspielte, mit viel Geduld an den Stücken feilte und uns alle immer wieder motiviert hat.

8.7 Kontratanz

Kontratänze sind Volkstänze aus England, die von John Playford gesammelt und 1651 als Buch in „The English Dancing Masters“ veröffentlicht wurden. Auf Burg Fürsteneck haben diese Tänze eine lange Tradition und werden dort, vor allem durch die Musische Gesellschaft e.V., immer noch weiterentwickelt. Sie werden bevorzugt zu Livemusik, für die in unserem Kurs Antonia Kölbl sorgte, getanzt. Kontratanz schult Orientierung und Wahrnehmung im Raum und unterstützt gruppenspezifische Prozesse, da man allen Tanzenden und nicht nur dem eigenen Partner begegnet. Beim Aufwärmen zu schwungvoller Musik, wie dem Lied „Viva La Vida“, konnten wir ohne feste Choreographie mit Raumwahrnehmung, Kontakt mit den anderen Tanzenden sowie dem eigenen Körper- und Rhythmusgefühl experimentieren und Selbstbewusstsein gewinnen. In einfacheren Tänzen, wie „Sweet Rosie Red“ lernten wir die Grundfiguren des Kontratanzes kennen. Diese lassen sich dann modular zu verschiedenen Tänzen zusammensetzen. Mit zunehmender Übung konnten wir auch schwierigere Tänze wie „Klarheit im Norden“ und eine Variante von „Am Jungfernstieg“ tanzen. Mit Letzterem beschäftigten wir uns besonders intensiv. Wir unterhielten uns über das Ausgestalten der einzelnen Figuren und verbesserten Geometrie und Symmetrie. Wir lernten, dass die „Playford“-Version nicht eindeutig rekonstruierbar ist und bekamen in diesem Zusammenhang einen Einblick in die Entwicklung des Kontratanzes und die Geschichte von Burg Fürsteneck. In den letzten Stunden hatten wir die Grundlagen so gut gemeistert, dass wir mit sehr viel Freude selbst einen Tanz zur Aufwärmmusik „Viva La Vida“ entwerfen konnten. Bei der Uraufführung am internen Abschluss verbanden wir das freie, improvisierte Tanzen während des Aufwärmens mit der strukturierten Choreographie des klassischen Kontratanzes.

Weil wir auch noch außerhalb der MukK-Zeiten tanzen wollten, haben uns Julia und Antonia angeboten, auch abends zusammen mit anderen Akademiebesuchern zu tanzen. Dabei herrschte immer eine sehr gelöste und freudige Stimmung bei einfachen, aber beschwingten „Ceilidhtänzen“ aus Schottland, dem „Belgian Dance“ und ganz besonders bei „Jamaica“ mit rasanter Temposteigerung.

8.8 Kunst

Mit der MukK „Malen, Zeichnen und Gestalten“ wurde für uns ein Raum geschaffen, in dem wir uns auf verschiedene Weisen künstlerisch austoben konnten. Unter professioneller Anleitung erarbeiteten wir uns in der knappen Zeit von zwei Wochen unterschiedliche Techniken von einer Skizze bis zu dem Umgang mit Pastellkreiden, von der Arbeit mit Acrylfarben bis hin zu Ölkreiden. Dabei war auch Zeit an größeren Projekten mit selbstgewählten Themen zu arbeiten.

Unsere Inspirationen konnten wir in direkter Umgebung finden. So entstanden innerhalb von kürzester Zeit in verschiedenen Stilen Abbilder von Burg Fürstenecks schönsten Mauern und Ausblicken, aber auch Stilleben sowie Arbeiten mit Textzeichen. Aufgrund unserer unterschiedlichen Interessen kamen unsere Inspirationen von Picasso, Fotografien oder von unserer Kursleiterin Franziska Bank.

8.9 Musikalische Improvisationen

Stimmen aus dem Kurs war(en) in diesem Jahr:

- Rhythmus und Bewegung
- Spielen und hören zugleich
- Melodien, die sich aufeinander beziehen (sollen)
- Rhythmen, die sich zu einem Netz ergänzen
- Sich an ungewohnte, ungerade Rhythmen gewöhnen und frei zu werden und mit ihnen zu spielen
- Improvisationen mit Elementen der Minimalmusik
- Tempo als verändernden Faktor kennenzulernen und den Einfluss auf Wahrnehmung und das Spielgefühl zu erleben
- Musikalisch und gleichzeitig mit Körperausdruck sowie Gesten zu spielen

Hier noch einige Erfahrungen von Schülern aus dem Kurs:

„Der schönste Moment für mich war, wenn sich ein gemeinsames Muster entwickelte und wir auf einmal in Harmonie gespielt haben.“

„Es waren Tongemälde mit außergewöhnlichen Instrumenten, gewobene Klangteppiche mit z.T. ungewohnten Rhythmen (5,7)“

„Eine interessante Erfahrung ohne großes Vorwissen mit unbekanntem Instrumenten gemeinsam ein Stück langsam aufzubauen und zu gestalten.“

„Es hat mir gefallen neues auszuprobieren und Gewohnheiten zu verlassen.“

„Schöne Entspannung sich einfach auf die Musik einzulassen und die Vielfalt zu genießen.“

