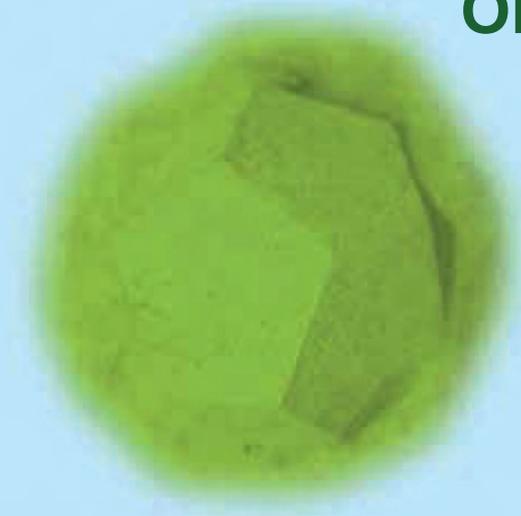


# Hessische Schülerakademie 2017

**OBERSTUFE**



## **Dokumentation**

**30.07. - 11.08.2017**

veranstaltet von  
Goethe Universität Frankfurt/Main,

Hessische Lehrkräfteakademie

Hessische Heimvolkshochschule  
BURG FÜRSTENECK

Schirmherr: Kultusminister Prof. Dr. Alexander Lorz



# Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International (CC BY-SA 4.0)

Dies ist eine allgemeinverständliche Zusammenfassung der Lizenz (die diese nicht ersetzt).

## Sie dürfen:

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

**Bearbeiten** — das Material remixen, verändern und darauf aufbauen und zwar für beliebige Zwecke, sogar kommerziell.

## 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.



**Weitergabe unter gleichen Bedingungen** — Wenn Sie das Material remixen, verändern oder anderweitig direkt darauf aufbauen, dürfen Sie Ihre Beiträge nur unter derselben Lizenz wie das Original verbreiten.

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

## Hinweise:

Sie müssen sich nicht an diese Lizenz halten hinsichtlich solcher Teile des Materials, die gemeinfrei sind, oder soweit Ihre Nutzungshandlungen durch Ausnahmen und Schranken des Urheberrechts gedeckt sind.

Es werden keine Garantien gegeben und auch keine Gewähr geleistet. Die Lizenz verschafft Ihnen möglicherweise nicht alle Erlaubnisse, die Sie für die jeweilige Nutzung brauchen. Es können beispielsweise andere Rechte wie Persönlichkeits- und Datenschutzrechte zu beachten sein, die Ihre Nutzung des Materials entsprechend beschränken.

Die ISBN-Nummer dieser Publikation ist 978-3-910097-30-8. Sie ist bei einer Verwendung anzugeben.

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

# 13. Hessische Schülerakademie

## Oberstufe

30. Juli – 11. August 2017

– 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  
müsisch-kulturelle Weiterbildung

Am Schlossgarten 3

36132 Eiterfeld

Diese Dokumentation ist erhältlich unter:

<http://www.hsaka.de>

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorwort</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Grußwort der Musischen Gesellschaft</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Handreichung zum Lesen der Dokumentation</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Mathematikkurs</b>	<b>7</b>
4.1	Was die ollen Griechen für Probleme hatten... – Konstruktionen mit Zirkel und Lineal . . . . .	7
4.2	Das fundamentale Thema des ganzen Kurses – Axiomensysteme und Origami-Axiome . . . . .	9
4.3	Rationale Verhältnisse . . . . .	11
4.4	Irrationale Verhältnisse . . . . .	13
4.5	Das Mögliche bleibt möglich: Origami-Algebra Teil 1 . . . . .	15
4.6	Das Unmögliche wird möglich: Origami-Algebra Teil 2 . . . . .	16
4.7	Projektive Geometrie . . . . .	19
4.8	Die Lill-Methode und reelle Nullstellen . . . . .	20
4.9	Sturmsche Ketten . . . . .	22
4.10	Von Bergen, Tälern und Landkarten – Origami Faltmuster . . . . .	24
4.11	Mathematische Wellen schlagen, Origami und Fraktale . . . . .	26
<b>5</b>	<b>Physikkurs</b>	<b>28</b>
5.1	Schall . . . . .	28
5.2	Sonographie . . . . .	30
5.3	Optik und Augenmodell . . . . .	32
5.4	Grundlagen der Röntgenstrahlung in der Medizin . . . . .	33
5.5	Medizinische Anwendung der Röntgenstrahlung . . . . .	36
5.6	Computertomographie . . . . .	38
5.7	Magnetresonanztomographie (MRT) . . . . .	40
5.8	Positronen-Emissions-Tomographie . . . . .	42
5.9	Szintigraphie . . . . .	43
5.10	Strahlentherapie . . . . .	45
<b>6</b>	<b>Informatikkurs</b>	<b>48</b>
6.1	Atmosphäre . . . . .	48
6.2	Musik und Soundeffekte . . . . .	50
6.3	Kognition – Aufmerksamkeit und Tiefenwahrnehmung . . . . .	52
6.4	Kognition – Objekt- und Bewegungswahrnehmung . . . . .	54
6.5	User Experience und User Interfaces . . . . .	55
6.6	Geschichte der Animation . . . . .	57
6.7	Animationstechniken . . . . .	60
6.8	Prozedurale Generierung . . . . .	62

---

6.9	Grafische Generierung . . . . .	64
6.10	Spielmechaniken . . . . .	66
6.11	Interaktive Spielwelt . . . . .	68
6.12	Charakterfortschritt und Belohnungssysteme . . . . .	70
<b>7</b>	<b>Geschichtskurs</b>	<b>73</b>
7.1	Objektivität in der Geschichtsschreibung . . . . .	73
7.2	Alterität - Das Spannungsfeld zwischen Eigenem und Fremden . . . . .	75
7.3	Erinnerungen im kollektiven Gedächtnis: das Beispiel Canossa . . . . .	78
7.4	Erinnerungskultur im Zeitalter von Social Media . . . . .	82
7.5	Diskursanalyse in der Geschichte . . . . .	85
7.6	Die Macht der Narrative . . . . .	88
7.7	Objektivität in der Geschichtsschreibung – revisited . . . . .	91
7.8	Geschichte verstehen in einer postmodernen Welt . . . . .	93
<b>8</b>	<b>Musisch-kulturelle Kurse</b>	<b>95</b>
8.1	Bühnenbild . . . . .	97
8.2	English Theatre . . . . .	97
8.3	Fotografie . . . . .	98
8.4	Instrumentalmusik . . . . .	98
8.5	Kontratanz . . . . .	99
8.6	Malen, Zeichnen und Gestalten . . . . .	100
8.7	Musikalische Improvisation . . . . .	101
8.8	Naturkunde . . . . .	102
8.9	Storytelling . . . . .	102
8.10	Theaterimprovisation . . . . .	103
<b>9</b>	<b>Auszüge aus studentischen Abschlussberichten</b>	<b>104</b>
<b>10</b>	<b>Teilnehmende</b>	<b>108</b>

## 1 Vorwort

Wer gern mitzählt, wird vielleicht festgestellt haben, dass im Sommer 2017 die zwanzigste Hessische Schülerakademie stattfand – dreizehn Oberstufenakademien waren es seit 2004, sieben für die Mittelstufe kamen seit 2011 hinzu. Zwanzig erfolgreiche Akademien bieten nicht nur Anlass zur Freude, sie bilden auch die solide Grundlage für einen selbstbewussten Blick in die Zukunft. Im nächsten Frühjahr lädt daher die Akademie Burg Fürsteneck gemeinsam mit dem Hessischen Kultusministerium zu einem interdisziplinären Symposium ein, bei dem die Hessische Schülerakademie und das Programm KulturSchule im Mittelpunkt stehen: Unter dem Titel „Kulturelle Bildung auf dem Weg“ beschäftigen sich vom 2. bis zum 4. März 2018 Fachleute aus Wissenschaft und Praxis auf Burg Fürsteneck mit den „Qualitätsbedingungen in der Kulturellen Bildung am Beispiel der Schülerakademien und der Kulturschulen in Hessen“. Um dort einen echten Einblick in die Arbeit der Hessischen Schülerakademie zu ermöglichen, werden aktuelle Schülerinnen und Schüler, studentische Betreuerinnen und Betreuer sowie Alumni in einigen Workshops als Mitwirkende eine zentrale Rolle spielen. Besonders erfreulich finden wir zudem, dass der Schirmherr unserer Schülerakademie, der Hessische Kultusminister Prof. Dr. R. Alexander Lorz, auch die Schirmherrschaft über das Symposium übernimmt und die Veranstaltung eröffnen wird.

Wir sind natürlich stolz darauf, dass sich das „Bildungsabenteuer“ der Hessischen Schülerakademie, dessen Erfolg 2004 längst nicht garantiert war, über die Jahre bewähren konnte und nun sogar als Exempel zur Untersuchung von Qualitäts- und Gelingensbedingungen in der hessischen Bildungslandschaft dienen kann. Uns ist aber auch klar, dass dieses Gelingen nicht ohne die engagierte Mitarbeit vieler Beteiligten und die unermüdliche Unterstützung alter wie neuer Kooperationspartner möglich ist: Die enge Zusammenarbeit der Leitungen von Mittelstufen- und Oberstufenakademie, Kuratorium und Akademie Burg Fürsteneck hat in den vergangenen Jahren auf vielfältige Weise durch die Kontakte zum Schulentwicklungsprogramm KulturSchule neue Impulse erfahren. Bewährte Partner wie die Muische Gesellschaft tragen ebenso seit vielen Jahren zum Erfolg der Hessischen Schülerakademien bei wie der erst 2014 gegründete und schon sehr aktive Alumni- und Förderverein. Im kommenden Jahr soll die Kooperation mit der Akademie für Bildungsforschung und Lehrerbildung der Goethe-Universität unseren Lehramtsstudierenden eine engere curriculare Vernetzung von Theorie und Praxis im Studium und auf der Schülerakademie ermöglichen. Und nicht zuletzt stärken immer wieder private Förderungen (wie dieses Jahr durch den Lions-Club Sulzbach) unsere Bemühungen, Schülerinnen und Schülern aus einkommensschwachen Familien die Teilhabe an den Bildungsangeboten der Hessischen Schülerakademie zu erleichtern.

Ohne das Ergebnis des Symposiums vorwegnehmen zu wollen, dürfen wir also schon einmal sagen: Das Gelingen der Hessischen Schülerakademie begründet sich für uns vor allem im gemeinsamen Tun und im engagierten Einsatz für die Sache, getragen von vielen aktiven und begeisterten Menschen. In diesem Sinne bleibt uns nur, auch dieses Jahr wieder all jenen unsere tief empfundene Dankbarkeit auszusprechen, die zur Hessischen Schülerakademie für die Oberstufe 2017 und zum Entstehen ihrer Dokumentation beigetragen haben.

Frankfurt am Main, im Dezember 2017

Peter Gorzolla, Cynthia Hog-Angeloni und Gregor Angeloni

## 2 Grußwort der Musischen Gesellschaft

Auf einer Schülerakademie treffen viele ganz verschiedene Menschen aufeinander. Hier trifft ein ehrgeiziger und zielstrebigere Mensch namens Homo Faber auf eine Muse:

Homo Faber: Ich finde es schön, dass ich mich bei diesem anstrengenden Tagesprogramm bei ganz viel Input in den Fachkursen wenigstens in den musisch-kulturellen Kursen ein wenig erholen kann. Sonst würde ich das hier so viele Tage lang gar nicht durchstehen!

Die Muse: Oh, zum Erholen könntest Du allerdings auch einfach spazieren gehen oder Dich in die Sonne legen.

Homo Faber: Ja, aber dann doch lieber etwas Kreatives tun: Singen, Theater, Tanzen und so.

Die Muse: Warum brauchst Du überhaupt Erholung? Wenn man sich mit Begeisterung in eine Sache stürzt, dann mag man doch oft gar nicht mehr aufhören!

Homo Faber: Stimmt! Oft denke ich, jetzt würde ich lieber im Fachkurs weitermachen, und ehrlich gesagt: das Musische ist ja gar nicht so meine Sache! Aber irgendwie kommt man mal auf andere Gedanken.

Die Muse: Jetzt kommen wir der Sache schon näher. Ich für meinen Teil bin nicht auf die Schülerakademie gekommen, damit Du Erholung findest! Die Kehrseite von Begeisterung für eine Sache ist aber das einseitige Sich-Verlieren in einem Thema - und plötzlich nimmt man die möglichen Nebenaspekte seines Forschungsgegenstands gar nicht mehr wahr, weil man Scheuklappen aufgesetzt hat: die erhöhen zwar die Konzentration auf einen gewählten Aspekt, engen aber den Horizont ein.

Homo Faber: Na na, da achten doch die Dozenten im Fachkurs immer wieder darauf, dass vielseitige Herangehensweisen und Methoden zum Einsatz kommen!

Die Muse: Das tun sie bestimmt – aber in den musischen Kursen gibt es die Möglichkeit, das Gehirn noch einmal ganz anders für die Vielseitigkeit all unserer Möglichkeiten zu öffnen - - -

Homo Faber: - - - ich verstehe, im Ausschalten unseres Verstandes befreien wir uns von den Fesseln der Vernunft und gelangen dann - - -

Die Muse: Halt, die Vernunft musst Du auch beim Musischen nicht abschalten! Vielmehr geht es darum, über den spielerischen Umgang unsere eigenen Möglichkeiten zu entdecken und so auf ganz neue Ideen zu kommen!

Homo Faber: Du meinst, die Muse dient eigentlich der Wissenschaft als Kreativinsel, um Neuland zu finden?

Die Muse: Umgekehrt dient dann die Wissenschaft der Muse, um dem natürlichen Bedürfnis des Menschen nach verstandesmäßiger Durchdringung gerecht zu werden und damit auch im Musischen neue Aspekte zu öffnen?

Homo Faber: Vielleicht dient gar nicht einer dem anderen – vielleicht sind beide Aspekte in jedem Menschen angelegt und befruchten sich gegenseitig. Wer einen Aspekt vernachlässigt oder ausblendet, wird bei dem anderen auf Dauer auf der Stelle treten. Wer dagegen die vielen Möglichkeiten seiner Selbst zur Blüte kommen lässt - - -

Die Muse: - - - nimmt die Welt nicht nur reicher wahr, sondern kann ihr auch mehr zurückgeben. Das genau ist der Grund, warum ich hier bin! Allen Beteiligten der Schülerakademie wünschen wir weiterhin viele kreative und vielseitige Impulse!

Hanns Thiemann

1. Vorsitzender der Musischen Gesellschaft

### 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 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 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

### Das Unmögliche möglich machen – Mathematik & Origami

Drei klassische Probleme haben die Mathematiker der Hochkulturen bereits vor über 2000 Jahren beschäftigt:

- Die Quadratur des Kreises
- Die Drittelung des Winkels
- Die Verdopplung des Würfels

Lösungen durften nur in endlich vielen Schritten unter Benutzung der sogenannten Euklidischen Werkzeuge, d.h. mit einem Zirkel und einem Lineal ohne Maßeinteilung, herbeigeführt werden. Erst im 19. Jahrhundert konnte mit algebraischen Methoden für alle drei Probleme bewiesen werden, dass sie im Allgemeinen mit diesen einfachen Hilfsmitteln nicht lösbar sind.

Nun kann man zwar sicher keinen Kreis falten, aber trotzdem lassen sich mit Origami alle Punkte konstruieren, die auch mit den Euklidischen Werkzeugen konstruierbar sind – und sogar noch mehr! So sind sowohl die Winkeldreiteilung als auch die Verdopplung des Würfels mit nur wenigen Faltungen realisierbar. Nur die Quadratur des Kreises können wir knicken (aber eben leider nicht falten). Um zu verstehen, wie wir das Unmögliche möglich machen, tauchen wir in die Welt der Algebra ein. Wir werden beweisen, wieso wir die Lösungen bestimmter Gleichungen mit Origami konstruieren können und werden gemeinsam allerlei Mögliches und Unmögliches falten.

#### Kursleitung

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

*Theresa Kumpitsch*, Mathematikstudentin an der Goethe-Universität Frankfurt am Main

### 4.1 Was die ollen Griechen für Probleme hatten... – Konstruktionen mit Zirkel und Lineal

Julia Schiefele

Betreuer: Rüdiger Kling

#### Einleitung

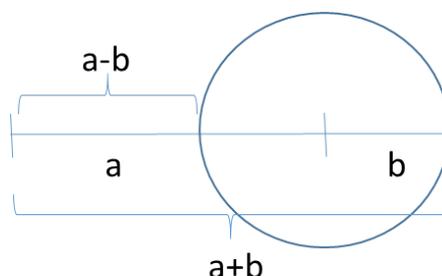
Schon seit Anbeginn der Zeit beschäftigen sich die Menschen mit Mathematik. Besonders herausragende Leistungen erbrachten vor allem die antiken Griechen. Mit ihren Entdeckungen wird heute noch gearbeitet. Als Beispiele lassen sich „Der Satz des Thales“ oder der „Höhensatz“ nennen.

Doch auch die alten Griechen sind schon an Grenzen gestoßen. Wir überprüfen, ob diese geometrischen Probleme wirklich Grenzen sind. Zu diesen Problemen der Antike zählen:

- a die Quadratur des Kreises
- b die Winkeldreiteilung
- c die Würfelverdopplung

### Die Grundelemente der Konstruktion

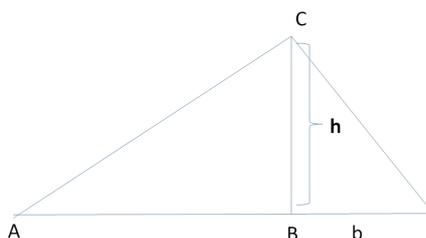
Die griechischen Mathematiker forderten, dass man nur die Euklidischen Werkzeuge, die aus einem Zirkel und einem unskalierten Lineal bestehen, benutzen darf. Doch bevor wir die genannten Probleme genauer untersuchen, müssen wir ein paar Grundelemente beherrschen. Dazu gehören die Addition und Subtraktion von Strecken. Diese lassen sich problemlos konstruieren:



Addition und Subtraktion von Strecken

Dann kommen wir zu der Multiplikation und Division. Dies kann man mit Hilfe des Strahlensatzes durchführen.

Das letzte Grundelement ist das Ziehen der Quadratwurzel. Um die Quadratwurzel zu ziehen, brauchen wir zwei Gesetze der Geometrie, die schon den Griechen bekannt waren, den Satz des Thales und den Höhensatz.



Ziehen der Quadratwurzel

Gegeben sei die Strecke  $a$ , aus deren Länge die Wurzel gezogen werden soll. Ihren Anfang benennen wir mit  $A$  und ihr Ende mit  $B$ . Danach addieren wir die Strecke 1 zu  $a$ . Die Mitte  $M$  aus  $a + 1$  wird zum Mittelpunkt eines Halbkreises mit dem Radius  $\frac{a+1}{2}$ . An  $B$  konstruieren wir eine Orthogonale von  $a + 1$ , die den Halbkreis in  $C$  schneidet. Aus dem Höhensatz folgt nun, dass die Länge der Höhe die Wurzel aus  $a$  ist.  $h^2 = a * 1$  daraus folgt  $h = \sqrt{a}$ .

### Quadratur des Kreises

Kommen wir nun zum ersten Problem der Antike – der Quadratur des Kreises. Die Aufgabe besteht darin, ein Quadrat mit dem gleichen Flächeninhalt wie dem Einheitskreis zu konstruieren. Da  $\pi$  eine irrationale Zahl ist und nicht als Bruch, Quadratwurzel oder verschachtelte Wurzel umgeschrieben werden kann, ist die Strecke  $\pi$  und somit  $\sqrt{\pi}$  mit den oben abgeleiteten Grundelementen nicht konstruierbar. Es gibt nur Näherungen, aber keine exakte Lösung.