8.10 Naturkunde



Abbildung 1: Mit dabei waren bei unseren Erkundungen der Flora, Fauna und Tierwelt rund um die Burg: Karl, Jannis, Wolf, Joel, Phillip, Leon, Hannes, Mischa, Aya, Nele, Jan, Johanna und Alex

8.11 Storytelling

„Once upon a time, there was an old castle near a small village called Fürsteneck. . . .“

Mit einer Geschichte begann unsere Zeit im Storytelling-Kurs in dem bilingual sowohl auf Englisch als auch auf Deutsch gearbeitet wurde. Nach einem ersten Versuch, diese gehörte Einstiegsgeschichte selbst nachzuerzählen, haben wir uns mit den theoretischen Grundlagen des Storytellings auseinandergesetzt. Geschichten merkt man sich an Hand eines Grundgerüsts, den „Storybones“, das dann variabel mit Details, dem „Flesh“, ausgestaltet wird. Das Ausgestalten unserer Erzählungen übten wir in drei Einheiten zu den Themen „Rhythmus und Wiederholungen“, „Dynamik und Übergänge“ sowie „Den Zuhörer mit Gesten, Augenkontakt und Stimme in seinen Bann ziehen“. In jeder Einheit konnten wir den theoretischen Teil mit viel Spaß beim praktischen Erzählen von schottischen Folktales und deutschen Märchen anwenden.

Die Kursatmosphäre war schön und wir erhielten sowohl Einblicke in die Umsetzung des Storytellings als auch in deren schottische Tradition. Neben dem Erzählen von Geschichten hatten wir auch Zeit in zwei Einheiten ein eigenes Bookcover aus Kleidungsresten zu gestalten, in welchem wir Ideen zu Geschichten festhalten können. Dabei wurden Schulhefte als Notizbücher mit Papier beklebt und das Cover mit Perlen und Bändern verziert.

Als Abschlussprojekt wendeten wir das Gelernte an und entwickelten unsere eigene Geschichte nach dem Vorbild von Janoschs „Oh, wie schön ist Panama“ als Führung um die Burg Fürsteneck.

Es war eine ganz neue Erfahrung für uns, sich so intensiv mit dem Geschichtenerzählen zu beschäftigen und wir bedanken uns bei Julia für eine tolle Kursleitung und eine einzigartige Zeit in der Storytelling-mukK.

8.12 Theaterimprovisation

Kreativität und spontanes Handeln sind die Dinge, die wir in der Improvisationstheater-mukK ausgelebt haben. Dabei haben wir winzige und riesige Räume erkundet, uns Gefühlen verschiedenster Art hingeeben sowie auf verrückte Weisen miteinander gespielt. Wir waren gescheiterte Wegelagerer, schmallende Kinder, Köche, die ihre gesamte Küche abbrennen u.v.m. Die vielen Spiele und Übungen haben uns, zusätzlich zu einer riesen Menge Spaß, auch Praxis und Theorie des Improvisationstheaters näher gebracht. Wir haben gelernt „JA zu spielen“, Geschenke anzunehmen und feinfühlig zu sein. Durch unsere gemeinsame Zeit haben wir geübt Kommunikationsangebote aller Art anzunehmen, diese weiterzugeben und uns gegenseitig Freiräume zu gewähren. Zum krönenden Abschluss bespielten wir die Burg und verwoben die Schicksale eigens entwickelter Charaktere zu einer spannenden Handlung, welche frei improvisiert wurde.

Wir waren zornig und gelassen, mal alltäglich oder magisch sowie statisch und lebendig. Nur eine Sache war immer gleich: Nichts ist so, wie es scheint. . .

9 Abendvortrag

Quasikristalle

von Wolf Aßmus

Auf den Flyern bzw. der Dokumentation der Hessischen Schülerakademie-Oberstufe ist ein Quasikristall mit triacontahedrales-fünzfähliger Facettierung als Logo abgebildet.

Diese Kristalle dürfte es eigentlich nicht geben, denn die herkömmliche Definition eines Kristalls lautet: „Ein Kristall besitzt eine regelmäßige dreidimensionale periodische Anordnung von Atomen/Molekülen.“ Diese Einheitszellen müssen den gesamten Raum füllen und bilden das Kristallgitter. Dieses kann durch Gittertranslationen und Symmetrieeoperationen in sich überführt werden. Dabei können nur Gitter mit ein-, zwei-, drei-, vier- oder sechszähligen Drehachsen – entspricht Drehungen um 2π , $\frac{2\pi}{2}$, $\frac{2\pi}{3}$, $\frac{2\pi}{4}$ und $\frac{2\pi}{6}$ – auftreten, nicht dagegen $\frac{2\pi}{5}$, da sich z.B. mit Fünfecken eine Fläche nicht vollständig belegen lässt. Dies hat bereits Kepler im Jahr 1619 in seiner „Harmonice mundi“ gezeigt.

Umso erstaunter waren die wissenschaftliche Welt und der israelische Wissenschaftler Daniel Shechtman selbst, als er 1982 bei einer Al-Mn-Legierung ein 10-zähliges Beugungsbild sah. Er hatte entdeckt, was es der klassischen Auffassung nach nicht geben durfte: Einen Kristall mit zehn- bzw. fünfzähliger Symmetrie. Es gab deshalb viele Widerstände bei der Publikation seiner Daten (1984), insbesondere vom Nobelpreisträger Linus Pauling, der Shechtmans Ergebnisse auf Multi-Verzwilligung zurückführen wollte. Heute wissen wir, dass sich alle von Shechtman gefundenen Beugungsbilder durch eine ikosaedrische Symmetrie beschreiben lassen. Shechtman wurde für diese Entdeckung 2011 mit dem Chemie-Nobelpreis ausgezeichnet.