### Winkeldreiteilung

Als nächstes untersuchen wir die Winkeldreiteilung. Die Teilung eines Winkels mit Lineal und Zirkel ist nur für bestimmte Winkel möglich wie z. B. für  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ . Doch im Allgemeinen ist die Konstruktion, wie auch im Fall eines Winkels von  $20^\circ$ , nicht möglich. Im Kurs haben wir das Problem auf das Lösen einer kubischen Gleichung zurückgeführt, die wir aber nicht mit den abgeleiteten Grundelementen lösen können.

Sobald man aber die „Spielregeln“ missachtet und zum Beispiel ein Geodreieck zusätzlich zulässt, könnten wir das Problem lösen. Der Lösungsweg nach Ludwig Bieberbach wurde im Kurs ausprobiert.

### Würfelverdoppelung

Das letztgenannte Problem ist die Würfelverdopplung. Die Aufgabe besteht darin, einen Würfel zu konstruieren, der das doppelte Volumen hat wie der gegebene Würfel. Gehen wir von dem einfachsten Würfel aus. Er hat die Kantenlänge 1 und somit ein Volumen von 1. Nun möchten wir das Volumen verdoppeln. Dies bedeutet, die Kanten müssen eine Länge von  $\sqrt[3]{2}$  haben. Wir erhalten also wieder eine kubische Gleichung, die wir geometrisch nicht lösen können. Somit ist die Würfelverdopplung mit den abgeleiteten Grundelementen nicht möglich.

### Ausblick

Es gibt jedoch andere Werkzeuge, mit denen ein Teil der Probleme gelöst werden kann. Die Winkel-dreiteilung und die Würfelverdopplung können mittels Origami gelöst werden, die Quadratur des Kreises jedoch nicht.

### Quellen

*Bieberbach, L.:* Theorie der geometrischen Konstruktionen. Springer, Basel 1952

Skript: Konstruktion mit Zirkel und Lineal von Lukas-Fabian Moser (23.03.13)

Skript: Mathematik AG für Schülerinnen und Schüler von Prof. Dr. Annette Werner und Dr. Amir Dzambic

## 4.2 Das fundamentale Thema des ganzen Kurses – Axiomensysteme und Origami-Axiome

Svenja Neumann

Betreuer: Rüdiger Kling

Für das Lösen einfacher mathematischer Probleme wie beispielsweise kleiner Zahlenrätsel bedienen wir uns oftmals instinktiver Anwendungsregeln, die uns einfach und logisch erscheinen. Wer jedoch komplexere Probleme lösen möchte, dem reicht dieses Handwerkszeug nicht aus. Man benötigt ein solides Fundament, um sich diesen zu nähern. Dieses Fundament besteht aus grundlegenden Aussagen (Axiomen), auf die sich alles zurückführen lässt und die selbst nicht beweisbar sind. Die Begriffe, die man in diesen Axiomen verwendet, nennt man Grundbegriffe oder primitive Terme. Axiome bilden ein Axiomensystem. Alle Sätze des Systems werden logisch abgeleitet. Das Axiomensystem soll konsistent (widerspruchsfrei), unabhängig und vollständig sowie möglichst minimal sein.

Auf diese Aussagensysteme baut die Mathematik des jeweiligen Fachgebietes auf. Wenn man das Axiomensystem nun verändern würde, indem ein Axiom herausfallen würde oder sich Axiome widersprächen, so würde das System zusammenbrechen.

Ein Beispiel für ein Axiomensystem sind die Inzidenzaxiome in der ebenen euklidischen Geometrie. Punkt, Gerade und Ebene sind hier die primitiven Terme. Dreieck, Winkel oder Kreis zählen schon zu „komplizierteren“ Begriffen, da sie aus den Grundbegriffen abgeleitet werden können. Wir untersuchen zunächst folgendes System:

- i. Durch je zwei verschiedene Punkte der Ebene geht genau eine Gerade.
- ii. Jede Gerade enthält mindestens zwei Punkte.
- iii. In der Ebene gibt es drei Punkte, die nicht auf einer Gerade liegen.

Um dies besser zu verstehen, erhielt der Kurs eine Ausgangssituation mit zwei angenommenen Eigenschaften einer fiktiven Ebene, wobei sie durch Folgern aus den Axiomen den Widerspruch zwischen den Voraussetzungen und den eben kennengelernten Axiomen erfolgreich feststellen konnten. Anschließend prüfte der Kurs, ob die drei oben genannten Axiome die Kriterien an ein Axiomensystem erfüllen. Zusammen konnten wir Konsistenz und Unabhängigkeit verifizieren, jedoch wurde die Vollständigkeit angezweifelt. Um das von David Hilbert angegebene Axiomensystem zu komplettieren, ergänzten wir:

- iv. Ist  $g$  eine Gerade und  $P$  ein Punkt, der nicht auf  $g$  liegt, so gibt es genau eine Parallele zu  $g$  durch  $P$ .
- v. Wenn eine Gerade  $g$  zwei andere Geraden trifft und mit ihnen auf derselben Seite innere Winkel bildet, die zusammen weniger als  $180^\circ$  betragen, dann treffen sich diese Geraden auf dieser Seite von  $g$ .

Eine Folgerung aus iv. ist etwa, dass alle nicht zu  $g$  parallelen Geraden durch  $P$  die Gerade  $g$  schneiden.

Dieses Axiomensystem gilt in dieser Form als das erste moderne Axiomensystem der Geometrie. Auch für Origami-Mathematik gibt es Axiomensysteme. Dasjenige des Mathematikers Huzita besteht aus sechs Axiomen, deren primitive Terme Punkte und Geraden sind. Beim Aufstellen des Systems beschränkt man sich auf die einfachen Grundfaltungen (elementare Operationen), bei denen nur eine neue Gerade entsteht. Alle möglichen Kombinationen der Einfachfaltung sollen aus diesen Axiomen folgen.

Die Huzita-Axiome lauten wie folgt:

1. Die Gerade, die zwei konstruierbare Punkte verbindet, ist konstruierbar.
2. Der Schnittpunkt zweier konstruierbarer Geraden ist ein konstruierbarer Punkt.
3. Die Mittelsenkrechte der Verbindungsstrecke zweier konstruierbarer Punkte ist eine konstruierbare Gerade.
4. Zu einem beliebigen konstruierten Winkel ist die Winkelhalbierende konstruierbar.
5. Gegeben seien die konstruierte Gerade  $l$  und die konstruierten Punkte  $P$  und  $Q$ . Die Gerade, die durch  $Q$  geht und  $P$  auf  $l$  spiegelt, ist, sofern diese existiert, konstruierbar.
6. Gegeben seien die konstruierten Geraden  $l$  und  $m$  und die konstruierten Punkte  $P$  und  $Q$ . Die Gerade, die  $P$  auf  $l$  und  $Q$  auf  $m$  spiegelt, ist, sofern diese existiert, konstruierbar.

Zudem gibt es in der Origami-Mathematik noch ein anderes Axiomensystem aus sieben Axiomen (Huzita-Justin-Axiome). Diese decken alle Möglichkeiten ab, um durch Kombination von konstruierten Punkten und Geraden eine einzelne neue Faltgerade zu definieren. Beide Systeme sind nicht minimal. Bei der Arbeit mit Origami-Axiomen muss immer festgelegt werden, in welchem System man sich bewegt.

### Quellen

- Fritzsche, K.:* Tutorium Mathematik für Einsteiger, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 2016  
*Kumpitsch, T.:* „Kubische Gleichungen mit Origami“, Wissenschaftliche Hausarbeit, Goethe-Universität Frankfurt, Dezember 2016

### 4.3 Rationale Verhältnisse

Einour Ihab

Betreuer: Kai-Lars Ritzke

Es fällt uns leicht, durch Falten ein Blatt zu halbieren, zu vierteln oder zu achteln. Schwieriger wird es aber, das Blatt zum Beispiel zu dritteln. In diesem Abschnitt wird Origami dafür verwendet, um rationale Zahlen exakt bzw. wenigstens näherungsweise zu falten. Dafür wird ein Quadrat mit der Seitenlänge 1 verwendet.

Eine rationale Zahl ist eine reelle Zahl, die als Quotient zweier ganzer Zahlen dargestellt werden kann, z.B.  $\frac{1}{2}$ ;  $\frac{3}{5}$ . Um Dezimalzahlen, deren Nenner eine oder keine Zweierpotenz ist, zu falten, verwenden wir das binäre Zahlensystem (Binary Folding Algorithm), d. h. der Bruch muss zuerst in die binäre Zahl umgewandelt werden. Um die binäre Zahldarstellung zu bekommen, wird die Dezimalzahl mit 2 multipliziert. Dann wird von dem Produkt 0 subtrahiert, falls es kleiner als 1 ist, und 1 subtrahiert, falls es größer 1 ist. Die beiden Schritte, Multiplizieren und Subtrahieren wiederholt man, bis man 0 erhält. Bei den Brüchen, deren Nenner keine Zweierpotenz ist, ist der binäre Bruch unendlich. Dann werden alle Nullen und Einsen, die man subtrahiert hat, der Reihe nach hinter dem Komma geschrieben, um so die binäre Zahldarstellung zu erhalten. Anschließend werden die Zahlen nach dem Komma von rechts nach links abgelesen.

Dann fängt man mit dem Falten an, eine 1 bedeutet: Das Blatt von rechts nach links zu falten. Jede 0 bedeutet: Das Blatt ist von links nach rechts zu falten. Dabei wird das Blatt stets zu der letztgemachten Falte gefaltet. Die Verwendung des binären Systems ist hilfreich, da die Anweisung einfach sind, weil sie von der binären Zahldarstellung direkt ablesbar sind. Wenn der binäre Bruch unendlich ist, besteht die erste Falte aus einer Schätzung, bei der man vermutet, wo das Verhältnis  $\frac{a}{b}$  im Blatt sein könnte. Dann ist für die restlichen Schritte dem Binary Folding Algorithm zu folgen. Diese Methode wird Fujimoto Approximation genannt und sie funktioniert, obwohl bei der Schätzung ein Fehler entsteht, der nicht genau bestimmt werden kann, weil beim Halbieren der Fehler immer halbiert wird, d. h. in je mehr Schritten man das Blatt faltet, desto kleiner wird der Fehler.

Eine andere Methode, die rationale Zahlen exakt faltet, nennt man „Crossing Diagonals“. In dieser Falttechnik werden an einem Quadrat zwei Falten so mithilfe der Binary Folding Methode konstruiert, dass die  $x$ -Koordinate ihres Schnittpunkts den gewünschten Bruch ergibt. Um die Formeln für diese Methode zu finden, muss man die zwei allgemeinen Funktionsgleichungen beider Geraden berechnen und gleichsetzen. Somit erhält man den Bruch  $\frac{a}{b}$ .

Die bekannteste Methode, die nur eine Falte im Papier braucht, um den Bruch  $\frac{a}{b}$  zu falten, ist der Satz von Haga. Bewiesen wird der Satz durch die Ähnlichkeit der Dreiecke, die man herausbekommt, wenn man den Schritten dieser Methode folgt, und zwar:

1. Definiere  $p$  als größte Zweierpotenz kleiner als  $b$ , damit  $\frac{1}{p}$  leicht konstruierbar wird.
2. Definiere  $m$  mit  $m = b - p$
3. Konstruiere den Punkt  $x = \frac{m}{p}$  an der oberen linken Seite des Papiers mithilfe der Binary Folding Algorithm.
4. Falte die untere linke Ecke auf die Markierung des Punktes  $x$ .

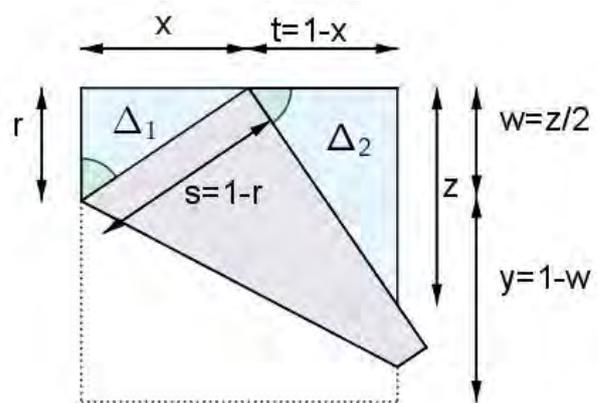
5. Markiere den Schnittpunkt der beiden entstehenden übereinanderliegenden Seiten an der rechten Seite des Papiers, indem man die obere rechte Ecke nach unten falte. Halbiere die Seite, die oberhalb dieser Markierung an der rechten Seite liegt, sodass man unterhalb dieser Markierung die Strecke  $y$  bekommst, wenn man das Blatt wieder öffnet.
6. Falte die Strecke  $y$  auf den Bruch  $\frac{a}{p}$  mithilfe der Binary Folding Algorithm, sodass man den Bruch an der unteren rechten Ecke erhält.

Mithilfe des Strahlensatzes wird bewiesen, dass die Faltanweisung den Bruch  $\frac{a}{b}$  konstruiert. Nach der Untersuchung der Winkel lässt die Erkenntnis, dass Dreieck 1 und 2 ähnlich sind, die Gleichung

$$z/t = x/r \tag{1}$$

aufstellen.

Als nächstes wird versucht, die Variablen so in Beziehung zu setzen, dass  $w$  bestimmt werden kann, um die Formel für die Strecke  $y$  darunter zu finden. In der Abbildung ist zu erkennen, dass:



Addition und Subtraktion von Strecken

$$z = 2w, \quad t = 1 - x \quad \text{und} \quad s = 1 - r$$

Dann ist  $r$  über den Satz des Pythagoras bestimmt zu

$$s^2 = r^2 + x^2 \tag{2}$$

Die Strecke  $s$  wird mit  $1 - r$  ersetzt, sodass dann die Gleichung nach  $a$  aufgelöst wird. Daraus folgt:

$$r = (1 - x^2)/2 \tag{3}$$

Als nächstes sind  $z$ ,  $t$ , und  $r$  in (1) einzusetzen und nach  $w$  aufzulösen. Dadurch ergibt sich die Formel

$$w = \frac{x}{1 + x} \tag{4}$$

Wenn jetzt die Strecke  $w$  von der Strecke 1 subtrahiert wird, ergibt sich die Strecke  $y$ . Um die gewünschte Länge der Strecke  $y = 1 - w$  zu definieren, müssen die Variablen  $x$  mit  $m/p$  und  $m$  mit  $b - p$  ersetzt werden, sodass sich  $y$  zum Schluss als  $\frac{p}{b}$  ergibt. Mit dem Binary Folding Algorithm wird  $y$  auf  $\frac{a}{p} \cdot y$  reduziert, um so  $\frac{a}{b}$  zu erhalten.

### Quellen

Lang, Robert J.: Origami and Geometric Constructions, 1996-2015

#### 4.4 Irrationale Verhältnisse

Per Andres Pohlmann  
Betreuer: Kai-Lars Ritzke

Die irrationalen Zahlen sind die Teilmenge der reellen Zahlen, die nicht als Bruch  $\frac{p}{q}$  dargestellt werden können. Ein Beispiel irrationaler Zahlen sind Quadratwurzeln aus Zahlen, die selbst keine Quadratzahlen sind (z.B.  $\sqrt{2}$  oder Schachtelungen davon wie  $1/(1 + \sqrt{2})$ ). Die wohl bekanntesten weiteren irrationalen Zahlen sind  $\pi$  und die Eulersche Zahl  $e$ .

Die aus diesen Zahlen resultierenden Verhältnisse wie beispielsweise  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  oder  $\frac{1}{\pi}$  lassen sich nur teilweise mit Hilfe von Origami genau falten, weshalb nun eine möglichst genaue Approximation durch rationale Zahlen gesucht werden muss (Origami verzeiht Ungenauigkeiten von bis zu 0,5 %), welche einen möglichst kleinen Nenner hat somit mit möglichst wenig Aufwand falten lässt. Um diese Approximation zu finden, führen wir Kettenbrüche ein, die im Folgenden erklärt werden.

##### Endliche Kettenbrüche

Ein endlicher Kettenbruch ist ein Ausdruck der Form

$$\omega = \frac{p}{q} = a_0 + \frac{1}{a_1 + \frac{1}{a_2 + \frac{1}{a_3 + \dots + \frac{1}{a_n}}}}$$

mit  $a_0 \in \mathbb{N}_0$  und  $a_j, j \geq 1 \in \mathbb{N}$

In Kurzschreibweise lassen sich Kettenbrüche darstellen als:  $\omega = [a_0; a_1, a_2, a_3, \dots, a_n]$ . Für unendliche Kettenbrüche definieren wir mit  $p_n$  und  $q_n$  den  $n$ -ten Näherungsbruch durch  $\frac{p_n}{q_n} = [a_0; a_1, \dots, a_n]$  und nennen dies "n-te Konvergente"

Unter Zuhilfenahme einer Abwandlung des euklidischen Algorithmus können die Koeffizienten  $a_n$  des Kettenbruchs einer beliebigen reellen Zahl ermittelt werden. Der erste Koeffizient  $a_0$  ergibt sich immer als ganzzahliger Anteil der Zahl  $\omega$ . Nun wird der Kehrwert aus der Differenz aus der Zahl  $\omega$  und dem ganzzahligen Anteil dieser genommen und der Vorgang wiederholt, bis kein Rest mehr übrig bleibt. Falls immer ein Rest übrig bleibt, ist der Kettenbruch unendlich lang.

$$\begin{aligned} a_0 &= \lfloor \omega \rfloor & a_n &= \lfloor \frac{1}{\epsilon_{n-1}} \rfloor \\ \epsilon_0 &= \omega - \lfloor \omega \rfloor & \epsilon_n &= \lfloor \frac{1}{\epsilon_{n-1}} \rfloor - a_n \end{aligned}$$

Um Eigenschaften von Kettenbrüchen herzuleiten, definieren wir die sogenannte *Kettenbruchfunktion*, in welcher das letzte Glied  $a_n$  der Kettenbruchentwicklung durch  $a_n + x$  ersetzt wird. Betrachtet man diese Funktion, fallen sofort drei Eigenschaften ins Auge:

$$f_n(x) = a_0 + \frac{1}{a_1 + \frac{1}{a_2 + \frac{1}{a_3 + \dots + \frac{1}{a_n + x}}}} \quad f_n(0) = \frac{p_n}{q_n} \quad (1)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} f_n(x) = [a_0; a_1, \dots, a_{n-1}] = \frac{p_{n-1}}{q_{n-1}} \quad (2)$$

$$f_n\left(\frac{1}{a_{n+1}}\right) = \frac{p_{n+1}}{q_{n+1}} \quad (3)$$

Durch geschicktes Einsetzen dieser Eigenschaften in die Darstellung der Kettenbruchfunktion als rationale Funktion der Form  $f(x) = \frac{a+bx}{c+dx}$  mit  $a, b, c, d$  natürliche Zahlen, erhalten wir eine Rekursionsformel. Mit Hilfe dieser Rekursionsformel und dem ebenso unten eingefügten Rekursionsanfang lässt sich aus den Gliedern des Kettenbruchs die jeweilige  $n$ -te Konvergente bestimmen.

$$f_n \left( \frac{1}{a_{n+1}} \right) = \frac{p_n}{q_n} = \frac{a_{n+1}p_n + p_{n-1}}{a_{n+1}q_n + q_{n-1}} \quad \begin{array}{ll} p_0 := a_0 & q_0 := 1 \\ p_1 := a_0a_1 + 1 & q_1 := a_1 \end{array}$$

Generell wird eine rationale Funktion der Form  $f(x) = \frac{a+bx}{c+dx}$  als unimodular bezeichnet, wenn  $|bc - ad| = 1$  erfüllt ist. Dies ist für die Kettenbruchfunktionen der Fall. Eine Konsequenz der Unimodularität ist, dass der größte gemeinsame Teiler von  $a$  und  $c, a$  und  $d, b$  und  $c$  und  $b$  und  $d$  jeweils 1 ist. Dies ist gleichwertig dazu, dass all diese Zahlenpaare teilerfremd sind.

Die Zahl  $bc - ad$  wird das Vorzeichen  $V_f$  der Funktion  $f(x)$  genannt. Das Vorzeichen  $V_f$  ist entweder  $+1$  oder  $-1$ . Das Vorzeichen  $V_f$  bestimmt zudem auch das Vorzeichen der Ableitungsfunktion  $f'(x) = \pm \frac{1}{(c+dx)^2}$  und somit auch die Steigung der ursprünglichen Funktion  $f(x)$ . Nun kann mit Induktion bewiesen werden, dass die Kettenbruchfunktion  $f_n$  unimodular mit Vorzeichen  $+1$  für gerade  $n$  und Vorzeichen  $-1$  für ungerade  $n$  ist. Da, wie oben erwähnt, das Vorzeichen  $V_f$  die Steigung bestimmt, folgt daraus, dass sich die Konvergenten immer abwechselnd von oben und von unten an  $\omega$  annähert. Somit gilt für  $V_{f_n} = 1$ , dass  $\frac{p_n}{q_n} < \omega$  und für  $V_{f_n} = -1$ , dass  $\frac{p_n}{q_n} > \omega$ . Hieraus folgt:

$$\begin{aligned} V_{f_n} &= -V_{f_{n+1}} & (4) \\ \left| \omega - \frac{p_n}{q_n} \right| &\leq \left| \frac{p_{n+1}}{q_{n+1}} - \frac{p_n}{q_n} \right| = \frac{1}{q_{n+1}q_n} & (5) \end{aligned}$$

Zudem sind zwei aufeinanderfolgende Konvergenten des Kettenbruchs Farey-benachbart. Dies bedeutet, dass es zwischen den beiden Konvergenten  $\frac{p_n}{q_n} < \frac{p_{n+1}}{q_{n+1}}$  keinen Bruch  $\frac{p}{q}$  gibt, der  $q \leq q_n + q_{n+1}$  erfüllt. Durch geschicktes Einsetzen dieser Brüche und da wir wissen, dass die Kettenbruchfunktion  $f_n(x) = \frac{p_n + p_{n-1}x}{q_n + q_{n-1}x}$  unimodular ist, finden wir für einen Bruch  $\frac{p_n}{q_n} < \frac{p}{q} < \frac{p_{n+1}}{q_{n+1}}$  heraus, dass sowohl  $q \geq q_n + q_{n+1}$  als auch  $p \geq p_n + p_{n+1}$  gilt.

Außerdem wissen wir durch die Farey-Nachbarschaft zweier Konvergenten, dass Konvergenten von Kettenbrüchen generell die beste Approximation einer Zahl mit einem Minimalnenner sind. Da sich die Konvergenten immer abwechselnd von oben und unten an  $\omega$  annähern, gilt  $\frac{p_n}{q_n} < \omega < \frac{p_{n-1}}{q_{n-1}}$ . Gäbe es nun eine genauere Approximation, mit einem kleineren Nenner, müsste diese ja zwischen  $\frac{p_n}{q_n}$  und  $\frac{p_{n+1}}{q_{n+1}}$  liegen, was nicht möglich ist. Somit sind:

Kettenbrüche die beste rationale Annäherung von irrationalen Zahlen mit einem Minimalnenner (6).

Wenn man (4) und (6) kombiniert, folgt daraus, dass sich die Konvergenten immer abwechselnd von oben und unten in immer kleineren Intervallen an  $\omega$  annähern. Für gerade  $n$  gilt:

$$\frac{p_n}{q_n} < \omega < \frac{p_{n+1}}{q_{n+1}} < \frac{p_{n-1}}{q_{n-1}}$$

### Unendliche Kettenbrüche

Unendliche Kettenbrüche stellen irrationale Zahlen dar. Wäre dies nicht der Fall, müsste  $\frac{p_n}{q_n} < \omega < \frac{p_{n+1}}{q_{n+1}}$  sein. Durch die Unimodularität zweier aufeinanderfolgender Konvergenten müsste

$|p_{n+1}q_n - p_nq_{n+1}| = 1$  gelten. Da der Nenner einer rationalen Zahl endlich ist, müsste zudem  $q < q_n < q_{n+1}$  gelten. Durch die mit der Unimodularität verbundene Farey-Nachbarschaft ist dies aber nicht möglich, da  $q \geq q_n + q_{n+1}$  sein muss.

## Quellen

Lang, Robert J.: Origami and Geometric Constructions, 1996-2015

Werner, Bodo: Kettenbrüche - Probevorlesung für Erstsemester, Skript Universität Hamburg, 16.04.2008

## 4.5 Das Mögliche bleibt möglich: Origami-Algebra Teil 1

Vincent Hoppmann

Betreuerin: Saskia Groh

Ziel dieses Abschnitts ist es zu zeigen, dass die Menge der mit den ersten fünf Huzita-Axiomen konstruierbaren Punkte mit den mit euklidischen Werkzeugen konstruierbaren Punkten übereinstimmt, sich also all das mit Origami konstruieren lässt, was sich mit Zirkel und Lineal konstruieren lässt. Wir identifizieren dazu das Papier mit der komplexen Ebene und zeigen im ersten Schritt, dass die konstruierbaren Punkte einen sogenannten Körper bilden, und im zweiten Schritt, dass sich auch beliebige quadratische Gleichungen lösen lassen.

Ein mathematischer Körper setzt sich zusammen aus einer Menge  $\mathbf{K}$  und zwei Verknüpfungen  $+, \bullet : K \times K \rightarrow K$ , sodass für beliebige Elemente  $a, b, c \in K$  gilt:

1.  $\mathbf{K}$  ist eine additive abelsche Gruppe, d.h. es gilt
  - (a) Assoziativgesetz:  $a + (b + c) = (a + b) + c$
  - (b) Es gibt ein neutrales Element:  $0 \in K$  mit  $0 + a = a$
  - (c) Zu jedem  $a \in \mathbf{K}$  existiert das Inverse  $-a$  mit  $-a + a = 0$
  - (d) Kommutativgesetz:  $a + b = b + a$
2.  $\mathbf{K}$  ist eine multiplikative abelsche Gruppe, d.h. es gilt
  - (a) Assoziativgesetz:  $a \cdot (b \cdot c) = (a \cdot b) \cdot c$
  - (b) Es gibt ein neutrales Element:  $1 \in \mathbf{K} \setminus \{0\}$  mit  $1 \cdot a = a$
  - (c) Zu jedem  $a \in \mathbf{K} \setminus \{0\}$  existiert das Inverse  $a^{-1}$  mit  $a^{-1} \cdot a = 1$
  - (d) Kommutativgesetz:  $a \cdot b = b \cdot a$
3. Es gilt das Distributivgesetz:  $a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$  und  $(b + c) \cdot a = a \cdot b + a \cdot c$

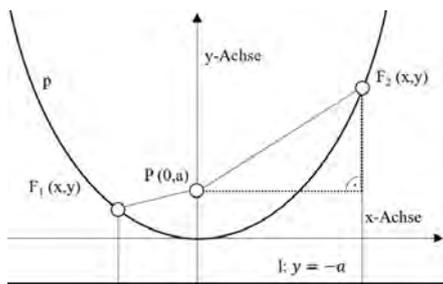
Zuerst untersuchen wir die geometrischen Konstruktionen, die die ersten drei Huzita-Axiome ermöglichen. Wir betrachten dazu eine Menge  $\mathbf{T}$  bestehend aus drei Punkten  $\{A, B, C\}$ , die nicht alle auf einer Geraden liegen. Wir stellen als Erstes fest, dass diese ersten Axiome schon ausreichen, um Streckenlängen an Parallelen abzutragen, sodass sich Punkte (im Sinne einer Vektoraddition) addieren lassen und wir auf der Menge der konstruierbaren Punkte eine additive Gruppenstruktur erhalten. Ebenfalls können wir die Senkrechte zu einer Geraden durch einen konstruierten Punkt bilden, ähnliche Dreiecke konstruieren und Punkte und Geraden an einer konstruierten Geraden spiegeln. Die Spiegelung eines konstruierten Punktes an einer Geraden liefert sofort die Abgeschlossenheit unter komplexer Konjugation.

Aus dem dritten Referat ist bereits bekannt, dass sich rationale Verhältnisse konstruieren lassen. Dieses Argument lässt sich auf die konstruierbaren Punkte übertragen, sodass wir eine  $\mathbb{Q}$ -Vektorraumstruktur erhalten. Es muss nur noch die multiplikative Struktur hergeleitet werden. Sind  $U$  und  $W$  zwei konstruierte Punkte, so gilt:

$$2UW = (U + W)^2 - W^2 - U^2 \tag{1}$$

Das Problem der multiplikativen Abgeschlossenheit reduziert sich also auf die Konstruierbarkeit des Quadrats eines Punktes  $V = (x, y)$ . Dazu haben wir im Kurs gezeigt, dass – wie in den komplexen Zahlen – gilt, dass  $V^2 = (x^2 - y^2, 2xy)$  und haben geometrische Überlegungen angestellt, um zu zeigen, dass  $x^2 - y^2 \in X$  und  $2xy \in Y$ . Die Existenz von Inversen folgte schließlich aus ähnlichen Überlegungen und der schon erwähnten Abgeschlossenheit unter komplexer Konjugation. Damit erhalten wir schließlich die Körperstruktur auf den konstruierbaren Punkten.

Schließlich wollen wir einsehen, dass mithilfe des fünften Origami-Axioms alle quadratischen Gleichungen gelöst werden können. Dazu nutzen wir, dass sich Parabeln eindeutig durch eine Gerade, die Leitgerade, und einen Punkt außerhalb dieser, den Brennpunkt, festlegen lassen als Menge der Punkte mit dem gleichen Abstand zu diesen beiden Objekten. Das lässt sich mit der folgenden Rechnung zeigen:



$$\begin{aligned} \overline{FL} &= \overline{FP} \\ |y - (-a)| &= \sqrt{x^2 + (y - a)^2} \\ x^2 + (y - a)^2 &= |y + a|^2 \\ x^2 + y^2 - 2ay + a^2 &= y^2 + 2ya + a^2 \\ 4ay &= x^2 \text{ und damit} \end{aligned}$$

Parabel mit Brennpunkt und Leitgerade

$$y = \frac{1}{4a}x^2$$

Es zeigt sich, dass die Faltung aus Axiom 5 genau die Tangenten der durch die Gerade  $l$  und den Punkt  $P$  festgelegten Parabel liefert und wir damit jede quadratische Gleichung lösen können. Somit ist mit Origami alles möglich, was auch mit Zirkel und Lineal konstruiert werden kann.

**Quellen**

*Kumpitsch, T.:* „Kubische Gleichungen mit Origami“, wissenschaftliche Hausarbeit, Goethe Universität Frankfurt, Dezember 2016

**4.6 Das Unmögliche wird möglich: Origami-Algebra Teil 2**

Zoé Philipps

Betreuerin: Saskia Groh

Die mathematische Welt der Origami-Konstruktionen baut auf einem System von 6 Axiomen auf, dessen letztes Axiom folgendes besagt: Gegeben seien die konstruierten Geraden  $l$  und  $m$  und die konstruierten Punkte  $P$  und  $Q$ . Die Gerade, die  $P$  auf  $l$  und  $Q$  auf  $m$  spiegelt, ist, wenn dies möglich ist, konstruierbar.

In unserer Sitzung haben wir zuerst bewiesen, dass genau dieses Axiom es ermöglicht, alle kubischen Gleichungen durch Faltung zu lösen. Wir haben dafür wie im vorherigen Vortrag genutzt, dass eine Gerade und ein Punkt (genannt Leitgerade und Brennpunkt) eindeutig eine Parabel festlegen. Die im Axiom gegebenen Paare von Gerade und Punkt  $P$  und  $l$  sowie  $Q$  und  $m$  definieren so zwei Parabeln  $p_1$  und  $p_2$ . Die durch die Faltung entstehende Gerade ist eine gemeinsame Tangente dieser beiden Parabeln.

Im Folgenden beweisen wir, dass die Steigung dieser Tangente gerade die Lösung einer kubischen Gleichung darstellt. Wir betrachten zwei Parabeln  $p_1$  und  $p_2$  mit orthogonalen Leitgeraden und berechnen die gemeinsame Tangente:

$$\begin{aligned} p_1: \quad x^2 &= 2by, \quad b \neq 0 \\ p_2: \quad (y - n)^2 &= 2a(x - m) \end{aligned}$$

Die Tangente an  $p_1$  im Punkt  $P_1(x_1, y_1)$  wird beschrieben durch  $t(x) = cx + d$ . Die Steigung  $c$  in  $x_1$  ergibt sich durch Ableiten der Funktion  $y = f(x) = \frac{1}{2b}x^2$  als  $c = f'(x) = \frac{x}{b}$ . Durch Einsetzen von  $c$  und Punkt  $P_1$  in die Tangentengleichung ergibt sich

$$y_1 = \frac{x_1}{b} \cdot x_1 + d \quad \text{und mit } x_1^2 = 2by_1 \text{ folgt } d = -y_1.$$

Aus den beiden Gleichungen ergibt sich  $d = -y_1 = -\frac{x_1^2}{2b} = -\frac{(bc)^2}{2b} = -\frac{bc^2}{2}$ .

Da es sich bei der Parabel  $p_2$  um keine Funktion handelt – einem  $x$ -Wert können zwei  $y$ -Werte zugeteilt werden – betrachten wir die Hilfsfunktion  $f(x; y) = (y - n)^2 - 2a(x - m)$ , deren Nullstellenmenge gerade die Punkte unserer Parabel  $p_2$  sind. Die Tangente ergibt sich dann als Nullstellenmenge der Tangentialebene dieser Hilfsfunktion an dem gewählten Punkt  $P_2(x_2, y_2)$ :

$$0 = f(x_2, y_2) + \frac{df(x_2, y_2)}{dx}(x - x_2) + \frac{df(x_2, y_2)}{dy}(y - y_2)$$

Durch Umformen und durch Einsetzen der Gleichung von  $p_2$  ergibt sich

$$y = \frac{a}{y_2 - n}x + n + \frac{ax_2 - 2am}{y_2 - n}$$

und mit Koeffizientenvergleich folgt für die Tangente  $t(x) = cx + d$ :

$$c = \frac{a}{y_2 - n} \quad d = \frac{ax_2 - 2am}{y_2 - n} + n$$

Dank Umformungen ist es wie bei Parabel  $p_1$  möglich, die folgende von  $x_2, y_2$  unabhängige Gleichung aufzustellen:  $a = 2c(d - n + mc)$ .

Da es sich um eine gemeinsame Tangente handelt, können wir die beiden Gleichungen miteinander in Beziehung setzen. Es ergibt sich

$$0 = c^3 - \frac{2m}{b}c^2 + \frac{2n}{b}c + \frac{a}{b}$$

und damit eine kubische Gleichung in der Variable  $c$ .

Aus dem vorherigen Vortrag wissen wir, dass aus der Konstruierbarkeit der Steigung die Konstruierbarkeit der entsprechenden Streckenlänge folgt und damit die Lösung der kubischen Gleichung.

Umgekehrt kann man zeigen, dass es möglich ist, aus einer gegebenen beliebigen kubischen Gleichung zwei Parabeln mit deren Leitgeraden und Brennpunkten zu bestimmen. Wir sehen also, dass es möglich ist, beliebige kubische Gleichungen zu lösen, was bei der Konstruktion mit Zirkel und Lineal nicht der Fall ist.

Schließlich wollen wir zeigen, dass auch die Winkeldreiteilung, die mit Hilfe von unbeschriftetem Lineal und Zirkel unmöglich ist, gefaltet werden kann. Dazu können wir mit Hilfe der euklidischen Werkzeuge der Trigonometrie eine kubische Gleichung aufstellen:

$$\cos(3\theta) = 4 \cos^3(\theta) - 3 \cos(\theta)$$

Diese ergibt sich, wie im Folgenden gezeigt wird, durch die Additionstheoreme

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos(\alpha) \cos(\beta) - \sin(\alpha) \sin(\beta)$$

$$\sin(\alpha + \beta) = \sin(\alpha) \cos(\beta) + \cos(\alpha) \sin(\beta)$$

und mit  $\sin^2 + \cos^2 = 1$  durch Umformen:

$$\begin{aligned} \cos(3\theta) &= \cos(2\theta + \theta) = \cos(2\theta) \cos(\theta) - \sin(2\theta) \sin(\theta) \\ &= (\cos^2(\theta) - \sin^2(\theta)) \cos(\theta) - (2 \sin(\theta) \cos(\theta)) \sin(\theta) \\ &= 4 \cos^3(\theta) - 3 \cos(\theta) \end{aligned}$$

Die Lösung dieser kubischen Gleichung ist der Cosinus des gedrittelten Winkels. Die im oberen Teil beschriebene Methode lässt sich also auf die Dreiteilung des Winkels anwenden.

Deutlich eleganter ist folgende Faltung, die durch das am Anfang genannte Axiom möglich wird:

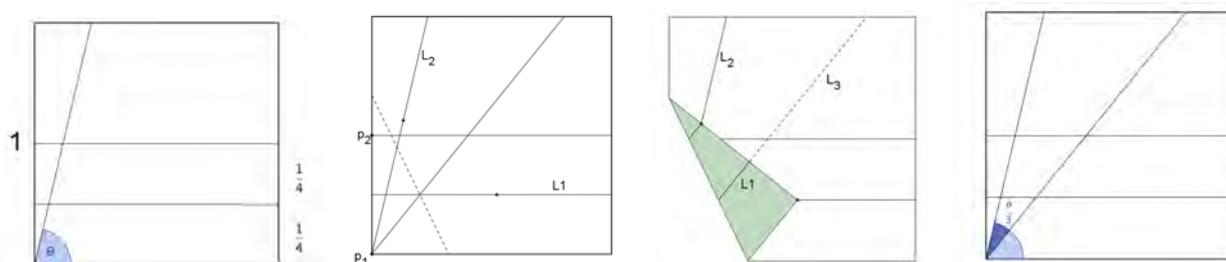


Abbildung 1: Winkeldreiteilung durch Faltung

Man kann abschließend sagen, dass Konstruktionen, die mit Zirkel und Lineal unmöglich waren, möglich gemacht wurden. Jedoch bleibt zum Beispiel die Quadratur des Kreises auch mit Origami-Mathematik unmöglich.

## Quellen

*Kumpitsch, T.:* „Kubische Gleichungen mit Origami“, wissenschaftliche Hausarbeit, Goethe Universität Frankfurt, Dezember 2016

## 4.7 Projektive Geometrie

Lea Maria Bach

Betreuerin: Saskia Groh

Dass sich die Lösungen kubischer Gleichungen mit Origami konstruieren lassen, habe ich in meinem Vortrag mithilfe projektiver Geometrie gezeigt. Dazu habe ich zunächst eine Einführung in Kegelschnitte, die projektive Ebene und das Dualitätsprinzip in der projektiven Ebene gegeben.