Eine Erklärung der beobachteten Symmetrien bzw. Beugungsmuster war über den Nachweis einer aperiodischen Fernordnung in diesen Materialien, die fortan Quasikristalle genannt wurden, möglich. In diesen sind die atomaren Positionen zwar wohlgeordnet, aber nach einem anderen Bauprinzip als einfache Translationssymmetrie. So entstand nach den periodisch geordneten Kristallen und den amorphen Festkörpern die neue Gruppe der aperiodisch fern-geordneten Quasikristalle.

Ein Beispiel für eine quasiperiodische Ordnung von Quasikristallen ist im Eindimensionalen die Abstandssequenz der Fibonacci-Kette. Bei ihr definieren zwei elementare Abstände L und S das Längenverhältnis τ . τ entspricht dem des „Goldenen Schnitts“:

$$\tau = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \quad (54)$$

– einem geordneten, aber nicht translationsperiodischen Quasikristall. Das Penrose-Tiling ist ein Beispiel für eine 2-dimensionale quasiperiodische Ordnung. Hier bilden prolate und oblate Rauten das quasiperiodische Gitter. Das Beugungsbild im Hyperraum als Fourier-transformierte des (kubischen) Hyperkristalls belegt die Existenz scharfer Beugungsreflexe mit diesen bei Kristallen verbotenen Symmetrien.

Ob sich solche Quasikristalle als thermodynamisch stabile Phasen bilden – die Stabilisierung kann sowohl über eine elektronische Stabilisierung (Hume-Rothery) oder eine Entropie-Stabilisierung erfolgen –, zeigt sich daran, ob sich Quasikristalle aus einer Schmelze durch langsames Abkühlen züchten lassen. Im Vortrag wurde die Züchtung von cm-großen Quasikristallen des Systems $\text{Zn}_{60}\text{Mg}_{30}\text{Y}_{10}$ diskutiert. Dafür musste zunächst das ternäre Phasendiagramm bestimmt werden, denn die Kristalle wachsen nur als primäre Phase aus einer Schmelze anderer Zusammensetzung.

Ein solcher Kristall, der aus einer 700° heißen Schmelze gezüchtet wurde, ist das Logo der Schülerakademie. Die Entwicklung der Quasikristalle ist ein gutes Beispiel dafür, wie sich durch eine Kooperation in der Wissenschaft – hier von Mathematik, Physik, Chemie – neue Erkenntnisse gewinnen lassen. Über die wissenschaftlichen Fragestellungen hinaus – ist z.B. Magnetismus von der Periodizität abhängig?

– besitzen die Quasikristalle auch technische Anwendungen. Wegen der großen Härte und niedrigen Oberflächenenergie eignen sie sich z.B. für Anti-Haft-Beschichtungen (Bratpfannen, Schneidwerkzeuge), sind aber auch als Katalysatoren zukunftssträchtige Materialien.

Um die Quasikristalle als Kristall bezeichnen zu können, hat man inzwischen die Kristalldefinition geändert: „Jeder Festkörper, der scharfe Beugungsreflexe liefert, ist ein Kristall.“

10 Einstiegsvortrag

Lehrerpersönlichkeit und Begabtenförderung

In fast jeder Schulklasse eines Gymnasiums befinden sich für fast jedes Fach begabte Schülerinnen und Schüler, die – genauso wie Leistungsschwächere – ein Anrecht darauf haben gemäß ihrer Begabung und ihres Interesses von der Lehrkraft gefördert zu werden.

Bevor man darüber nachdenken kann, wie man Begabung und Interesse in der Schule fördern könnte, muss man sich darüber im Klaren sein, welches Konzept von schulischem Unterricht man verfolgt. Setzt man den in Deutschland seit 200 Jahren für die höheren Schulen gültigen Bildungsbegriff voraus und verwirklicht man diesen in Schule und Unterricht, so ist damit eine gute Grundlage zur Begabungs- und Interessenförderung gelegt.

„Es giebt schlechterdings gewisse Kenntnisse, die allgemein sein müssen, und noch mehr eine gewisse Bildung der Gesinnungen und des Charakters, die keinem fehlen darf. Jeder ist offenbar nur dann ein guter Handwerker, Kaufmann, Soldat und Geschäftsmann, wenn er an sich und ohne Hinsicht auf seinen besonderen Beruf ein guter, anständiger, [...] aufgeklärter Mensch und Bürger ist. Giebt ihm der Schulunterricht, was hiezu erforderlich ist, so erwirbt er die besondere Fähigkeit seines Berufs nachher sehr leicht [...]. Fängt man aber von dem besonderen Berufe an, so macht man ihn einseitig und er erlangt nie die Geschicklichkeit und die Freiheit, die notwendig ist, um auch in seinem Berufe allein nicht bloß mechanisch, was andere vor ihm getan, nachzuahmen, sondern selbst Erweiterungen und Verbesserungen vorzunehmen.“
[Humboldt 1809, S. 206]