Kegelschnitte kann man sich anschaulich als Schnittmenge eines Doppelkegels mit einer Ebene vorstellen. Dabei können Hyperbeln, Parabeln oder Ellipsen sowie die sogenannten „entarteten Kegelschnitte“ Gerade, Geradenpaar oder ein Punkt entstehen. Kegelschnitte sind die Lösungen allgemeiner quadratischer Gleichungen

$$ax_1^2 + 2bx_1x_2 + cx_2^2 + 2dx_1 + 2ex_2 + f = 0 \quad (1)$$

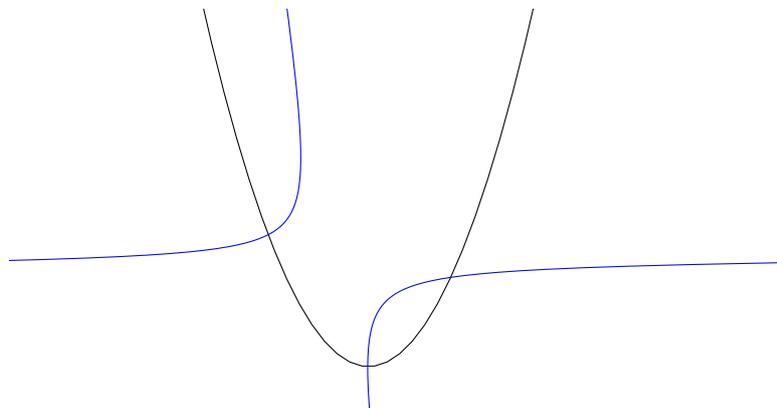
Anders als in der affinen Ebene haben in der projektiven Ebene  $\mathbb{P}^2$  je zwei verschiedene Geraden genau einen Schnittpunkt. Anschaulich kann man sich die Punkte von  $\mathbb{P}^2$  als affine Ebene  $E : x_3 = 1$  des  $\mathbb{R}^3$  vorstellen, wobei jeder Punkt des  $\mathbb{R}^3$  über seine Ursprungsgerade in deren Schnittpunkt mit der Ebene  $E$  projiziert wird. Die Ursprungsgeraden der Ebene  $x_3 = 0$  kommen als die „unendlich ferne Gerade“ hinzu, in der sich die parallelen Geraden der Ebene  $E$  schneiden. Kegelschnitte in der projektiven Ebene werden durch homogene quadratische Gleichungen bestimmt:

$$ax_1^2 + 2bx_1x_2 + cx_2^2 + 2dx_1x_3 + 2ex_2x_3 + fx_3^2 = 0 \quad (2)$$

Für  $x_3 = 1$  erhalten wir die obige Gleichung in der Form  $(x_1, x_2, x_3)A(x_1, x_2, x_3)^t = 0$ , wobei  $A$  eine symmetrische reellwertige Matrix sei.

In der projektiven Ebene gilt ein Dualitätsprinzip, das heißt, es gibt eine 1:1-Beziehung zwischen Geraden und Punkten. Damit lassen sich duale Kegelschnitte definieren:

Bei einem nicht-entarteten Kegelschnitt  $C$  sind die Duale der Punkte  $t_i \in C$  die Tangenten  $t_i^*$  am dualen Kegelschnitt und die Tangenten  $T_i$  an  $C$  werden zu den dualen Punkten  $T_i^* \in C^*$ . Somit lässt sich die Suche nach gemeinsamen Tangenten zweier Parabeln als Frage nach den Schnittpunkten ihrer Duale auffassen.



Duale Kegelschnitte für Winkeldreiteilung von  $\theta = 40^\circ$

Betrachtet man zwei Kegelschnitte mit zugehörigen symmetrischen  $3 \times 3$ -Matrizen  $A$  und  $B$ , so erfüllen die Kegelschnitte des zugehörigen Kegelschnittbüschels die Gleichung  $A - \lambda B = 0$ . Es besteht aus allen Kegelschnitten, die durch die Schnittpunkte der erzeugenden Kegelschnitte gehen. Eine Tangente dieser Kegelschnitte ist der entartete Kegelschnitt des Büschels, für den  $\det(A - \lambda B) = 0$  gilt. Die Lösung dieser Gleichung ist die kubische Resolvente der Matrix. Da die Koeffizienten der kubischen Gleichung aus den Matrizen der Kegelschnitte hervorgehen, können wir sie mit Zahlen lösen, die durch Origami konstruierbar sind.

Die so gefundene Tangente „schieben“ wir in die Gerade bei  $\infty$  der projektiven Ebene. Damit handelt es sich bei unseren Kegelschnitten um Parabeln, deren restliche Tangenten in der affinen Ebene liegen und die somit von uns bestimmt werden können.

## Quellen

*Kumpitsch, T.:* „Kubische Gleichungen mit Origami“, wissenschaftliche Hausarbeit, Goethe Universität Frankfurt, Dezember 2016

*Barth, W.:* „Geometrie“, Vorlesungsskript, Universität Erlangen, August 2004

*Wolfart, J.:* „Geometrie für Lehramtskandidaten“, Vorlesungsskript, Goethe Universität Frankfurt, Juli 2008

## 4.8 Die Lill-Methode und reelle Nullstellen

Julia Kormann  
Betreuerin: Julia Huth

Die Lill-Methode ist ein graphisches Lösungsverfahren zur Bestimmung der reellen Nullstellen eines Polynoms und wurde benannt nach ihrem Entdecker, dem Ingenieur Eduard Lill. Sie kann bei reellen Polynomen beliebigen Grades verwendet und im kubischen Fall durch Falten umgesetzt werden.

Wir betrachten ein Polynom

$$f(x) = a_n x^n + \dots + a_1 x + a_0 \quad (1)$$

mit  $a_i \in \mathbb{R}$  für  $i = 0, \dots, n$ . Für die Lill-Methode muss man zwei Polygonzüge in ein Koordinatensystem einzeichnen. Dies macht man im Fall von positiven Koeffizienten wie folgt: Die Koeffizienten des Polynoms entsprechen den Längen der einzelnen Streckenabschnitte des Polygonzugs. Das heißt, der erste Koeffizient entspricht der Länge des ersten Streckenabschnittes des Polygonzugs, der zweite Koeffizient entspricht dem zweiten Streckenabschnitt und dies kann man sukzessiv fortsetzen. Der erste Streckenabschnitt beginnt im Koordinatenursprung und verläuft entlang der  $x$ -Achse des Koordinatensystems. Die zweite Strecke beginnt genau an dem Punkt, an dem die erste Strecke endet. Nun muss man die Richtung, in welche die Strecke verläuft, vorher um  $90^\circ$  im Uhrzeigersinn drehen (d.h. die zweite Strecke verläuft in  $y$ -Richtung nach oben). So zeichnet man alle Strecken aneinander in das Koordinatensystem ein und es entsteht ein Polygonzug, der ähnlich wie ein Schneckenhaus oder eine eckige Spirale aussieht, wenn alle Koeffizienten positiv sind.



Nun faltet man gleichzeitig den Ursprung  $O$  auf die Gerade  $m$  als auch den Punkt  $T$  des Polygonzugs auf  $l$ . Dadurch entsteht eine Faltgerade, welche den ersten Polygonzug in zwei Punkten schneidet. Verbindet man diese zwei Punkte, so erhält man den zweiten Streckenabschnitt des zweiten Polygonzugs. Nun kann man die fehlenden zwei Strecken des Polygonzugs ergänzen. Wenn beide im Ursprung  $O$  anfangen und in  $T$  enden, hat man eine Nullstelle des Polynoms gefunden.

### Quellen

*Kumpitsch, T.:* „Kubische Gleichungen mit Origami“, Bachelorarbeit, Goethe Universität Frankfurt, Juli 2008

*Lorang L.:* „Konstruktion kubischer Wurzeln mittels Origami“, Vorlesungsskript, Universität Würzburg, September 2014

## 4.9 Sturmsche Ketten

Kilian Demuth  
Betreuerin: Julia Huth

Sturmsche Ketten sind Folgen aus Polynomen absteigenden Grades. Mit ihnen kann man die Anzahl der Nullstellen eines reellen Polynoms in einem Intervall bestimmen.

Eine Sturmsche Kette besitzt folgende Eigenschaften:

1.  $p_0 = f$
2.  $p_s$  besitzt keine Nullstelle
3. Für eine Nullstelle  $p_i(x) = 0$ , gilt:  $p_{i-1}(x) \cdot p_{i+1}(x) < 0$

Die Sturmsche Kette eines reellen Polynoms wird folgendermaßen definiert: Das erste Polynom der Kette entspricht dem zu untersuchenden Polynom. Das zweite Polynom der Kette ist die Ableitung des ersten Polynoms, also:  $p_1 = f'$ . Alle weiteren Polynome werden mit einer Abwandlung des Euklidischen Algorithmus berechnet. Diese Abwandlung betrifft das Vorzeichen der Reste. Um das nächste Polynom einer Sturmschen Kette zu berechnen, werden die beiden vorigen Polynome mit Rest dividiert und der negative Rest der Polynomdivision als das nächste Polynom definiert. Also gilt für  $p_i, i \geq 2$ :

$$p_i = q_i \cdot p_{i+1} - p_{i+2} \quad (1)$$

Da der Grad absteigt, bricht jede Sturmsche Kette irgendwann ab. Im Kurs wurde gezeigt, dass die so definierte Kette die Eigenschaften 1., 2., 3. besitzt.

Für die Berechnung der Anzahl von reellen Nullstellen eines reellen Polynoms werden nun die Grenzen des gegebenen Intervalls jeweils in die Sturmsche Kette eingesetzt. Danach werden die Vorzeichenwechsel in dieser Kette betrachtet. Die Anzahl der Nullstellen im Intervall  $[a, b]$  ist dann  $v(a) - v(b)$ , wobei  $v(a)$  die Anzahl der Vorzeichenwechsel in der Folge reeller Zahlen  $p_0(a), p_1(a), \dots, p_s(a)$  ist,  $v(b)$  analog.

Um dies zu beweisen, untersuchen wir nun die Stellen, an denen sich in der Kette an den Nullstellen etwas ändern kann. Betrachten wir zuerst den Fall, dass alle  $p_i(x) \neq 0$ . Da hier auch in einer Umgebung von  $x$  alle Vorzeichen gleich bleiben, ist in dieser Umgebung von  $x$  auch  $v(x)$  konstant.

Ein weiterer zu untersuchender Fall wäre, dass  $f(x) \neq 0$ , aber mindestens ein  $p_i(x) = 0$ . Da das erste und das letzte Polynom nicht gleich null sein dürfen, muss es sich um ein Polynom handeln für das  $0 < i < S$  gilt. Durch die dritte Eigenschaft der Sturmschen Ketten haben  $p_{i-1}(x)$  und  $p_{i+1}(x)$  verschiedene Vorzeichen, sodass auch in diesem Fall  $v(x)$  in einer Umgebung von  $x$  konstant ist. Als letzten müssen wir noch den Fall betrachten, dass  $f$  eine Nullstelle bei  $x$  hat. Da  $f(x)$  und  $f'(x)$  vor  $x$  verschiedene Vorzeichen und nach  $x$  gleiche Vorzeichen haben, wird  $v$  beim Durchgang von  $x$  um eins kleiner, womit bewiesen wäre, dass ein Vorzeichenwechsel verloren geht, wenn über eine Nullstelle gegangen wird.

Wenn eine Funktion mehrfache Nullstellen hat, muss die Berechnung der Sturmschen Ketten leicht abgeändert werden. Durch Konstruktion über den Euklidischen Algorithmus ist das letzte entstehende Polynom  $p_S = g$  ein ggT von  $f$  und  $f'$  und alle  $p_i$  sind durch  $g$  teilbar. Man definiert nun die Folge  $(f_0/g, \dots, f_S/g)$ . Diese besteht nur aus Polynomen und ihre Variation ist in jedem Punkt, in dem  $g$  keine Nullstelle hat gleich der Sturmschen Kette von  $f$ . Auch alle Eigenschaften von Sturmschen Ketten treffen auf diese Folge zu. So können auch Nullstellen von Funktionen mit mehrfachen Nullstellen bestimmt werden.

Dadurch, dass mit Sturmschen Ketten die Anzahl der Nullstellen in einem Intervall bestimmt wird, kann sich nun durch Anpassung der Intervallgrenzen einer Nullstelle genähert werden. So können näherungsweise Nullstellen bestimmt werden.

Mit Sturmschen Ketten kann auch bestimmt werden, wie viele reelle Nullstellen eine quadratische oder kubische Funktion hat. Dazu schauen wir uns zuerst einmal die allgemeine quadratische Funktion  $f(x) = ax^2 + bx + c$  an. Ihre Sturmsche Kette ist  $(ax^2 + bx + c, 2ax + b, \frac{\Delta}{4a})$  mit  $\Delta = b^2 - 4ac$ . Es ist zwischen den Fällen  $a > 0$  und  $a < 0$  zu unterscheiden. Betrachten wir zuerst den Fall  $a > 0$ . Für stark negative Werte von  $x$  ist die Vorzeichenfolge  $(+, -, \text{sgn}(\Delta))$ . Für stark positive Werte von  $x$  ist diese  $(+, +, \text{sgn}(\Delta))$ . Folglich hat also eine quadratische Funktion, wenn  $\Delta > 0$  zwei reelle Nullstellen, wenn  $\Delta = 0$  eine reelle Nullstelle und wenn  $\Delta < 0$  keine reelle Nullstelle. Bei  $a < 0$  drehen sich lediglich die Vorzeichen in der Folge um. Die Nullstellenanzahl bleibt gleich.

Für die allgemeine kubische Funktion ist das Verfahren ähnlich. Zuerst wird die Sturmsche Kette von  $f(x) = x^3 + px + q$  berechnet. Vorher haben wir mit Hilfe einer linearen Transformation den quadratischen Term zu 0 gemacht. Ihre Sturmsche Kette lautet  $(x^3 + px + q, 3x^2 + p, -2p/3x - q, -\Delta/p^2)$  mit  $\Delta = p^3 + 27/4q^2$ . Für stark negative Werte von  $x$  ergibt sich hier die Vorzeichenfolge  $(-, +, \text{sgn}(p), -\text{sgn}(\Delta))$ . Für stark positive Werte von  $x$  ergibt sich  $(+, +, -\text{sgn}(p), -\text{sgn}(\Delta))$ . Hier ist zuerst  $\Delta$  zu betrachten. Ist  $\Delta > 0$  hat die Funktion eine reelle Nullstelle. Bei  $\Delta = 0$ , muss dadurch, dass  $q^2 \geq 0$  ist, entweder  $p = q = 0$  oder  $p < 0$ . Bei  $p = q = 0$ , hat die Funktion eine reelle Nullstelle an der Stelle 0. Ist  $p < 0$  hat die Funktion zwei reelle Nullstellen, von denen eine Nullstelle die Vielfachheit zwei hat. Wenn  $\Delta < 0$  muss  $p < 0$  sein und die Funktion hat drei reelle Nullstellen.

## Quellen

Hilbert, Wolfgang K.: Die reellen Nullstellen eines Polynoms, Reell algebraische Geometrie FSS 2012; [hilbert.math.uni-mannheim.de/~seiler/RAG12/teil1.pdf](http://hilbert.math.uni-mannheim.de/~seiler/RAG12/teil1.pdf) (Zugriff 07/17)

Haas, Johannes: Sturmsche Ketten (2015); [http://homepage.univie.ac.at/maria.charina/Seminar15/Com\\_sensing\\_3.pdf](http://homepage.univie.ac.at/maria.charina/Seminar15/Com_sensing_3.pdf) (Zugriff 07/17)

## 4.10 Von Bergen, Tälern und Landkarten – Origami Faltmuster

Hannah Corbaz

Betreuer: Maxim Gerspach

Wenn man ein Stück Papier knickt, entsteht eine Falte, die je nach Ausrichtung des Papiers Berg- oder Talfalte genannt wird. Öffnet man ein gefaltetes Objekt, bilden die Falteraden eine Art Landkarte – das Faltmuster. Im Kurs haben wir uns für verschiedene Eigenschaften von Faltmustern interessiert und uns dabei auf flache Origami-Faltungen beschränkt, also solche, die sich plätten lassen, ohne zusätzliche Falteraden entstehen zu lassen.

### Anzahl der Berge und Täler

Wir betrachten das entstandene Faltmuster als Graph und interpretieren die Schnittpunkte als Ecken und die Falteraden als Kanten. Jun Maekawa und Jacques Justin fanden unabhängig voneinander eine Gesetzmäßigkeit zwischen der Anzahl der Berg- und Talfalten heraus:

**Satz 1.** *Der Unterschied zwischen der Anzahl an Bergen  $M$  und Tälern  $V$  an einer Ecke ist immer 2. Es gilt also  $M = V \pm 2$ .*

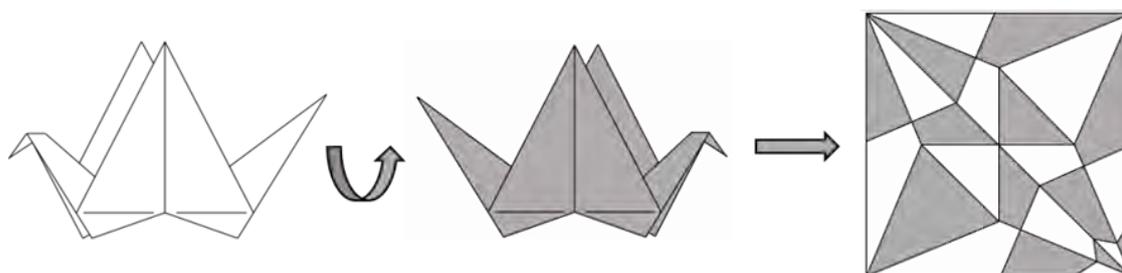
Wir definieren den Grad einer Ecke als die Anzahl der anliegenden Kanten.

**Korollar 1.** *(Even-Degree-Theorem): Der Grad einer Ecke eines flachen Origami ist immer gerade.*

*Beweis.* Es gilt  $M + V = V + V \pm 2 = 2(V \pm 1)$  □

### Zweifärbbarkeit

Um das Faltmuster eines flachen Origamimodells (unten der Flapping Bird) einzufärben, sodass zwei aneinandergrenzende Flächen nicht die gleiche Farbe haben, braucht man nur zwei Farben. Die Farben entsprechen dabei gerade den beiden Ausrichtungen in der flachen Faltung.



Faltmuster eines Flapping Bird

Dieses Verhalten lässt sich auf zwei Arten beweisen:

1. Weil es flach ist, zeigen die angrenzenden Flächen jeder Faltgerade in gegensätzliche Richtungen. Färbt man nun die in eine Richtung zeigenden Flächen in einer Farbe ein, dann erhält man ein Faltmuster, bei dem nur zwei Farben verwendet werden und bei dem keine zwei aneinandergrenzenden Flächen die Gleiche Farbe haben.
2. Beweis mit Graphentheorie (i.F.)

Als Erstes stellt man fest, dass an allen Ecken innerhalb des Faltmusters (Graph) eine gerade Anzahl an Falten (Kanten) zusammentrifft. Dann betrachten wir das Faltmuster als planaren Graphen und zeichnen eine neue Ecke  $v$  außerhalb des originalen Graphen auf. Dabei heißt ein Graph planar, falls er sich derart in die Ebene zeichnen lässt, dass sich keine Kanten überkreuzen. Jetzt verbinden wir die Ecken ungeraden Grades (die am Rand des Papiers liegen) mit dem Punkt  $v$ , sodass der Graph weiterhin planar bleibt. Da Graphen immer eine gerade Anzahl Ecken ungeraden Grades haben, hat  $v$  auch geraden Grad. Daraus ergibt sich dann ein zusammenhängender, planarer Graph, bei dem alle Ecken geraden Grad haben. Einen solchen Graph bezeichnet man als Eulergraph.

Wir bilden nun den dualen Graphen unseres modifizierten Graphen, indem wir für jede Fläche einen Punkt einzeichnen und für jede Kante, die zwei Flächen trennt, eine Kante zwischen den zugehörigen Ecken. Die Aussage, dass der originale Graph Flächen-zweifärbbar ist, ist äquivalent dazu, dass der duale Graph Ecken-zweifärbbar, m.A.W. bipartit ist. Wir nehmen also an, dass der duale Graph nicht bipartit ist. Man folgert dann elementar, dass im dualen Graphen ein Kreis ungerader Länge existiert, der nur eine Fläche beinhaltet. Dies steht im Widerspruch zu der Tatsache, dass unser Graph ein Eulergraph ist.

### „Unmögliche“ Faltmuster

Jetzt kennen wir schon einige Folgerungen aus der flachen Faltbarkeit eines Faltmusters. Dennoch gibt es Fälle, in denen das Maekawa-Justin-Theorem und die Zweifärbbarkeit erfüllt sind und sich dennoch nicht flach falten lassen, da diese beiden Kriterien nur notwendige Bedingungen für flache Faltbarkeit darstellen.

**Satz 2.** (*Kawasaki-Justin-Theorem*): Eine gerade Anzahl an Kanten, die an einer Ecke zusammentreffen, lassen sich genau dann flach falten, wenn die alternierende Summe der Kanteninnenwinkel null ist:

$$\theta_2 + \theta_3 - \theta_4 + \dots + \theta_{n-1} + \theta_n = 0^\circ$$

### Quellen

Hull, Thomas: Project Origami. Activities For Exploring Mathematics. 2. Auflage, S. 209 – 237 (2013)

O'Rourke, Joseph: How to Fold It: The Mathematics of Linkages, Origami, and Polyhedra. S. 57 – 71 (2011)

## 4.11 Mathematische Wellen schlagen, Origami und Fraktale

Miriam Medhat

Betreuer: Maxim Gerspach

*„Wolken sind keine Kugeln, Berge keine Kegel, Küstenlinien keine Kreise. Die Rinde ist nicht glatt – und auch der Blitz bahnt sich seinen Weg nicht gerade. Wir brauchen eine neue Geometrie, welche die Geometrie der Natur, der unregelmäßigen Formen miteinschließt.“*

- Benoit B. Mandelbrot (1924-2010)

Die fraktale Geometrie, ein relativ neues Teilgebiet der Mathematik, dass als Erweiterung der euklidischen Geometrie gilt, beschäftigt sich mit irregulären Gebilden, die man nicht aus der Schulgeometrie kennt, und vergleicht diese anhand unterschiedlicher Dimensionsbegriffe gemäß der Gleichmäßigkeit ihrer Verteilung. Diese Dimensionsbegriffe sind auch mit der uns vertrauten Definition der Dimensionen euklidischer Räume verträglich.

Eine zentrale Eigenschaft dieser fraktalen Gebilde stellt die Selbstähnlichkeit dar. Anschaulich bedeutet diese, dass bei beliebiger Vergrößerung kleinere Kopien des Ganzen wiederzufinden sind (Skaleninvarianz). Man unterscheidet zwischen Selbstähnlichkeit im strengen und Selbstähnlichkeit im weiteren Sinn:

Eine beschränkte, in kongruente Teilmengen  $G_i$  mit  $N > 1$  zerlegte Punktmenge  $G$ , also  $G = \bigcup_{i=1}^N G_i$ , heißt im strengen Sinne selbstähnlich, wenn es für ihre  $N$  Zerlegungsmengen eine Ähnlichkeitsabbildung  $\gamma$  mit  $\gamma(G_i) = G$  gibt. Der zugeordnete Vergrößerungsfaktor wird mit  $p$  bezeichnet,  $p > 1$ .

Und damit kommen wir zum ersten Dimensionsbegriff, der Selbstähnlichkeitsdimension  $d_S$ .

$$p^{d_S} = N \Leftrightarrow d_S(G) := \frac{\ln N}{\ln p}$$

Der sogenannte Menger-Schwamm ist ein Beispiel einer zusammenhängenden, im strengen Sinne selbstähnlichen Punktmenge im  $\mathbb{R}^3$ . Dieser entsteht, indem in jedem Schritt ein Würfel in 27 kleinere, kongruente Würfel der Kantenlänge  $\frac{1}{3^n}$  zerlegt und die mittleren 7 dann jeweils entfernt werden, sodass nur  $20^n$  Würfel zurückbleiben; also ist  $N = 20$ ,  $p = 3$ . Daraus folgt, dass diese Figur die Selbstähnlichkeitsdimension  $d_S = \frac{\ln 20^n}{\ln 3^n} \approx 2,7268$  besitzt.

Man kann aber auch allgemeiner erlauben, dass Fraktale selbstaffine Strukturen beinhalten, also die Teilfiguren durch affine Abbildungen ineinander überführt werden dürfen; dies ergibt einen neuen Dimensionsbegriff: Gegeben sei eine Menge im  $\mathbb{R}^2$  (oder allgemeiner im  $\mathbb{R}^n$ ), deren Umfang mit einem geschlossenen Polygonzug der Kantenlänge  $r$  approximiert wird. Dabei seien  $N(r)$  die Anzahl der Kanten und  $L(r)$  die Gesamtlänge des Polygonzugs. Wir erhalten also die Beziehung  $L(r) = r \cdot N(r)$ , und man stellt fest, dass im selbstaffinen Fall ein polynomieller Zusammenhang der Form  $L(r) = c \cdot r^m$  gilt, bzw.  $\log L(r) = \log c + m \log r$ , wobei  $c$  und  $m$  bestimmt werden müssen. Bei einer Geraden z.B. gilt  $L = Nr$ , sodass der doppelt logarithmische Graph die Steigung  $m = 0$  hat; allgemein definiert man die fraktale Dimension  $d_F = 1 - m$  mit dem Exponenten  $m \leq 0$ . Es ergibt sich

$$d_F = \lim_{r \rightarrow \infty} \frac{\ln N}{\ln \frac{1}{r}}$$

und man prüft schnell nach, dass dieser neue Dimensionsbegriff mit dem alten verträglich ist.

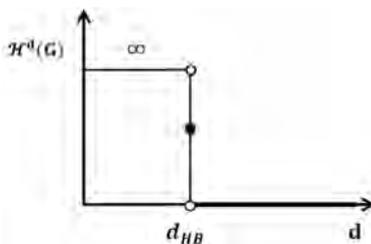
Zuletzt kommen wir zum modernsten der fraktalen Dimensionsbegriffe, der Hausdorff-Besicovitch-Dimension. Gegeben sei eine beschränkte Menge  $G \subset \mathbb{R}^n$ , die mit einer abzählbaren Folge von Mengen  $\{U_i\}$ ,  $\text{diam}(U_i) \leq \epsilon$ , überdeckt wird, also  $G \subseteq \cup_{i=1}^{\infty} U_i$ . Diese Form von Überdeckung heißt auch  $\epsilon$ -Überdeckung. Nun setzt man

$$\mathcal{H}_{\epsilon}^d(G) := \inf \left\{ \sum_{i=1}^{\infty} \text{diam}(U_i)^d : \{U_i\} \text{ ist eine } \epsilon\text{-Überdeckung von } G, \forall i \in \mathbb{N} \right\}$$

In der Praxis ist die Bestimmung dieses Infimums oft sehr schwierig; uns interessiert besonders der Grenzübergang  $\epsilon \rightarrow 0$ . Dadurch wird das  $d$ -dimensionale Hausdorff-Maß also wie folgt definiert:

$$\mathcal{H}^d(G) := \lim_{\epsilon \searrow 0} \mathcal{H}_{\epsilon}^d(G)$$

Wenn  $d$  zu klein gewählt ist, dann stellt man fest, dass das  $d$ -dimensionale Hausdorff-Maß gegen  $\infty$  geht. Wenn  $d$  hingegen zu groß ist, konvergiert es gegen 0. Man zeigt nun, dass das  $d$ -dimensionale Hausdorff-Maß für genau eine Wahl von  $d$  einen positiven (endlichen) Wert ergibt. Der Graph dieser Funktion sieht wie folgt aus:



Wir definieren nun den  $x$ -Wert der Sprungstelle als die gesuchte Dimension  $d_{HB}$ .

Hausdorff-Dimension

## Quellen

Zeitler, H., Pagon, D.: Fraktale Geometrie - eine Einführung, Springer-Verlag (2000)

<http://www.math.uni-hamburg.de/home/lauterbach/scripts/eds07/chap4.pdf>

(Zugriff: 08.08.2017)

<http://quadsoft.org/fraktale> (Zugriff: 08.08.2017)

<http://n.ethz.ch/~gbasso/download/Maturaarbeit/Maturaarbeit%20-%20Was%20sind%20Fraktale.pdf> (Zugriff: 08.08.2017)

[https://homepage.univie.ac.at/bernhard.kroen/Diplomarbeit\\_Michaela\\_Schmoeger.pdf](https://homepage.univie.ac.at/bernhard.kroen/Diplomarbeit_Michaela_Schmoeger.pdf) (Zugriff: 08.08.2017)

[http://www.mathematik.uni-ulm.de/stochastik/lehre/ws06\\_07/seminar\\_fraktale/ausarbeitung\\_kraemer.pdf](http://www.mathematik.uni-ulm.de/stochastik/lehre/ws06_07/seminar_fraktale/ausarbeitung_kraemer.pdf) (Zugriff: 08.08.2017)

**Hinweis:** Die in Kap. 4 verwendeten Graphiken wurden selbst erstellt.

## 5 Physikkurs

### Physik in der Medizin

In vielen Bereichen der Medizin spielt die Physik eine wichtige Rolle: Zum Verständnis der Blutregulation, des Elektrokardiogramms, modernen diagnostischen bildgebenden und therapeutischen Verfahren wie Ultraschall Diagnostik, Magnet-Resonanz-Tomographie und Bestrahlungstherapie sind physikalische Kenntnisse unerlässlich.

Eigene Studiengänge wie Biophysik und Medizinische Physik zeigen die Bedeutung dieses Gebiets. Im Kurs haben wir uns neben den Themen, die in den nachfolgenden Schülerreferaten dargestellt sind, mit EKG-Analyse, Photometrie und Strömungsmechanik beschäftigt.

### Kursleitung

*Prof. Dr. Wolf Aßmus*, Professor für Physik an der Goethe-Universität Frankfurt am Main  
*Alexander Dick*, Lehrer für Physik und Mathematik

### 5.1 Schall

Paula Wiegand  
Betreuer: Alexander Dick

In unserem Alltag nehmen wir ständig Töne, Geräusche oder Klänge wahr. Hinter ihnen stecken für das Auge nicht sichtbare Wellen, die die Luft in unserer Umgebung in Schwingungen versetzen. Wenn ein Körper in Schwingung gerät, stößt der Körper dadurch anliegende Moleküle aus der Luft an. Diese Moleküle bringen wiederum ihnen angrenzende Moleküle in Bewegung. Auf diese Weise entstehen in der Luft Verdichtungen und Verdünnungen, eine Schallwelle. Der Schall breitet sich je nach Übertragungsmedium mit einer spezifischen Schallgeschwindigkeit aus. Für die Messung der Geschwindigkeit einer Schallwelle, wird die Frequenz  $f$  (Anzahl der Schwingungen pro Sekunde) der Schallwelle in der Einheit Hertz ( $Hz$ ) ermittelt. Je größer die Frequenz ist, desto höher erscheint der Ton. Die Frequenz  $f$  steht in Beziehung mit der Schallgeschwindigkeit  $c$  und deren Wellenlänge  $\lambda$ :

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

Auch die Druckamplitude eines Schallereignisses ist bei der Wahrnehmung wichtig. Die Amplitude ist der Abstand vom höchsten Punkt der Schallwelle zum Nullpunkt. Da es sich beim Schall physikalisch gesehen um eine longitudinale mechanische Welle handelt, die in einer zeitlichen Periode den Druck in ihrem Medium verändert, gibt man die Amplitude mit der Einheit des Druckes Pascal an.

### Transversale und Longitudinale Wellen

Diese beiden Wellenformen charakterisieren den Unterschied zwischen der Ausbreitung von Licht und der Ausbreitung von Schall. Licht ist eine elektromagnetische Welle und somit eine Transversalwelle. Licht benötigt für die Ausbreitung kein Medium. Schallwellen breiten sich dagegen in Form von Longitudinalwellen aus. Schallwellen sind Druckwellen. In einem Medium kommt

es also zu einer Ausbreitung, Verschiebung oder Fortpflanzung von Zonen mit Über- oder Unterdruck in die Ausbreitungsrichtung. Aus diesem Grund braucht Schall zur Übertragung ein Medium, wie beispielsweise Luft oder Wasser. Sobald sich beide Wellenformen nicht mehr ungehindert ausbreiten können, lassen sich verschiedene Phänomene beobachten, wie beispielsweise die Reflexion, Brechung oder Beugung dieser Wellen.

### Das menschliche Gehör

Nachdem der Schall durch das Außenohr verstärkt wurde und ins Mittelohr eintritt, ist es die wesentliche Aufgabe des Mittelohrs die Impedanz anzupassen. Um die Druckänderung anzugleichen, wirkt die Kraft  $F_1 = \Delta p_1 \cdot A_T$  ( $\Delta p_1$ =Druckänderung durch die einfallende Schallwelle und  $A_T$ =Fläche des Trommelfells) auf das Trommelfell. Auf das ovale Fenster wirkt dagegen die Kraft  $F_2 = \Delta p_2 \cdot A_F$  ( $\Delta p_2$ =Druckamplitude des Innenohrs und  $A_F$ =Fläche des ovalen Fensters). Durch Hammer und Amboss werden die beiden Kräfte in Drehmomente umgewandelt, die im Gleichgewicht sein müssen ( $F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$ ). Durch diesen Mechanismus erhöht sich die Intensitätsübertragung um ca. 60. Im Innenohr unterteilt sich die Cochlea (Hörschnecke) in die Vorhoftrappe, Paukentreppe und in den mittleren Schneckengang. Die Basilarmembran trennt den Schneckengang von der Paukentreppe. Das Cortische Organ liegt mit seinen Sinneszellen in der Basilarmembran. Das Ohr muss, um die Schwingungen verschiedener Frequenzen differenzieren zu können, die Schwingungen voneinander isolieren. Dies geschieht durch räumliche Verschlüsselung und zeigt sich daran, dass unterschiedliche Nervenfasern auf verschiedene Tonhöhen maximal reizbar sind. Entscheidend ist die spezifische Ausbreitung der Flüssigkeitswelle in der Hörschnecke, da die Flüssigkeitswelle direkten Einfluss auf die Basilarmembran nimmt.

### Hörschwelle des menschlichen Gehörs

Mit einem Oszilloskop lässt sich, wie in der Hörkurve (Abb.: 1) dargestellt, nachweisen, dass das menschliche Gehör in der Lage ist, Frequenzen zwischen ungefähr 14 Hz und 20000 Hz wahrzunehmen. Schall mit einer niedrigeren Frequenz (Infraschall) oder einer höheren Frequenz (Ultraschall) können wir nicht hören. Die sogenannte Hörschwelle liegt bei der Schallintensität, bei der wir einen Ton gerade noch hören können. Um die Hörkurve mit dem Oszilloskop zu bestimmen und damit die spektrale Empfindlichkeit darzustellen, werden für Töne mit unterschiedlichen Frequenzen die bei der Hörkurve festgelegten Amplituden des Tonsignals ermittelt. Experimentell konnten wir während unserer Kurszeit nachweisen, dass eine Frequenz, die im mittleren Frequenzbereich (2 kHz) lag wesentlich lauter zu hören war als eine sehr hohe Frequenz (12 kHz) bei gleicher Schallintensität.

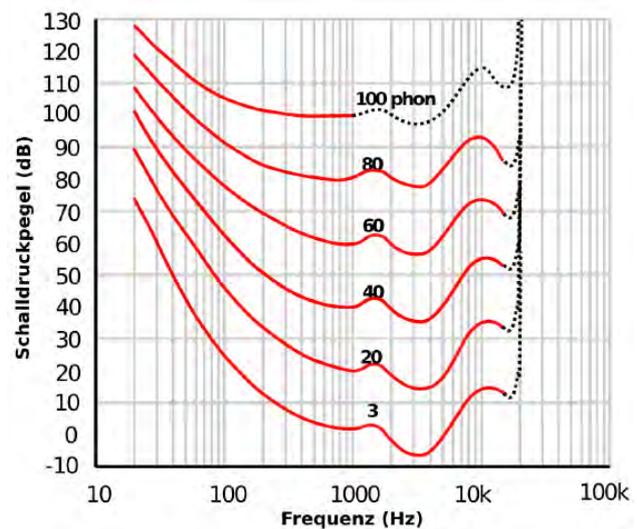


Abbildung 1: Kurven gleicher Lautstärke. Quelle: [4]

**Quellen:**

1. <https://www.dasgehirn.info/wahrnehmen/hoeren/was-hoert-man-eigentlich> (16.Juni 2017)
2. [https://e3.physik.uni-dortmund.de/~suter/Vorlesung/Medizinphysik\\_09/4\\_Ohr.pdf](https://e3.physik.uni-dortmund.de/~suter/Vorlesung/Medizinphysik_09/4_Ohr.pdf) (16 Juni 2017)
3. <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/artikel/licht-als-transversalwelle> (30.Juni 2017)
4. Praktikumshandbuch für die Mediziner in der Physik, 2015 BioPhysMed-Verlag UG (haftungsbeschränkt), Dr. Oliver Klein, Goethe-Universität Frankfurt, 5. Auflage 2015

**5.2 Sonographie**

Philipp Seiffert

Betreuer: Alexander Dick

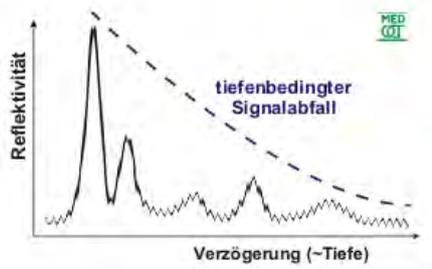
Unter Sonographie versteht man den Einsatz gezielt gerichteter Ultraschallstrahlung zwecks Untersuchung körpermiter Gewebeschichten, um chirurgische Eingriffe zu vermeiden. Der folgende Text soll einen knappen Einblick in die Funktionsweise dieser Methodik geben.

Um diese zu verstehen, muss man vorerst einmal verstehen, was es überhaupt mit Ultraschall auf sich hat. Als Ultraschall bezeichnet man Schall (siehe vorherigen Beitrag), der eine Frequenz von sechzehntausend Hertz ( $16\text{ kHz}$ ) bis hin zu einer Millionen Hertz ( $1\text{ GHz}$ ) hat. Unter der Frequenz versteht man bei sinusförmigen Schwingungen, so auch dem Schall, die Anzahl der Schwingungen pro Zeit;  $1\text{ Hz} = 1\text{ s}^{-1}$ . Als Schwingung bezeichnet man dabei bei Schall den Vorgang, innerhalb dessen ein bestimmtes Teilchen der Welle von maximalem Druck zum Minimalen und wieder zum Maximalen wechselt; der Druck stellt dabei den sinusartigen Ausschlag der Welle da.

Um Einsicht in den Körper zu erhalten, wird eine Ultraschallsonde verwendet; diese besteht aus einem den Ultraschall erzeugenden und detektierenden Teil sowie einem auswertenden Teil. Während Zweiterer durchaus sperrig und unmobil sein kann, wird Ersterer in den Körper ein- oder an ihn aufgesetzt und kann dabei um  $180^\circ$  bis  $260^\circ$  geschwenkt werden; abhängig vom Modell. Dieser Schwenkbarkeit wegen wird er auch als „Schallkopf“ bezeichnet. Sein Zentrum bildet ein sogenanntes Ferroelektrikum; ein bipolares kristallines Bauteil, das durch Anlegen einer Spannung seine Polung ändert. Diese Änderung kann dabei eine benachbarte magnetische Membran in Schwingungen versetzen, die durch ihre Vibration den Ultraschall erzeugt; man kann sich das vergleichbar einer Lautsprechermembran vorstellen. Umgekehrt kann diese Membran von Schall-schwingungen in Vibration gebracht werden; dies polt das Ferroelektrikum um und erzeugt so eine einfacher zu messende Spannung.