Im Gegensatz zu einer Ausbildung zur Bewältigung spezieller Situationen setzt die Konzeption des deutschen Bildungssystems seit Wilhelm von Humboldt vielmehr auf eine allgemeine Persönlichkeitsbildung, die den Menschen befähigt, in einer Vielzahl komplexer Situationen angemessen zu reagieren. Nur entsprechend gebildete Persönlichkeiten sind in der Lage, ihre Begabungen zu erkennen und zu nutzen. Wichtigster Baustein der Begabungs- und Interessenförderung ist neben einer Lehrkraft, die von ihrem Fach begeistert ist, nach wie vor guter Unterricht, d.h. Unterricht, der kognitiv aktivierend ist und bei dem die Schülerinnen und Schüler selbstständig denken lernen. Dazu gehören vor allem ein die Schülerinnen und Schüler herausforderndes hohes fachliches Niveau und ein hohes Maß an Schüleraktivierung in allen Phasen des Unterrichtes [vgl. Meidinger 2009]. Schulischer Unterricht, der Begabung und Interesse weckt und fördert, entspricht im Wesentlichen dem, was gymnasialen Unterricht an sich auszeichnen sollte: von Anfang an selbst denken und arbeiten, lernen Dinge zu hinterfragen und dabei die richtigen Fragen zu stellen, anstatt nur Fakten auswendig zu lernen [vgl. Rekus 2015].

In diesem Sinne ist z. B. guter Mathematikunterricht der, bei dem die Schülerinnen und Schüler selbstständig denken lernen. Die Aufgabe der Lehrkraft ist es dabei nicht, den Schülerinnen und Schülern vorzuführen, dass sie selbst Mathematik beherrscht – das hat sie spätestens mit dem ersten Staatsexamen hinreichend nachgewiesen –, sondern die Aufgabe der Lehrkraft ist es, im Unterricht Situationen zu schaffen, in denen die Lernenden selbst Mathematik betreiben. Schülerinnen und Schüler lernen gerne oder sind gerne dazu bereit sich zu engagieren, wenn sie eine Sache interessiert, wenn sie dafür eine Belohnung erhalten (Noten, Geld, ...) oder wenn sie dafür Anerkennung von jemandem erhalten, auf dessen Urteil sie Wert legen [Felten 2016, S. 48f.]. Spätestens an dieser Stelle kommt die Persönlichkeit der Lehrkraft und ihr persönliches Verhältnis zu den Schülerinnen und Schülern ins Spiel. Es ist eine Binsenweisheit, die – nicht erst seit der Hattie-Studie – jedem, der mit Schulpraxis zu tun hat, klar ist: die Lehrkraft ist der entscheidende Faktor für guten Unterricht; und nicht Arbeitsmaterialien, Methoden oder integrative Schulformen. Für guten Unterricht braucht man gute Lehrkräfte. Gute Lehrkräfte fördern und entwickeln Begabung und Interesse an Mathematik bei ihren Schülerinnen und Schülern. Ein Teil dieser Schülerinnen und Schüler werden gute Lehrkräfte. Gute Lehrkräfte fördern und entwickeln Begabung und Interesse an Mathematik bei ihren Schülerinnen und Schülern. usw.

Was aber macht eine gute Lehrkraft aus? Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts glaubten viele, dass alleine die wissenschaftliche Durchdringung des Lehrfaches den Lehrer für seinen Beruf befähigt. Heute

glauben manche Studierende, dass alleine zu lernendes methodisches und pädagogisches Handwerkzeug Gymnasiallehrkräfte für ihren Beruf fähig macht. Beides alleine für sich genommen ist falsch! Gute Fachkenntnisse zu haben ist zwar notwendig, aber nicht hinreichend dafür, eine gute Lehrkraft zu werden; sie nicht zu haben, ist jedoch eine Garantie dafür zu scheitern. Im rheinland-pfälzischen Lehrplan der Sekundarstufe I werden im Vorwort der Ministerin beide großen Anforderungsbereiche an Lehrkräfte zielsicher und treffend charakterisiert:

„Mein Wunsch ist es, dass es den Lehrkräften gelingt, die selbstbewusste und aktive Auseinandersetzung aller Lernenden mit Mathematik zu fördern, dass die Schülerinnen und Schüler sich im Mathematikunterricht als leistungsstark erfahren und dass den Lehrkräften auch ihre Freude und Faszination an Mathematik und an der Entwicklung der Schülerinnen und Schüler hilft, ihre vielfältigen schulischen Aufgaben zu bewältigen.“ [MBWJK Rheinland-Pfalz 2007, S. II]

Wie aber agiert eine gute Lehrkraft im Unterricht? Im Wesentlichen indirekt: Die Kunst ist es, lehrerstrukturierten, aber nicht lehrergelenkten, und schülerzentrierten, aber trotzdem fachwissenschaftlich fundierten Unterricht zu gestalten. Die im realen Mathematikunterricht dazu am häufigsten verwendeten Methoden sind das fragend-entwickelnde und das erarbeitende Unterrichtsgespräch. Die Strukturierung erfolgt dabei vor allem durch die in den Unterricht eingebrachte herausfordernde Problemstellung und nicht durch eine kleinschrittige Lenkung des Unterrichtsablaufes in Hinblick auf den von der Lehrkraft erwarteten Lösungsweg [Mattheis 2015, S.7-9 und 15-16].