Um das sie umgebende Gewebe zu detektieren, entsendet der Sondenkopf Ultraschallstrahlen in eine bestimmte Richtung und wartet nach einmaliger Entsendung auf ihre Rückkehr. Da fast jeder Übergang zwischen zwei unterschiedlichen Geweben einen Teil des Ultraschalles durchlässt, einen Weiteren mit leichtem Intensitätsverlust jedoch auch reflektiert, muss die Ultraschallsonde nach Entsendung jeder einzelnen Ultraschallwelle lediglich warten, bis sie ein Echo registriert; aus der Dauer bis zum Empfangen jeder Reflektion kann sie auf den Abstand des reflektierenden Objektes schließen. Diese ist, eine konstante Ultraschallgeschwindigkeit vorausgesetzt, proportional

zur Länge der verstrichenen Zeit; da mit zunehmender Eindringtiefe die Menge der unterschiedlich ultraschalleitenden Gewebearten zunehmend größer wird und die durchschnittliche Ultraschallleitegeschwindigkeit des untersuchten Gewebes immer weniger vorhersehbar ist, wird die Auflösung bei zunehmender Aufbringtiefe geringer.



Quelle: Wikipedia [5]

Ein weiteres Problem liegt darin, dass die Eindringtiefe des Ultraschalles mit zunehmender Frequenz abnimmt, gleichzeitig aber die örtliche Auflösung, also das Vermögen, nahe beieinandergelegene Strukturen auseinanderzuhalten, zunimmt. Es gilt also, die jeweils größte Frequenz zu nehmen, die das zu untersuchende Objekt gerade noch erreichen kann. Auch entstehen signifikante Auflösungsprobleme, wenn sich zwischen Gewebe und Ultraschallkopf Gasbläschen bilden, an denen der Ultraschall stark reflektiert wird und einen großen Anteil seiner Intensität verliert; dies kann jedoch durch Auftragen eines Übergangsbildenden Gels zwischen Sondenkopf und Körperoberfläche verhindert werden.

Nach Abklingen und Auswertung sämtlicher Echos kann das Ergebnis der Untersuchung graphisch dargestellt werden. Hat die Ultraschallsonde nur in eine Richtung gepeilt, lassen sich nur in einem eindimensionalen Bereich alle Gewebeübergänge ihrer Position zuordnen; beispielsweise in einem Graph, der auf der x-Achse den Abstand des Gewebes (bzw. die verstrichene Zeit bis zum Empfangen des das Gewebe detektierenden Echos) und auf der y-Achse die vom Gewebe ausgehende Echointensität darstellt.

Nach Abklingen und Auswertung sämtlicher Echos kann das Ergebnis der Untersuchung graphisch dargestellt werden. Hat die Ultraschallsonde nur in eine Richtung gepeilt, lassen sich nur in einem eindimensionalen Bereich alle Gewebeübergänge ihrer Position zuordnen; beispielsweise in einem Graph, der auf der x-Achse den Abstand des Gewebes (bzw. die verstrichene Zeit bis zum Empfangen des das Gewebe detektierenden Echos) und auf der y-Achse die vom Gewebe ausgehende Echointensität darstellt.

Da diese Darstellungsform für Menschen vergleichsweise schwierig zu lesen und ausgesprochen uninformativ ist, schwenkt die Ultraschallsonde jedes Mal nach Ausklingen aller Echos –geringere Eindringtiefe beschleunigt daher die Untersuchung– um einen kleinen Winkel und wiederholt den gesamten Vorgang in jeweils anderer Richtung. Die dadurch entstehenden einzelnen eindimensionalen Untersuchungen werden anschließend zu einem zweidimensionalen Bild zusammengesetzt; dieses hat die Form eines Kreissegments, dessen Radius der Eindringtiefe entspricht und dessen Innenwinkel der Weite des Untersuchungswinkels entspricht. Diesen zweidimensionalen Modus kann man auch in Echtzeit einsetzen, wenn man den gesamten Vorgang entsprechend häufig wiederholt; dies bezeichnet man als 2D-Echtzeitmodus. Auf der entstehenden Übertragung ist jede Stelle des Bildes abhängig von der Intensität des von dieser Stelle ausgehenden Echos dunkler oder heller dargestellt. Durch Schwenken der Ultraschallsonde in x- sowie y-Richtung lassen sich sogar dreidimensionale Aufnahmen, auch in Echtzeit, erzeugen.



Quelle: Wikipedia [6]

Im Gegensatz zu vergleichbaren diagnostischen Technologien, so z.B. dem Röntgen, bei dem der Untersuchte einer Strahlenbelastung ausgesetzt ist, ist Ultraschall weitgehend ungefährlich; bis auf die entstehende Wärme und der Kavitation –dem Entstehen und Platzen von Gasblasen im Körper– ist Sonographie vergleichsweise harmlos. Im Gegensatz zu Röntgenstrahlung hat sie eine

wesentlich geringere örtliche Auflösung. Intensivere Verwendung findet Ultraschall daher insbesondere bei der Untersuchung von Ungeborenen, nach der den werdenden Eltern häufig auch ein Abbild ihres Ungeborenen überlassen wird.

### Quellen:

1. <https://www.dasgehirn.info/wahrnehmen/hoeren/was-hoert-man-eigentlich> (16.Juni 2017)
2. [https://e3.physik.uni-dortmund.de/~suter/Vorlesung/Medizinphysik\\_09/4\\_0hr.pdf](https://e3.physik.uni-dortmund.de/~suter/Vorlesung/Medizinphysik_09/4_0hr.pdf) (16.Juni 2017)
3. <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/artikel/licht-als-transversalwelle> (30.Juni 2017)
4. Praktikumshandbuch für die Mediziner in der Physik, 2015 BioPhysMed-Verlag UG (haftungsbeschränkt), Dr. Oliver Klein, Goethe-Universität Frankfurt, 5. Auflage 2015
5. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A-mode\\_scan.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A-mode_scan.png) (8.August 2017)
6. [https://de.wikipedia.org/wiki/Sonografie#/media/File:Medecine\\_Echographie.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Sonografie#/media/File:Medecine_Echographie.jpg) (8.August 2017)

## 5.3 Optik und Augenmodell

Jan Niklas Bormann

Betreuer: Alexander Dick

### Der Sehvorgang

Die Lichtstrahlen, die in das Auge einfallen, durchdringen die Hornhaut, die vordere Augenkammer, die Linse, den Glaskörper und treffen dann auf die Netzhaut auf. Dort werden die Sehzellen durch ein verkleinertes, umgekehrtes Abbild eines Gegenstands gereizt. Dieses wird dann vom Sehnerven (Nervus opticus) zur Sehregion des Großhirns geleitet, wo es als „normales“ Abbild wahrgenommen wird. Lichtstrahlen, die von einem fernen Gegenstand in das Auge einfallen, werden von der Brechkraft so gebrochen, dass sie in der Netzhaut in einem gebündelten Punkt auftreffen. Damit sich Lichtstrahlen von einem nahen Gegenstand auf der Netzhaut in einem Punkt vereinigen können, muss die Brechkraft des optischen Systems verstärkt werden. Ansonsten würden sich die Strahlen erst hinter der Netzhaut vereinigen. Die Änderung der Brechkraft erfolgt unter anderem durch die Linse. Diese kann durch den Akkomodationsmuskel gewölbt (Kontraktion) oder abgeflacht werden (Relaxation). Eine maximale Kontraktion führt zum größtmöglichen Brechwert der Augenlinse.

### Brechkraft des Auges (Refraktion)

Die Einheit der Brechkraft ist die Dioptrie. Sie gibt an, wie stark ins Auge einfallende Lichtstrahlen gebrochen werden. Die allgemeine Formel für die Brechkraft ist 1 geteilt durch Brennweite. Eine Sammellinse hat positive Dioptrien Zahl, eine Zerstreuungslinse eine negative Dioptrien Zahl. Eine Linse von  $0,2\text{ m}$  Brennweite hat dementsprechend 5 Dioptrien ( $1 : 0,2 = 5$  Dioptrien ( $dpt$ )). Die Brennweite ist die Entfernung von der Linsenebene zum Brennpunkt. Die Brechkraft des Auges beträgt insgesamt etwa 60 Dioptrien.

**Kurzsichtigkeit (Myopie)**

Bei der Kurzsichtigkeit liegt der Brennpunkt der Strahlen schon vor der Netzhaut. Dies ist entweder auf einen verlängerten Augapfel oder auf eine höhere Brechkraft im Brechungssystem zurückzuführen. Dadurch entsteht ein unscharfes Bild. Bestimmte Krankheiten und Medikamente können die Brechkraft wie z. B. bei einem Glaukom (grüner Star) erhöhen. Das Kammerwasser kann hier nicht richtig abfließen, der Augeninnendruck erhöht sich und verlängert so den Weg des Lichts. Beim grauen Star (Katarakt) trübt die Linse ein. Diese Erkrankung wird meist operativ beseitigt. Um eine Vereinigung der Lichtstrahlen auf der Netzhaut zu erreichen, muss die Brennweite vergrößert werden. Dazu verwendet man eine Zerstreuungslinse.

**Weitsichtig-/Übersichtigkeit (Hyperopie)**

Bei der Übersichtigkeit ist der Augapfel verkürzt. Somit liegt der Brennpunkt hinter der Netzhaut. Auch hier entsteht ein unscharfes Bild und es kommt zur Fernakkommodation. Bis zu einem gewissen Alter kann der Brechwertdefizit durch Nahakkommodation ausgeglichen werden. Je älter man wird, desto mehr lässt die Elastizität der Linse nach. Ab dem ca. 45. Lebensjahr entfernt sich der Nahpunkt vom Auge weg – die Wölbung der Linse ist geringer geworden (Altersweitsichtigkeit). Die Sehstrahlen der Gegenstände treffen dadurch nun erst hinter der Netzhaut auf. Die nun fehlenden Dioptrien müssen durch Brillengläser (Sammellinse) ersetzt werden.

**Stabsichtigkeit (Astigmatismus)**

Bei dem Astigmatismus (Brennpunktlosigkeit) weist das Auge in unterschiedlichen Richtungen unterschiedliche Brechwerte auf. Ursachen können Narben der Hornhaut, Infiltrationen (Eindringen von Flüssigkeit) oder Ulzerationen (Bildung eines Geschwüres) sein. Die Lichtstrahlen können dadurch nicht in einem Brennpunkt vereinigt werden, sondern in einer Brennlinie.

Zum Ausgleich werden Zylindergläser, die in die entsprechende Richtung gekrümmt sind, in extremen Fällen auch Kontaktlinsen, eingesetzt. Dabei steht die Zylinderachse der Korrekturlinse senkrecht auf der Zylinderachse des Auges.

**Quellen:**

1. Marsch, Friederike; Thieme; Physik für Krankenpflegeberufe 2. Auflage
2. Faller, Adolf; Thieme Verlag; Der Körper des Menschen 9. Auflage
3. Kommnick, Jörg; Augenoptik in Lernfeldern 2. Auflage
4. Praktikumshandbuch für die Mediziner in der Physik, 2015 BioPhysMed-Verlag UG (haftungsbeschränkt), Dr. Oliver Klein, Goethe-Universität Frankfurt, 5. Auflage 2015

**5.4 Grundlagen der Röntgenstrahlung in der Medizin**

Johanna Schmidt

Betreuer: Wolf Assmus

Um die Einsatzmöglichkeiten der Röntgenstrahlung in der Medizin zu erfassen, ist es notwendig die Voraussetzungen und physikalischen Grundlagen zu verstehen. Im Folgenden werden diese dargestellt. Die Röntgenstrahlung wurde 1895 in Würzburg von dem Physiker Wilhelm Conrad Röntgen (\*1845 - †1923) entdeckt, welcher 1901 für diese Entdeckung den ersten Nobelpreis für Physik erhielt.

Durch den bewussten Verzicht auf eine Patentierung seiner Erkenntnisse ermöglichte Röntgen eine schnelle und flächendeckende Entwicklung vieler neuer Anwendungen der damaligen Zeit. Beispiele hierfür sind medizinische mobile Röntgengeräte, welche häufig im ersten Weltkrieg zum Einsatz kamen und das Schuh-Fluoroskop, welches in Schuhgeschäften zu Verfügung stand, um die Passform der Schuhe zu überprüfen.

Die Erkenntnis, dass der häufige ungeschützte Einsatz zu Strahlenschäden führt, und somit Nebenwirkungen einhergehen, setzte sich erst einige Jahre später durch.

Um die Folgen der Röntgenstrahlung zu verstehen, ist es elementar, die Entstehung und die Wechselwirkung mit Materie zu kennen: Röntgenstrahlung ist eine hochfrequente elektromagnetische Welle im Wellenlängenbereich zwischen  $10^{-11} \text{ m}$  und  $10^{-8} \text{ m}$ . Sie ist nicht sichtbar und breitet sich mit Lichtgeschwindigkeit aus. Zudem bleibt sie unbeeinflusst von magnetischen sowie elektrischen Feldern und ist fähig Materie zu durchdringen.

Diese Strahlung entsteht in der in Abb.1 zu sehenden evakuierten Röntgenröhre. Durch die elektrische Heizung der Kathode werden dort Elektronen freigesetzt. Sie treffen als Folge der Beschleunigungsspannung  $U_a$  ( $10 - 150 \text{ kV}$ ) mit hoher kinetischer Energie auf der Anode auf. Stoßen die Elektronen auf die Anode, werden sie von den positiv geladenen Atomkernen des Anodenmaterials abgebremst, was mit einem Energieverlust einhergeht. Durch die Abbremsung beziehungsweise Ablenkung entsteht die kontinuierliche Bremsstrahlung. Die Röntgenquanten induzieren aber auch elektronische Übergänge in den Atomen. Beim Auffüllen der Elektronen der inneren Schalen, mit Elektronen der äußeren Schalen, entsteht die für jedes Element charakteristische Röntgenstrahlung. Die kinetische Energie der auf die Anode auftreffenden Elektronen wird zu 99 % in Wärmeenergie und zu 1% in Röntgenstrahlung gewandelt.

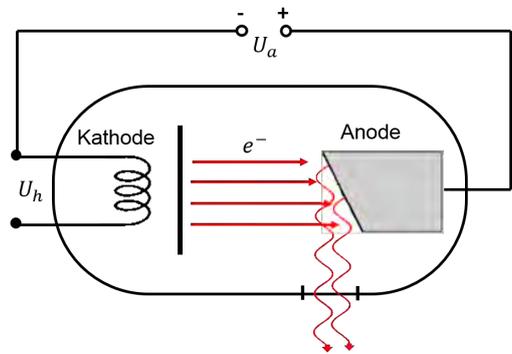


Abbildung 1: Aufbau einer Röntgenröhre [Eigene Abbildung]

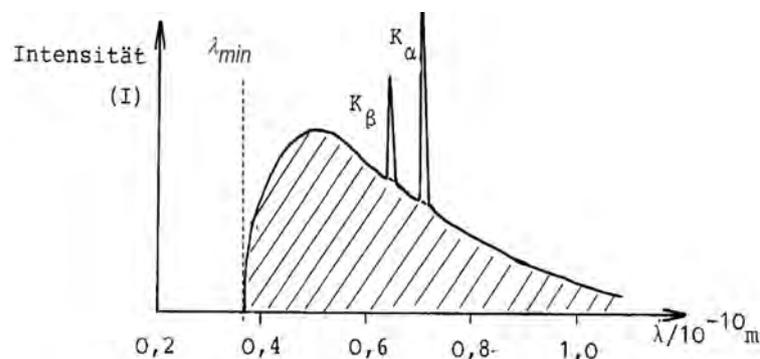


Abbildung 2: Röntgenspektrum einer Molybdän-Anode. Quelle: [5]

Treffen Röntgenquanten auf Materie, interagieren sie auf unterschiedliche Art und Weise. Die klassische Streuung wird in Abb.3 dargestellt. Die Energie des Röntgenquantums bleibt identisch, lediglich die Richtung ändert sich. Der in Abb.4 gezeigte Compton-Effekt entsteht, wenn ein Quant auf ein Elektron der Atomhülle stößt und dabei kinetische Energie überträgt.

Dieses wird dabei aus dem Atomhüllenverband entfernt, die restliche Energie wird dissipiert. Dies ist ein ionisierender Vorgang. Abb.5 zeigt den Photoeffekt, welcher sich durch die komplette Absorption der Quanten auszeichnet. Durch die Energie wird ein Elektron aus dem Atom entfernt, welches sich frei bewegen kann.

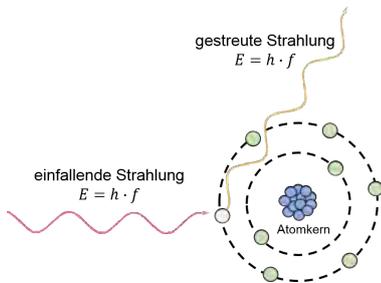


Abbildung 3: einfache Streuung [Eigene Abbildung]

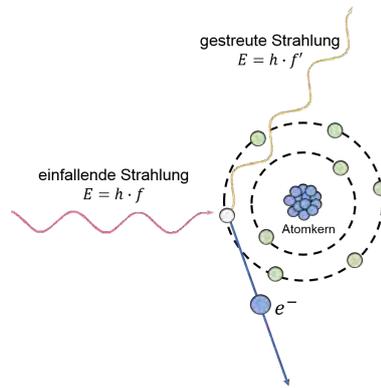


Abbildung 4: Compton-Streuung [Eigene Abbildung]

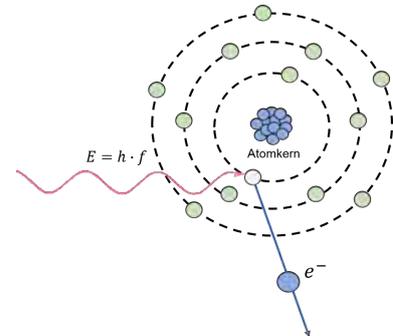


Abbildung 5: Photoelektrischer Effekt [Eigene Abbildung]

Bei einer niedrigen Spannung  $U_\alpha$  ist der Fotoeffekt hoch, was aufgrund der Absorption zu einer erheblichen Gewebsschädigung führt. Um dies bei medizinischen Geräten zu verhindern enthalten sie oft einen Al-Filter, der die niederfrequente Strahlung absorbiert. Der Compton-Effekt schädigt das Gewebe weniger. Um eine möglichst geringe Schädigung des Gewebes, aber einen dennoch aussagekräftigen Kontrast des Bildes zu erhalten, wird in der Medizin meist eine mittlere Beschleunigungsspannung verwendet. Zudem werden unterschiedliche Materialien wie zum Beispiel Bleischürzen genutzt, um die Strahlendosis für den Körper zu minimieren. Weiterhin ist es durch hochentwickelte Detektoren gelungen ausreichenden Kontrast bei kürzerer Bestrahlung zu erhalten. Durch diese Erkenntnisse und die dadurch ermöglichten gezielten Einsätze von Schutzvorrichtungen konnte die Strahlendosis bis zu 1500 mal verringert werden. Röntgenstrahlung ist heute zu einem sehr wichtigen Werkzeug in vielen Bereichen der Medizin, Naturwissenschaften (Analytik) und Ingenieurwissenschaften (Materialprüfung) geworden, welche Dank der physikalischen Erkenntnisse sicher und gezielt eingesetzt werden kann.