Schulischer Unterricht orientiert sich an den Schülerinnen und Schülern, universitärer Unterricht orientiert sich an der Wissenschaft. Die Lehramtsstudierenden erleben an der Universität im Wesentlichen universitären Unterricht und können so im Rahmen ihres Studiums keine Primärerfahrungen zu gutem schulischen Unterricht machen. Erwartungsgemäß funktioniert Lernen durch belehrenden Dozentenvortrag in einer Vorlesung zur Didaktik genauso wenig wie im schulischen Mathematikunterricht. Eigener wissenschaftlicher – oder auch wissenschaftspropädeutischer – Erkenntnisgewinn entsteht hier wie dort in der persönlichen, direkten Auseinandersetzung mit Problemstellungen und im Dialog mit anderen an der Erkenntnissuche Beteiligten. Wie ein solcher Unterricht abläuft und was es beim Lernenden auslöst, lernen Studierende nicht theoretisch beim Hören in einer Vorlesung, sondern nur praktisch, wenn sie es am eigenen Leibe erfahren. Deshalb ist es sinnvoll, wenn einzelne Lehrveranstaltungen entsprechend organisiert und dann direkt von und mit den Studierenden auf einer Meta-Ebene auch analysiert werden.

Lehramtsstudierende der Mathematik müssen im Studium die oben beschriebene Faszination und Schönheit der Mathematik, aber auch die Durchführung von gutem Unterricht erleben können. Dazu ist es notwendig, dass sie die Bereitschaft haben, sich auf beides einzulassen, und nicht nur „schulrelevante“ Inhalte und direkt anwendbare Unterrichtsrezepte lernen wollen.

Genauso wie das Ziel von Schule die Bildung von eigenständigen und eigenverantwortlichen Persönlichkeiten ist, muss es auch das Ziel der Hochschulen sein, eigenständige und eigenverantwortliche Lehrerpersönlichkeiten zu bilden, statt lediglich eine Lehrerausbildung zu betreiben. Eine im Humboldtschen Sinne gebildete Lehrerpersönlichkeit wird mit den vielen unterschiedlichen Unterrichtssituationen eines Lehrerlebens wesentlich besser umgehen und flexibel und angemessen reagieren können als eine in speziellen Methoden und für spezielle Einzelsituationen ausgebildete Lehrkraft, die nur in den Situationen reagieren kann, für die sie ausgebildet wurde.

Entsprechend gebildete Lehrerpersönlichkeiten werden dann auch in ihrem Berufsleben Begabung und Interesse ihrer Schülerinnen und Schüler für die Mathematik fördern können, ohne in ihrem Studium schon mit allen konkreten organisatorischen Möglichkeiten von Begabungs- und Interessenförderung in Berührung gekommen zu sein. Mit außerunterrichtlichen, den Unterricht ergänzenden Angeboten wie Arbeitsgemeinschaften, Wettbewerben, Schülerakademien etc. kommen Schülerinnen und Schüler normalerweise nur in Kontakt, wenn sie von Lehrkräften, deren Urteil sie vertrauen, darauf hingewiesen werden [Ulm 2009, S. 38f.]. Deshalb ist es wichtig, dass Lehrkräfte möglichst viele der entsprechenden Möglichkeiten selbst kennen. Dazu ist es zwar nicht notwendig, aber äußerst hilfreich, wenn die Lehr-

kräfte in ihrer eigenen Schulzeit bereits selbst an Wettbewerben, Schülerakademien etc. teilgenommen haben. Da dies leider nur in geringem Maße der Fall ist, kann man Studierende für entsprechende Angebote außerunterrichtlicher Begabungsförderung sensibilisieren und sie damit vertraut machen, wenn man sie als Helfer bei Preisverleihungen oder Schülerakademien einsetzt. Auf diese Weise können die Studierenden wenigstens ein Gefühl für die Intensität und Begeisterungsfähigkeit von mathematisch interessierten Schülerinnen und Schülern erhalten. Wenn man diese einmal erlebt hat, wird man sich auch später als Lehrkraft vermehrt dafür einsetzen, begabten und interessierten Schülerinnen und Schülern solch tolle Erfahrungen zu ermöglichen. Lehrkräfte sollten einen Überblick über möglichst viele Wettbewerbe, Schülerakademien, populärwissenschaftliche Bücher, Schülerzeitschriften (z. B. MONOID, Wurzel) etc. haben, um begabte und interessierte Schülerinnen und Schüler konkret darauf hinzuweisen bzw. mit Nachdruck dafür zu sorgen, dass Angebote wahrgenommen werden.

Zum Schluss möchte ich den großen Göttinger Mathematiker Felix Klein zitieren. Nicht nur bei ihm entdecken wir, dass der entscheidende Faktor jeder Begabungs- und Interessenförderung bei Schülerinnen und Schülern in der Tat die Lehrerpersönlichkeit und ihr Bild von gutem Mathematikunterricht ist. Wenn wir seinen Appell ernst nehmen, darf die Lehrerbildung Studierende nicht primär in Bezug auf Methoden und Kompetenzen ausbilden, sondern muss den Fokus stattdessen darauf lenken, Lehrerpersönlichkeiten zu bilden.

„Im Einzelnen möchte ich der Individualität des Lehrers eine weitgehende Freiheit lassen; ich glaube mehr an die Wirksamkeit der Persönlichkeiten als an diejenige der Methoden und ausgeklügelten Lehrpläne.“ [Klein 1900, S. 70]

Martin Mattheis unterrichtet seit 1995 Mathematik, Geschichte und Informatik am Frauenlob-Gymnasium in Mainz und seit 2005 Didaktik der Mathematik am Institut für Mathematik der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. Außerdem leitet er die Schultheatergruppe “Schauspielgruppe des Frauenlob-Gymnasiums”; und er ist MINT-Botschafter des Jahres 2012.

Literatur:

- Felten, Michael: *Nur Lernbegleiter? Unsinn, Lehrer!*, Berlin (Cornelsen) 2016.
- Hattie, John: *Lernen sichtbar machen*, Hohengehren (Schneider) 2013.
- Humboldt, Wilhelm von: *Bericht der Sektion des Kultus und Unterrichts. 1. Dezember 1809*. Wilhelm von Humboldts Gesammelte Schriften Band X, Berlin: Behr 1903, Nachdruck Berlin: de Gruyter 1968, 199-224.
- Klein, Felix: *Gutachten zur Schulkonferenz 1900*. In Schubring, G. (2000). Felix Kleins Gutachten zur Schulkonferenz 1900: Initiativen für den Systemzusammenhang von Schule und Hochschule, von Curriculum und Studium. MU 46 (3). 62-76.
- Mattheis, Martin: *Das schnelle Methoden-1 × 1 Mathematik*. Berlin (Cornelsen) 2015.
- Meidinger, Heinz-Peter: *Begabtenförderung am Gymnasium zwischen Anspruch und Wirklichkeit* In: Lin-Klitzing, S. & Fuccia, D. & Müller-Frerich, G. *Begabte in der Schule - fördern und fordern*. Beiträge aus neurobiologischer, pädagogischer und psychologischer Sicht. (S. 160-167). Bad Heilbrunn (Klinkhardt) 2009.
- Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Jugend und Kultur Rheinland-Pfalz (2007). *Rahmenlehrplan Mathematik (Klassenstufen 5-9/10)*, Mainz.
- Rekus, Jürgen: *Fachwissenschaft: Markenkern gymnasialer Lehrerbildung*. Profil 22 (2015) Heft 7-8, 18-25.
- Ulm, Volker: *Mathematische Begabung und ihre Förderung im Unterricht*. Profil, 16 (2009) Heft 12, 31-39.

11 Gästenachmittag

Programm des Gästenachmittags

15 Uhr

Gemeinsames Kaffeetrinken

16 Uhr

Begrüßung, Grußworte

Plenumschor

Präsentationen

Geschichte in Bewegung

Informatik: Das Innenleben eines Computerspiels

Mathematik: Beweise zwischen mathematischem Arbeitsalltag und mathematischer Schönheit

Physik: Thermodynamik

Chorstudio

Kammermusik

Kontratanz

Musikalische Improvisation

Naturkunde

18:30 – 20:00 Uhr

Gemeinsames Abendessen

20:00 Uhr

English Theatre „Hogfather“

Im Anschluss fand ein geselliger Ausklang des Tages statt.

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

mukK Fotowerkstatt

mukK Italienische Sprache und Kultur

mukK Malen, Zeichnen und Gestalten

Akademie-Fotoshow

12 Auszüge aus studentischen Abschlussberichten

Die Auswahl der anonymisierten und gekürzten Auszüge bezieht sich in diesem Jahr vor allem auf Arbeitsmethoden, das Verhältnis von Lehrenden und Lernenden sowie das Entwicklungs- und Bildungspotential für alle Beteiligten.

Die ungebrochene, sich immer mehr steigende Motivation der SchülerInnen und ihre Bereitschaft, sich auch in knifflige abstrakte Fragen konstruktiv zu verbeißen, entlohnten uns BetreuerInnen für manch stressige Phase, für manchen allzu eng getakteten und mit Organisatorischem vollgepackten Tag. Es war äußerst befriedigend mitverfolgen zu können, wie unsere SchülerInnen in nur zwölf Tagen inhaltliche, aber vor allem persönliche Sprünge nach vorn taten, die ich tatsächlich so nicht für möglich gehalten hätte. Dabei spielte die Ergänzung der fachlichen Kurse mit dem musischen Angebot meiner Meinung nach eine zentrale Rolle.

Ich für meinen Teil möchte meinen Schülern vermitteln, dass die Essenz des wissenschaftlichen Arbeitens das Zweifeln bzw. das Hinterfragen ist und das wird aus meiner Sicht durch einen kreativen Anteil an der Akademie unterstützt.

Es ist offensichtlich, dass eine unglaublich breite Spanne an Angeboten in einer kurzen Zeit untergebracht werden konnte. Die Vielseitigkeit und Offenheit, die dabei prinzipiell zu Tage trat, lernte ich während der Akademiezeit sehr zu schätzen. Nicht nur, dass es einige Dinge gab, denen ich noch nie begegnet war bzw. die ich vermutlich auch sonst nie kennengelernt hätte, möchte hier betonen. Vielmehr sehe ich einen großen Pluspunkt der Schülerakademie darin, dass sie einen Rahmen und Gelegenheit bietet, sich selbst auszuprobieren, herauszufinden, was einem Spaß macht und was es noch alles für Möglichkeiten gibt, mit denen es sich zu beschäftigen lohnt. Diese Tatsache betrifft dabei nicht nur die SchülerInnen, sondern auch Leitung und StudentInnen gleichermaßen.