#### Quellen:

1. Harms, Volker: Physik für Mediziner und Pharmazeuten, Harms Verlag, Kiel, 9. Auflage, 1984
2. Diehl, Bardo u.a.: Physik Oberstufe Gesamtband, Cornelsen Verlag, Berlin, 1. Auflage, 2008
3. Grehn, Joachim u.a.: Metzler Physik, Schroedel Schulbuchverlag, Braunschweig, 4. Auflage, 2013
4. Prof. Dorn, Friedrich u.a.: Physik in einem Band, Schroedel Schulbuchverlag, Würzburg, 1976
5. Klein, Oliver: Vorklinischer Kurs Physik für Mediziner Praxishandbuch, BioPhysMed-Verlag UG (haftungsbeschränkt), Kiefersfelden, 6. Auflage, 2016, S.252

## 5.5 Medizinische Anwendung der Röntgenstrahlung

Shannon Pfalzgraf  
Betreuer: Wolf Assmus

Fast jeder wurde in seinem Leben schon einmal geröntgt- oder wird es irgendwann werden Die Röntgendiagnostik ist eine große Bereicherung für die Medizin, da man mit ihr einfach Diagnosen treffen kann, ohne auf chirurgische Eingriffe zurückgreifen zu müssen.

Vor mehr als 120 Jahren entdeckte Wilhelm Conrad Röntgen die nach ihm benannten elektromagnetischen Strahlen. So wurde der Weg geebnet für die Entdeckung einer Reihe von weiteren Untersuchungsmöglichkeiten, die wir heute als „medizinische Bildgebung“ kennen.

Röntgenstrahlen entstehen, wenn Elektronen mit großer Geschwindigkeit auf eine Metalloberfläche auftreffen und abgebremst werden. Dabei wird Energie in Form von Röntgenstrahlung abgegeben.

### Bildentstehung durch Röntgenstrahlen

Röntgenstrahlen wechselwirken mit Materie und können sie durchdringen. Dabei wird ein Teil der Strahlung absorbiert. Unterschiedlich dichte Gewebe des menschlichen Körpers absorbieren unterschiedlich viel Strahlung, weshalb es möglich ist, eine Abbildung des Innenlebens unseres herzustellen.

Wo die meisten Strahlen absorbiert werden (In den Knochen) wird der dahinterliegende Film nur leicht geschwärzt. Werden weniger Strahlen absorbiert, wie im Fettgewebe, wird der Film stärker geschwärzt. So entsteht ein Negativ-Bild der Anatomie des Patienten.

Bei einigen Teilen des Körpers, beispielsweise dem Bauchraum und Weichteilstrukturen, funktioniert diese Technik jedoch aufgrund des fehlenden Kontrasts als Folge sehr ähnlicher Absorption des Gewebes nicht. Um dem entgegenzuwirken, verwendet man sog. Kontrastmittel. Diese absorbieren die Röntgenstrahlung stärker und erhellen so den gewünschten Bereich, so dass dieser auf dem Bild wieder erkennbar ist. So lassen sich beispielsweise Bilder von Hohlorganen und Blutgefäßen (z. B. Angiographie) anfertigen.

### Absorptionskoeffizient

Wenn Strahlung Materie durchdringt wird ihre Intensität geschwächt. Diese Schwächung ist Energie- und Stoffabhängig. Verringert wird die Intensität durch Streuung oder, was den Hauptteil ausmacht, durch Absorption. Die Schwächung von Röntgenstrahlen (Absorption) steigt mit folgenden Faktoren: Der Röntgenwellenlänge und der Ordnungszahl, Dichte und Dicke des Materials. Aus diesem Grund absorbiert z.B. Fettgewebe weniger Strahlung, als Knochen es tun. Diese enthalten vergleichsweise schweres Calcium und haben deshalb einen höheren Absorptionskoeffizienten. Dieser Koeffizient gibt an, wie stark elektromagnetische Strahlung beim Durchgang durch Materie vermindert wird. Bringt man Materie in ein Strahlenbündel der Intensität  $I_0$  und misst die verbleibende Intensität  $I$  in Zusammenhang mit der Materialdicke  $d$ , so ist die verbleibende Intensität umso kleiner, desto größer  $d$  ist. Sie sinkt also exponentiell mit zunehmender Dicke, was sich mit  $\mu$  als Absorptionskoeffizient wie folgt beschreiben lässt:

$$I = I_0 \cdot \exp -\mu \cdot d \quad (1)$$

### Potentielle Gefahren der Röntgenstrahlung

Immer wieder hört man, wie gefährlich Strahlung sein kann. Tatsächlich sind wir jeden Tag Strahlung ausgesetzt, die von der Erde oder dem Weltraum kommt. Gerade wenn wir mit dem Flugzeug reisen oder Urlaub in den Bergen machen, ist diese Normaldosis deutlich erhöht, denn die Atmosphäre schirmt uns vor Strahlung aus dem Weltall ab. Je höher wir uns befinden, desto mehr Strahlung sind wir ausgesetzt.

Durch die technischen Fortschritte ist es gelungen, die Dosis der Strahlung bei Röntgenaufnahmen gegenüber den Anfängen stark zu reduzieren, da empfindliche Detektoren kürzere Bestrahlungszeiten erlauben. Mittlerweile wissen wir um die Schäden, die ionisierende Strahlen anrichten können, wenn die Dosis zu hoch wird. Sie sind in der Lage Erbgut zu schädigen und können zu Erbkrankheiten führen oder Zellen zerstören und so die Wahrscheinlichkeit für Tumore und Krebs erhöhen.

Die Strahlendosis einer „normalen“ Röntgenaufnahme entspricht etwa 0,05 Millisievert (mSv), etwa so viel wie bei einem Transatlantikflug. Die Einheit, in der Strahlung normalerweise angegeben wird, heißt Gray. Multipliziert mit dem Strahlungsgewichtungsfaktor (bei Röntgenstrahlen 1) und dem Organgewichtungsfaktor ergibt dies die Einheit Sievert (Sv).

$$[Sv] = [Gy] = 1J/kg \text{ (gilt für Röntgenstrahlung)}$$

Die normale Strahlenbelastung beträgt jedoch 1-5 tausendstel Sievert, also ungefähr der 100-fache Wert verglichen mit der Röntgenstrahlung. Statistisch gesehen erhöht eine einfache Röntgenuntersuchung das Risiko Krebs zu bekommen nur sehr gering.

Von den medizinischen Bildgebungsverfahren, welche ionisierende Strahlung verwenden, ist somit das Röntgen eine unbedenkliche Methode und der Nutzen überwiegt die potentiellen Gefahren.

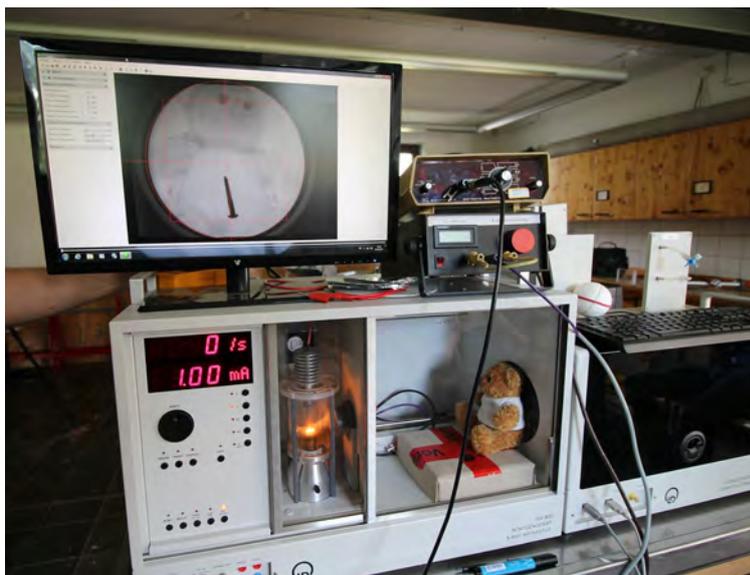


Abbildung 1: Die benutzte Röntgenanlage [Foto: Alexander Dick]

Links: Spannungsversorgung, Röhre Rechts: Kamera für Bildschirm (oben) Darauf zu sehen: Röntgenaufnahme eines mit einer Schraube präparierten Plüschbären

**Quellen:**

1. von Schulthess, Gustav K.: „Röntgen, Computertomografie & Co.“, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1. Auflage, 2017
2. Wetzke, Martin et al.: „BASICS Bildgebende Verfahren“, Urban & Fischer Verlag München, 5. Auflage, 2015
3. <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/6049> (8.8.2017)
4. <http://www.onmeda.de/behandlung/roentgen.html> (8.8.2017)
5. [http://www.vis.uni-stuttgart.de/plain/vdl/vdl\\_upload/148\\_18\\_Vortrag-Christian-Demler.pdf](http://www.vis.uni-stuttgart.de/plain/vdl/vdl_upload/148_18_Vortrag-Christian-Demler.pdf) (8.8.2017)

**5.6 Computertomographie**

Till Fabritz

Betreuer: Wolf Assmus

Die Computertomographie ist ein dreidimensional bildgebendes Verfahren der modernen Medizin. Es basiert auf der Idee den Körper eines Patienten aus verschiedenen Richtungen mit Röntgenstrahlen abzubilden, und aus diesem Schatten dann computergestützt den räumlichen Aufbau, also zum Beispiel die Lage und den Zustand der Organe, zu rekonstruieren.

Das CT-Verfahren wurde 1969 erstmals von Godfrey Hounsfield medizinisch verwendbar auf den Markt gebracht. Seit dem wurde die Technik hinsichtlich Auflösung, Scangeschwindigkeit und Strahlenbelastung immer weiter entwickelt.

Die Scaneinheit eines Computertomographen ist eine senkrecht stehende, torusförmige Apparatur in der die Detektorzeile um die Gantry (die mittige Öffnung) kreist. Gegenüber der Detektorzeile bewegt sich im Torus eine Strahlenquelle, die in der Rotationsebene fächerförmig die Detektorzeile durch den Patienten bestrahlt. Die Verschiebung der Liege sowie die Rotation von Strahlungsquelle und Detektorzeile geschehen computergesteuert, damit die Bewegung gleichmäßig und in der richtigen Geschwindigkeit erfolgt.

Ursprünglich scannte ein CT eine einzelne Ebene des Patienten aus vielen Blickwinkeln, schob den Patienten ein kleines Stück weiter und scannte dann die nächste Schicht. Dieser Ablauf von sich abwechselndem scannen und weiterschieben wiederholte sich, bis der zu untersuchende Bereich des Patienten gescannt war. (inzwischen veraltete Technik)

Die heutige Technik ist das Mehrzeilen-CT. Dabei besteht die Detektorzeile nicht aus einer Reihe Photozellen sondern aus vielleicht einigen hundert. Dadurch können sehr viel mehr Daten auf einmal aufgenommen werden und es ermöglicht das Spiral- oder Helix-CT-Verfahren. (Abb.2) Bei diesem Verfahren fährt die Liege mit dem Patienten zum Scan kontinuierlich durch die Gantry, während die Strahlungsquelle (aus dem Bezugssystem des Patienten) eine Spirale um den Patienten beschreibt bzw. (im ruhenden Bezugssystem) kontinuierlich rotiert.

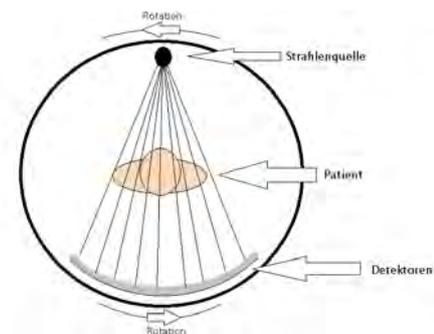


Abbildung 1: Prinzip eines CT-Geräts [Eigene Abbildung]

Ein Scan dauert mit diesem Verfahren nur einige Sekunden bis wenige Minuten. Dadurch wird die Strahlenbelastung reduziert. Die aufgenommenen Daten werden mit einem Verfahren ausgewertet das sich gefilterte Rückprojektion nennt. Es basiert auf der von Johann Radon 1917 entwickelten Radon-Transformation.

Bei einer einfachen Rückprojektion werden die aufgenommenen Daten entlang der zu ihrer Entstehung führenden Strahlen durch eine Bildebene projiziert. Dadurch entsteht ein Abbild der ursprünglich gescannten Schicht, welches jedoch auf eine ganz spezielle Weise unscharf ist. Diese Unschärfe wird als Artefakt bezeichnet. Ein solches Artefakt kann dann durch eine Dekonvolution im mathematischen Sinne entfernt werden. Dabei werden die zu einer Rückprojektion verarbeiteten Daten einer Fourier-Transformation unterzogen, durch eine weitere, spezielle, ebenfalls zweidimensionale Funktion (nachdem auch diese transformiert wurde) dividiert und wieder rücktransformiert.

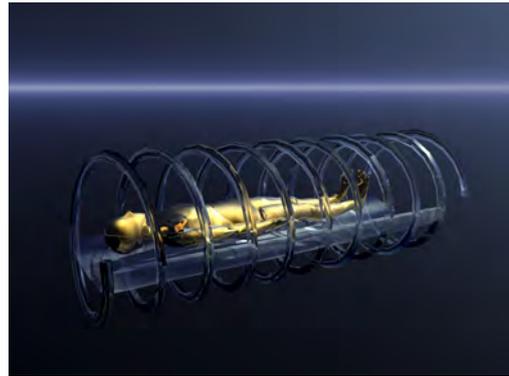


Abbildung 2: Spiral- oder Helix-CT.  
Quelle: Wikipedia [3]

Damit die Strahlenbelastung des Patienten reduziert werden kann, wird oft kurz vor dem Scannen ein Kontrastmittel über eine vorher gelegte Kanüle in die Vene verabreicht. Das Kontrastmittel ist für gewöhnlich jodhaltig und hat eine besonders hohe Röntgenabsorption. Da die meisten Weichteilgewebearten eine ähnliche Röntgenabsorption haben, kann das Kontrastmittel die Blutgefäße kurzzeitig stark hervorheben, wenn es durch sie fließt. Durch diese Hervorhebung kann man ebenfalls die Strahlenbelastung reduzieren. Es sind Nebenwirkungen (z.B. ein Wärmegefühl) und eventuelle Allergien auf das Kontrastmittel bekannt.

Mit den oben genannten Methoden beträgt die Strahlendosis einer modernen CT-Untersuchung nur noch 0,5 bis 20 Millisievert. Wenn ein CT am Herzen durchgeführt werden soll, wird einerseits oft ein Medikament zur Beruhigung gegeben um dem Herzschlag zu verlangsamen, andererseits mit einem EKG der Herzschlag mit der Strahlenquelle synchronisiert. Dieses EKG stellt sicher, dass nur Bilder vom Patienten gemacht werden, wenn das Herz in einer bestimmten, immer gleichen Stellung ist, um zu vermeiden, dass die Pumpbewegung des Herzens die aufgenommenen Daten verwischt. (Die räumliche Abweichung kann bis zu 2cm betragen.)

Eine der neuesten Verfahren ist das Dualenergy-CT. Dabei wird der Körper Zeitgleich von zwei Strahler-Detektorpaaren unterschiedlicher Röntgenenergien durchleuchtet. Die Strahler sind um etwa 90° versetzt zueinander in der Gantry angebracht. Diese Technik beschleunigt das Verfahren einerseits nochmal, weil man noch mehr Daten gleichzeitig aufnimmt. Andererseits kann man durch die Bilder mit unterschiedlichen Röntgenenergien unter Umständen die Durchblutung oder die chemische Zusammensetzung einzelner Abschnitte bestimmen, was dem Patienten Folgeuntersuchungen ersparen kann.

#### Quellen:

1. Flohr, Thomas: Praxisbuch Herz-CT: Grundlagen - Durchführung - Befundung (German Edition), Springer, Heidelberg / Berlin, 2. Auflage, 2013
2. <https://www.physik.uni-kl.de/uploads/media/GrundlagenCT.pdf> (22.7.2017)
3. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3b/Spiral\\_CT.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3b/Spiral_CT.jpg) (20.12.2017)

## 5.7 Magnetresonanztomographie (MRT)

Antonia Maria Weiland

Betreuer: Wolf Assmus

Die Magnetspintomographie ist ein bildgebendes Verfahren, welches auf quantenmechanischen Effekten beruht. Sie basiert auf dem Verhalten der Kernspins. Er ist eine Eigenschaft, die einem Teilchen ein magnetisches Dipolmoment zuschreibt. Spins können in einem Magnetfeld, je nach Art des Teilchens, nur eine diskrete Anzahl an Ausrichtungen einnehmen, bei Protonen z.B. zwei. Bei einer MRT – Untersuchung wird der Körper zunächst in ein Hauptmagnetfeld  $B_0$  (2 – 4 Tesla) gelegt, wodurch sich die Kernspins der Wasserstoffatome aufgrund ihres magnetischen Moments  $\mu$  ausrichten. Bei der MRT werden meistens die Spins der  $H^+$  Moleküle ausgelenkt, da diese das häufigste Molekül im Körper sind. Außerdem sind keine weiteren Nukleonen vorhanden, weshalb die Spins ausgelenkt werden können. Dabei können die Spins sich wegen der Drehimpulserhaltung nicht genau parallel und antiparallel ausrichten, sondern sie präzedieren um die Magnetfeldachse. Die Präzessionsbewegung hat die Auslenkung von  $55^\circ$  und  $125^\circ$  zum angelegten Magnetfeld  $B_0$ . Bei Protonen gibt es zwei verschiedene energetische Stufen deren zugehörige Spinvektoren entgegengesetzt zueinander stehen. Die Besetzungswahrscheinlichkeit auf den energetischen Stufen durch die Boltzmannstatistik beschrieben. Durch die Boltzmannstatistik ergibt sich das Verhältnis  $(4,22 \cdot 10^{18})$ , was die messbaren Spins pro Mol Teilchen angibt. Die restlichen Spins kann man nicht detektieren, da antiparallel ausgerichtete Spinvektoren sich kompensieren. Man legt eine Wechselspannung im MHz-Bereich an eine Spule an. Dadurch entsteht ein modelliertes magnetisches Feld. Dieses ist mit den Besetzungsübergängen der Spins in Resonanz. Anschließend wird das Wechselfeld wieder abgeschaltet und die Spins relaxieren in ihren ursprünglichen Zustand. Da sich durch die Relaxation der Spins die magnetische Flussdichte ändert, entsteht in der Spule eine Induktionsspannung  $U_{IND}$ . Die gemessene Frequenz der Wechselspannung (Larmorfrequenz) kann als Funktion der Zeit dargestellt werden und ist das Kernsignal. Um ein genaueres Signal zur Ortskodierung zu erhalten, legt man in das Hauptmagnetfeld drei verschiedene Feldgradienten.

- Schichtselektionsgradient: Bestimmt die Schicht, in der die Spins angeregt werden sollen.
- Phasenkodiergradient (liegt auf Schichtselektionsgradienten): Sorgt dafür, dass die Spins zeilenweise phasenverschoben sind.
- Frequenzkodiergradient (liegt senkrecht zum Phasenkodiergradienten): beeinflusst die Spins spaltenweise, sodass sie unterschiedliche Larmorfrequenzen haben.

Durch das Vektorfeld der Feldgradienten, können die aufgenommen Signale differenzierter geortet werden. Mit Hilfe der Fourier Transformation wird das Kernsignal in einem Spektrum dargestellt, sodass man Informationen darüber erhält an welchem Ort das Signal wie stark ist, also wie hoch die Protonendichte im betrachteten Volumen ist. Bei der Bildgebung gibt es drei verschiedene Gewichtungungen, wonach sich entscheidet, welche Areale hell und dunkel dargestellt werden.

- T1 – Gewichtung: T1 (longitudinale Zeit) ist die Zeit, bis alle Spins nach der Auslenkung wieder in ihrem ursprünglichen Auslenkung in Richtung  $B_0$  sind. Durch kurze T1 werden Fette betont.