Ich denke dass die Verknüpfung von Theorie und Praxis eine wichtige Lehrweise darstellt und dass im besonderen Maße die akademische Heterogenität der Lehrenden das Interesse der SchülerInnen weckt.

Generell gab es bei den Vorträgen viele interaktive Arbeitsphasen, bei der die Eigeninitiative und Selbstständigkeit der SchülerInnen gefragt war. In den anschließenden Feedbackrunden stellte sich heraus, dass die SchülerInnen das selbstständige Arbeiten als wertvoll empfanden und sehr schätzten. Diese aktive und reflexive Auseinandersetzung mit dem Material ist eine der besten Methoden, neue Lernthemen zu studieren.

Durch die Schülerakademie wurde mir noch einmal bewusst, wie wichtig Reflexion und gegenseitiges Feedback sind. Auch eine kritische Selbstreflexion ist unbedingt erforderlich, da man gerade als LehrerIn mehr als nur „Vermittler von Wissensstoff“ ist.

Besonders durch das von allen Seiten gleichermaßen gewünschte und konstruierte Gemeinschaftsgefühl in einem von Toleranz und gegenseitiger Wertschätzung geprägten Miteinander trug dazu bei, dass die SchülerInnen gegen Ende und nach der Akademie davon redeten, sie haben sich auf der Burg „wie Zuhause gefühlt“, dass sie dort „sie selbst sein“ konnten und „sich selbst neu erfinden“ durften. Ich denke, dass daher gerade in diesem Zusammenhang eine der zentralen Aufgaben der Schülerakademie zu sehen ist: Die SchülerInnen, die an der Hessischen Schülerakademie teilnehmen, bringen bereits (Hoch-)Begabung, Motivation und Engagement als Voraussetzungen mit. Dennoch fehlen ihnen im (schulischen) Alltag häufig der Raum und die Möglichkeiten, diese Begabungen und vielseitigen Interessen auszuleben und zu entdecken.

Häufig aber erleben die SchülerInnen, wie sie auch selbst berichteten, im Alltag von außen auferlegte Schranken oder haben das Gefühl, nicht für das, was sie interessiert, anerkannt zu werden. Die Schülerakademie nun bietet einen Raum, dass die SchülerInnen verschiedene Dinge ohne Vorurteile und letztlich auch ohne Konsequenzen ausprobieren können, was in hohem Maße zur Selbstfindung und

zum Erwachsenwerden beiträgt. Die SchülerInnen lernen damit auch, andere so, wie sie sind, zu akzeptieren. Auf der anderen Seite können sie erfahren, dass es auch in ihrer Verantwortung liegt, selbst aktiv zu werden, während es ihre eigenen Fähigkeiten sind, die es ihnen ermöglichen, konkrete Ziele zu erreichen. Dieses Erlebnis des „learning by doing“, welches auf der Schülerakademie durch Fachkurse und u.a. die musisch-kulturellen Kurse gewährleistet ist, spielt wiederum auch für Lernprozesse eine entscheidende Rolle.

Bemerkenswert ist, dass sich die SchülerInnen ihre Präsentationsweise und den Ablauf ihrer Vorträge jeweils selbst überlegten und somit nicht nur fachliche/inhaltliche, sondern auch didaktische Überlegungen in ihre Vorbereitung mit einfließen. Die SchülerInnen konnten daher auch das Planen und Ausarbeiten einer Präsentation auf der Schülerakademie üben und ihre Fähigkeiten diesbezüglich ausbauen. Daher war es eben vor allem auch Aufgabe der SchülerInnen, noch parallel zum Schulalltag Verantwortung für die Vorbereitung auf die Akademie zu übernehmen, was ein hohes Maß an Metakognition und Selbstregulierungsfähigkeiten erfordert.

Außerdem wurde mir noch einmal bewusst, wie wertvoll es (auch für meinen späteren Beruf als LehrerIn) ist, die SchülerInnen für eine Sache zu begeistern, da sie dann viel mehr aus der Situation oder dem Sachverhalt lernen. Besonders gefreut hat mich auch, als die SchülerInnen sagten, auf der Akademie genauso „verrückt“ sein zu können, wie sie wollten. Es hat niemanden gestört, wenn man sich anders verhielt als die anderen und keiner wurde aus der Gruppe ausgeschlossen. Ich denke, hier liegt ein großer Unterschied zum Schulalltag.

Für bemerkenswert hinsichtlich des sozialen Klimas auf der Burg halte ich die von allen gelebte Selbstverständlichkeit, dass jeder Einzelne individuell ist und damit Stärken, aber auch Schwächen hat. Für die Kommunikation zwischen SchülerInnen und Studierenden/DozentInnen ist dies insofern relevant, als dass auch das Eingestehen von u.a. fachlichen Schwächen zu keinem Verlust von Respekt geführt hat. Hingegen gehörte es zum common-sense, dass jeder Mensch in seiner Vielfalt und Eigenheit akzeptiert und toleriert wird.

Die HSAKA 2016 hat uns BetreuerInnen und unseren SchülerInnen gleichermaßen die Möglichkeit gegeben, das Lernen im klassischen, hierarchisch-geprägten Lehrer-Schüler-Verhältnis durch einen gemeinschaftlich gestalteten und verantworteten Lernprozess zu ersetzen. Dieser war geprägt von ständigem Ausprobieren und Austesten, von Vertrauensversuchen und gegenseitigen Rückversicherungen, von gemeinsam überwundenen Unsicherheiten und der offenen und partnerschaftlichen Begegnung im Neuen. Der Dialog als verbindendes, konstruktives Mittel stand dabei zu jeder Zeit im Vordergrund, ja war selbst Lern- und Erfahrungsziel, nicht bloß Methode. Dabei haben sich soziale Erfahrungen auf Inhaltliches rückausgewirkt und auch inhaltliche Neuerkenntnisse die persönliche Zusammenarbeit bestätigt und bestärkt. Es ist uns gelungen, einen gleichberechtigten Lernprozess zu schaffen, der wiederum eine Kultur der Offenheit möglich gemacht hat, die weit über das in hierarchischen Lernverhältnissen Erfahrbare hinausgeht. Wir dürfen sogar hoffen, dass unsere gemeinsame Arbeit uns in Bezug auf unser Leben in der Gesellschaft dahingehend geprägt hat, kooperativen, dialogischen Formen der Zusammenarbeit stärker zu vertrauen.

Auch wenn die SchülerInnen im Vergleich zu Gleichaltrigen besonders gut sind, sind sie doch immer noch SchülerInnen, wissen nicht alles und brauchen an einigen Stellen die Unterstützung von außen. Den Vorsprung gegenüber Gleichaltrigen gewinnen sie hingegen vor allem durch einen gewissen Perfektionismus und Selbstanspruch sowie durch eine starke intrinsische Motivation und besondere Selbstdisziplin – Dinge, die sich auch in der Kursarbeit immer wieder zeigten. Es war erkennbar, dass sich die SchülerInnen auf Grund ihrer Begabung und Motivation auch stetig selbst neue Herausforderungen suchen, dabei aber eben nicht völlig sich selbst überlassen werden sollten, und dass sie sehr dankbar für Angebote sind, die ihren Wissenshunger stillen.

13 Teilnehmende

Leitung und musisch-kulturelles Angebot

Fabian	Angeloni	Italienisch/	Leitungsassistentz
Gregor	Angeloni	Physik/	Leitungsassistentz
Prof. Dr. Wolf	Aßmus	Physik/	Naturerkundung
Franziska	Bank	Geschichte/	Kunst
Simone	Beege	Theaterimprovisation	
Alexander	Dick	Physik/	Fotografie
Dr. Peter	Gorzolla	Geschichte/	Gesamtleitung
Dr. Cynthia	Hog-Angeloni	Mathematik/	Gesamtleitung
Antonia	Kölble	Kammermusik	
Andreas	Mlynek	Musikalische Improvisation	
Lisa	Ochsendorf	Chor	
Dr. Daniel	Schiffner	Informatik	
Annika	Walter	Englisches Theater	
Lena	Walter	Englisches Theater	
Benedikt	Weygandt	Mathematik	
Birthe Anne	Wiegand	Informatik/	Kunst
Julia	Wirth	Gender und Gesellschaft/	Leitungsassistentz
Julia	Zaenker	Kontratanz/	Storytelling

Studentisches Team in den Fachkursen

Hendrik	Budy	Physik	Benedikt	Ebert	Informatik
Jan	Fotakis	Physik	Maxim	Gerspach	Mathematik
Moritz	Gleditzsch	Geschichte	Hannes	Güdelhöfer	Informatik
Mischa	Holz	Informatik	Rüdiger	Kling	Mathematik
Marina	Kukina	Geschichte	Lara	Neubert	Geschichte
Louise	Ohlig	Mathematik	Nina	Quandt	Geschichte
Leon	Strauss	Informatik	Ann-Marie	Taupp	Mathematik
Dalila	Truchan	Geschichte	Hilmar	Wiegand	Informatik
Niklas	Wulff	Physik			

Schülerinnen und Schüler

Geschichte		Informatik		Mathematik		Physik	
Adalie	Ament	Lucas	Aschenbach	Aya	Abdel Rahman	Nele	Dierlamm
Julia	Damrath	Bela	Bohlender	Lea	Bach	Karl	Erlemann
Armin	Dashti	Tobias	Chen	Lena	Buchwald	Elias	Fischer
Elina	Dilger	Jannis	Hamborg	Joel	Cortéz Thaler	Samuel	Haas
Sarah	Greilich	Alexandra	Janzer	Yara	Elshiaty	Philipp	Heering
Natascha	Janho	Milisa	Jettkandt	Vincent	Hoppmann	Kira	Knauff
Richard	Kettner	Hannah	Kraus	Alea	Meyreiß	Eric	Kühner
Victoria	Kolac	Fabrice	v. d. Lehr	Freya	Moßig	Jakob	Lohr
Zoé	Philipps	Paul	Taverne	Svenja	Neumann	Antonia	Weiland
Louisa	Schwarz	Leon	Vack	Johanna	Schmidt	Max	Wiegand
Esther	Twardella			Erik	Walter		

Wir danken unseren Förderern

HESSEN



Hessisches
Kultusministerium



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

HESSEN



Hessische
Lehrkräfteakademie