- T2 – Gewichtung: T2 (transversale Zeit) bestimmt, wie schnell die Spins nach der Auslenkung ihre Phasengleichheit verlieren. Bei dieser Gewichtung wird durch lange T2 vor allem Wasser betont.
- Bei der Gewichtung der Protonendichte wird Gewebe mit hoher Protonendichte betont.

Die meisten MRT - Geräte benutzen supraleitende Spulen zur Erzeugung des Hauptmagnetfeldes. Um den Widerstand der Spule gering zu halten, wird die Spule mit flüssigem Helium oder Stickstoff gekühlt. Eine weitere Unterscheidung ist zwischen offenen und geschlossenen MRT – Geräten zu differenzieren. Das geschlossene MRT – Gerät ist eine geschlossene Röhre, während das offene Gerät einen offenen Teil hat, der Zugang zum Patienten ermöglicht. Zwar ist die Bildqualität bei den offenen Systemen schlechter, jedoch kann man während einer Aufnahme mit Kunststoffbesteck operieren oder dem Patienten Beistand leisten, bzw. klaustrophobische Gefühle verringern.

Die MRT bietet verschiedenste Untersuchungsmethoden, wobei sie vor allem in den Neurowissenschaften präferiert wird, auf Grund der Strahlungsfreiheit.

In einem Versuch (Aufbau: Abb. 1) haben wir das Kernsignal verschiedener Stoffe messen können. Dazu haben wir Spulen auf einem Eisenjoch mit einem Netzteil verbunden und Strom fließen lassen, sodass in dem Eisenjoch ein konstantes Magnetfeld erzeugt wurde. Auf dem Eisenjoch befand sich eine Messkammer, die links und rechts von Modulationsspulen umgeben war. Mithilfe eines speziellen Oszillators bauten die Modulationsspulen ein Wechselfeld auf. Die Empfängerspule war dabei in der Messkammer. Regten wir die Spins der Stoffe (Öl, Öl mit Salz, Teflon und Glycerin) an, konnten wir die unterschiedliche Protonendichten bzw. Frequenz messen. Außerdem veranschaulichten wir, dass die Frequenzen vom Magnetfeld  $B_0$  abhängt

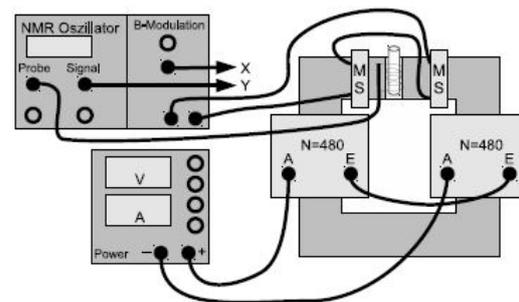


Abbildung 1: Experimenteller Aufbau Quelle: [4]

$$f = \frac{\gamma}{2\pi} \cdot B_0$$

indem wir die Magnetfeldstärke durch Modulation der angelegten Spannung variiert haben.

#### Quellen:

1. <https://www.mrt.uni-jena.de/Schnelle-Bildgebung.real-timemri.0.html> (21. Juli 2017)
2. <http://www.imp.uni-erlangen.de/lehre/MR%20Imaging.pdf#page=1&zoom=auto,-12,-361> (21. Juli 2017)
3. [http://www.ukgm.de/ugm\\_2/deu/umr\\_rdi/Teaser/Grundlagen\\_der\\_Magnetresonanztomographie\\_MRT\\_2013.pdf](http://www.ukgm.de/ugm_2/deu/umr_rdi/Teaser/Grundlagen_der_Magnetresonanztomographie_MRT_2013.pdf) (21. Juli 2017)
4. Klein, Oliver: Vorklinischer Kurs Physik für Mediziner Praxishandbuch, BioPhysMed-Verlag UG (haftungsbeschränkt), Kiefersfelden, 6. Auflage, 2016, S.252

## 5.8 Positronen-Emissions-Tomographie

Marcel Benedik

Betreuer: Jesse Jones

Die Positronen-Emissions-Tomographie (kurz: PET) ist ein bildgebendes Verfahren, mit welchem physiologische Vorgänge im Organismus sichtbar gemacht werden. Hierfür wird ein Radiopharmakon in den Körper injiziert, welches gehäuft in Zellen mit einer hohen Stoffwechselrate eingebaut wird. Das Radiopharmakon hat einen radioaktiven Bestandteil (Tracer), welcher beim Zerfall  $\beta^+$ -Strahlung emittiert.

Das emittierte Positron kollidiert, wenn es genug kinetische Energie durch das durchqueren des Gewebes verloren hat, nach einigen Millimetern zurückgelegter Strecke mit einem Elektron, was zur Annihilation beider Teilchen führt. Hierbei entstehen zwei  $\gamma$ -Quanten, die in einem  $180^\circ$ -Winkel zueinander abgestrahlt werden.

Diese Quanten lassen sich dann koinzident mit einem Detektor aufspüren, woraus sich ein Bild mit qualitativer und quantitativer Aussage über die Stoffwechselvorgänge im untersuchten Organismus erstellen lässt.

In der Medizin wird die PET am häufigsten für das Erkennen von Tumoren, sowie von Hirn- und Herz-erkrankungen angewandt. Bedeutsam ist hier, dass Schäden im Gewebe schon erkennbar sind, bevor makroskopische Veränderungen sichtbar sind (wie bei der CT), was ein frühzeitiges Handeln ermöglicht. Außerdem können benigne von malignen Tumoren anhand ihrer Aktivität unterschieden werden. Auch zur Überprüfung des Erfolgs einer Chemotherapie wird die PET verwendet.

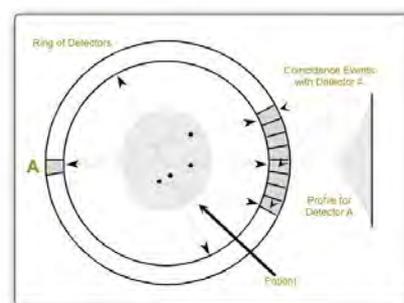


Abbildung 1: Schematischer Aufbau. Quelle: Wikipedia [4]

Die Detektion der  $\gamma$ -Quanten verläuft mittels Szintillationskristallen, welche nach Anregung einen kurzen Lichtblitz abgeben. Daran angeschlossen ist eine Photokathode. Durch Ausnutzung des äußeren Photoelektrischen Effekts führen die ankommenden Photonen zur Emission von Elektronen. Ein damit verbundener Photomultiplier verstärkt das elektrische Signal, bis es messbar ist und registriert werden kann. Es sollen nur echte Koinzidenzen gemessen werden, also die  $\gamma$ -Quanten des Zerfalls des Tracers. Diese kommen im Optimalfall mit einem  $180^\circ$ -Winkel und haben einen maximalen Zeitabstand von  $\Delta t = \frac{D}{c}$  ( $D$ : Durchmesser des Detektorsystems). Um eine hohe Ortsauflösung zu erzielen, werden möglichst viele Detektoren mit jeweils kleiner Oberfläche benötigt. Für die Bildqualität ist entscheidend, dass die Zahl der Fehlmessungen gering ist, also unechte Koinzidenzen gefiltert werden.

Solche unechten Koinzidenzen können durch folgende Ereignisse auftreten:

Einzelereignis bei Verlust eines der Photonen; beispielsweise entweder durch Streuung des Photons und somit das Verlassen des Detektionsbereichs oder durch das Auftreffen des Photons auf den Detektor während seiner Totzeit. Die Einzelereignisse lassen sich durch raumdeckende Detektoren mit minimalen Totzeiten reduzieren.

Zufallskoinzidenz zweier nicht korrelierter Photonen; beispielsweise durch zwei Einzelereignisse. Sie lassen sich durch eine geringere Zahl an Einzelereignissen und einem kleinerem Zeitfenster, in welchem zwei Photonen einem Ereignis zugeordnet werden, minimieren.

Gestreute Koinzidenz bei Streuung eines der Photonen. Hier wird ein Photon z.B. durch das Gewebe so gestreut, dass das Ereignis falsch lokalisiert wird. Gestreute Koinzidenzen lassen sich durch eine Minimalenergie des Photons filtern, weil bei der Streuung durch den Compton-Effekt Energie vom Photon verloren geht.

In Kombination mit der Computer-Tomographie lassen sich die Vorteile beider Methoden vereinen. So verliert die begrenzte Ortsauflösung der PET von einigen Millimetern an Bedeutung und eine anatomische Einordnung der Ergebnisse wird vereinfacht.

Die größten Nachteile der PET sind neben der begrenzten Ortsauflösung die hohen Kosten, die mit der Detektoranlage und der Produktion der Radiopharmaka verbunden sind. Aufgrund ihrer Kurzlebigkeit müssen sie in einem eigenen Labor in der Nähe der Anlage hergestellt werden. Des Weiteren bedeutet das verabreichen radioaktiver Substanzen automatisch eine Strahlenbelastung für den Patienten, die ihrerseits Schäden verursachen kann.

Abb. 2: Zu sehen ist eine PET-Aufnahme des Kopfes. Die hellen Bereiche sind physiologisch aktiver als die dunklen. Auffällig ist hier der hellgelbe Fleck im oberen Rachenbereich, welcher höchstwahrscheinlich von einem Nasopharynxkarzinom (Nasopharynxkrebs) stammt.

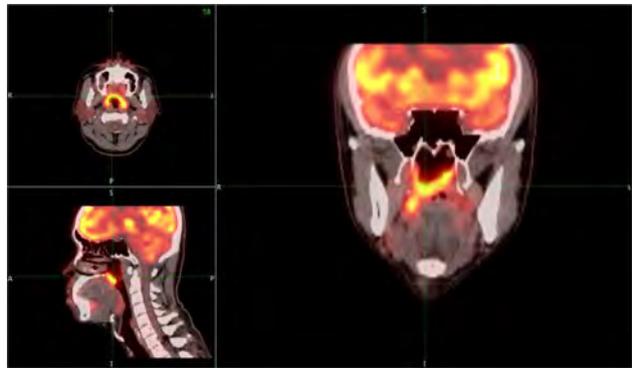


Abbildung 2: Bild einer PET Messung Quelle: Wikipedia [5]

#### Quellen:

1. [http://www.ikp.tu-darmstadt.de/media/ikp/lehre\\_ikp/fpraktikum\\_anleitungen/vers28b.pdf](http://www.ikp.tu-darmstadt.de/media/ikp/lehre_ikp/fpraktikum_anleitungen/vers28b.pdf) (27. Juli 2017)
2. <https://asp.tu-dresden.de/deu/pdf/praktikum/PET.pdf> (27. Juli 2017)
3. <https://www.krebsinformationsdienst.de/untersuchung/pet-technik.php#quellen> (21. Juli 2017)
4. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PetDiag2.jpg> (19.12.17)
5. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PET\\_Scan\\_nasopharynx\\_carcinoma.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PET_Scan_nasopharynx_carcinoma.jpg) (27.7.2017)

## 5.9 Szintigraphie

Sonja Farr

Betreuer: Gregor Angeloni

### Grundprinzip

Die Szintigraphie gehört zu den bildgebenden Verfahren der Nuklearmedizin. Hierbei werden radioaktiv markierte Substanzen (Tracer) in den Organismus injiziert, welche sich dann im Zielorgan anreichern. Die Strahlung dieser radioaktiven Substanzen ist dann mit einer Gammakamera, dem sogenannten Szintillationszähler, nachweis- und quantifizierbar. Die Energie und die Aktivität der Tracer gibt Aufschluss über die Funktion und Beschaffenheit des Zielorgans.

## Radiopharmakologie

Das die verwendeten Radionuklide im Stoffwechsel verarbeitet werden, erreicht man durch Bindung an geeignete Moleküle. Eine solche radioaktiv markierte Substanz nennt man Radiopharmakon.

Das heutzutage am häufigsten verwendete Radionuklid ist  $^{99m}\text{Tc}$ , das durch  $\beta^-$ -Zerfall aus  $^{99}\text{Mo}$  entsteht. Es kann direkt im Krankenhaus mittels eines  $^{99m}\text{Tc}$ -Generators als Peroxid gewonnen werden und weist mit einer Halbwertszeit von nur 6h eine geringe Strahlenbelastung auf. Mit Hilfe eines Markierungsbestecks (Kit) kann das  $^{99m}\text{Tc}$ -Pertechnetat dann in das inaktive Radiopharmakon eingebaut werden.

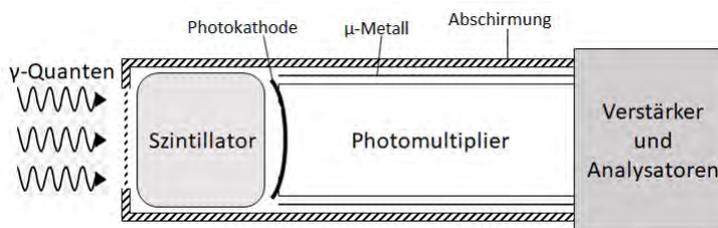


Abbildung 1: Schematischer Aufbau eines Szintillationszählers [Eigene Abb.]

## Szintillationszähler

Um die Gammastrahlung des Tracers zu messen, werden spezielle Szintillationszähler eingesetzt. Diese bestehen aus einem Szintillator, einer Photokathode, einem Photomultiplier und der dazugehörigen Analysetechnik.

### Szintillator

Der Szintillator besteht aus einem dotierten Alkaliiodidkristall (z.B.  $\text{NaI}(\text{TI})$ ). Dieser ist im Bändermodell durch ein Zwei-Energieniveau-System beschreibbar. Der Abstand zwischen dem Valenz- und dem Leitungsband ist genau so groß, dass die die von Radionuklid eingestrahelte Energie absorbiert wird. Die einfallenden  $\gamma$ -Quanten geben ihre Energie durch inneren Photoeffekt oder Compton-Effekt an die Elektronen des Kristalls ab und heben sie somit in das Leitungsband. Statt unverändert wieder in das Valenzband zurückzufallen, können sie an den durch die Dotierung entstandenen Störstellen des Kristalls ein Teil ihrer Energie abgeben. Das bewirkt, dass nun Photonen mit deutlich weniger Energie emittiert werden. Diese können keine weiteren Elektronen in das Leitungsband heben und den Kristall so ungehindert passieren.

### Verstärker und Analysatoren

Ein Vorverstärker wandelt die vom Photomultiplier ankommenden Stromimpulse mittels eines Kondensators in einen Spannungsimpuls um. Die Amplitude dieses Impulses wird dann vom Hauptverstärker weiter erhöht, sodass sie mehrere Volt beträgt. Dieses Signal kann dann von Analysatoren bearbeitet und mittels Computersystemen optisch umgesetzt werden.

### Medizinische Anwendung

Man unterscheidet zwischen den statischen und den dynamischen Verfahren. Das wichtigste statische Verfahren ist die sogenannte SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography). Hierbei wird die Aktivitätsverteilung aus unterschiedlichen Winkeln aufgenommen, sodass ein dreidimensionales Bild entsteht. Das am häufigsten verwendete dynamische Verfahren ist die Funktionsszintigraphie. Hier wird eine sogenannte „Region of Interest“ (ROI) festgelegt, deren Aktivitätsverlauf in einem bestimmten Zeitrahmen untersucht wird. Eine Szintigraphie ist für viele verschiedene Organe anwendbar; die häufigsten Untersuchungen werden an Schilddrüse (51%) und Skelett (28%) durchgeführt.

**Quellen:**

1. Kotyk, Tobias; Versuche zur Radioaktivität im Physikalischen Fortgeschrittenen Praktikum an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg; Universität Freiburg; 2009
2. Warland, Anne; Ausarbeitung zum Hauptseminar Experimentalphysik SS2006 Physikalische Grundlagen der medizinischen Diagnostik Thema : Szintigraphie; Universität Duisburg/Essen; 2006
3. Hermann, Hans-Joachim; Nuklearmedizin; Urban und Fischer Verlag, München; 5. Auflage; 2004

**5.10 Strahlentherapie**

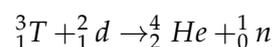
Kira Knauff

Betreuer: Jesse Jones

Strahlentherapie wird meistens für die Behandlung von Krebs (Tumoren) verwendet, der operativ schwer zugänglich ist, kann aber auch für gutartige Erkrankungen wie z.B. Arthrose, Schulterschmerzen oder Tennisellbogen benutzt werden. Dabei kann es zur Heilung oder zur Einstellung des Wachstums des Tumors kommen.

Strahlen mit viel Energie können Tumorzellen so stark schädigen, dass sie absterben. Dabei werden Photonen, Elektronen, Protonen und sogenannte Schwere Ionen verwendet. Man versucht dabei möglichst wenig intaktes Zellgewebe zu beschädigen.

Damit beim Auftreffen im Gewebe genug Energie frei wird, um die Zellen zu schädigen, müssen die Teilchen vorher beschleunigt werden. Das geschieht bei geladenen Teilchen mit Teilchenbeschleunigern, zum Beispiel Linearbeschleunigern oder Zyklotronen (Kreisbeschleuniger). Neutronen können nicht mit Teilchenbeschleunigern beschleunigt werden. Bei ihnen werden positiv geladenen Deuteronen (Wasserstoffkerne mit einem Neutron) beschleunigt. Diese treffen auf ein Target, welches Tritium (Wasserstoff mit zwei Neutronen) beinhaltet.



Diese Reaktion ist stark exotherm. Die Neutronen werden in alle Richtungen abgestrahlt, weswegen nur ein geringer Teil nutzbar ist, der Teil dessen Raumwinkel in Richtung des Targets ist. Die beschleunigten Teilchen werden auf das Gewebe mit dem Tumor geschossen. Ionisierende Strahlung sorgt für die Ionisierung von Molekülen im bestrahlten Bereich. Die meisten Schäden entstehen dabei in der DNA, können jedoch meistens wieder durch Reparaturmechanismen bei der Replikation behoben werden. Werden sie allerdings nicht behoben, führt dies zu Mutationen oder sogar zum Zelltod. Meistens versucht man, die Tumorzelle nicht abzutöten, da hier auch gesunde Zellen zu Schaden kommen würden, sondern die DNA in zweiter Instanz zu verändern. Schäden in der DNA bestehen in der Veränderung der Desoxyribose und daraus folgenden Strangbrüchen.

Aber auch die Basen der DNA können verändert werden, was häufig zu Miss-Matches der Basen führt. Gesunde Zellen reagieren auf diesen Prozess weniger stark, denn sie haben Reparaturmechanismen, die bei Krebszellen weniger stark ausgeprägt sind. So können sich gesunde Zellen nach der Bestrahlung oft regenerieren, während Krebszellen absterben. Damit die gesunden Zellen genug Zeit zur Reparatur haben, wird die Dosis der Strahlung oft aufgeteilt über mehrere Sitzungen. Dies nennt man Fraktionierung. Fraktionierung findet auch örtlich statt, indem man die Strahlen aufteilt.

Verschiedene Strahlenarten wirken unterschiedlich. Dabei kann man Photonenstrahlung von Teilchenstrahlung durch ihre Masse unterscheiden. Während Photonen keine Ruhemasse haben, besitzen andere Teilchen eine. Photonen geben bei benutzten Energiebereichen wenig Energie durch Stöße ab. Die Abgabe der Energie pro Weg ist hier unpräzise und nicht scharf. So erhält das gesunde Gewebe im Vergleich zu dem Tumor ohne Fokussierung eine wesentlich höhere Strahlendosis. Der Vorteil der Photonenbestrahlung besteht aber in einer großen Wissensgrundlage, da sie bereits sehr lange angewendet wird.

Bei Teilchen ist die Gesamtdosis, die im Gewebe deponiert werden muss geringer, und somit ist die Teilchenbestrahlung das effektivere Konzept. Neutronen werden eher selten eingesetzt. Sie haben keine hohe Eindringtiefe, sind dafür auf geringen Tiefen wirksam. Der Energieübertrag von Neutronen erfolgt über Stöße, da sie keine elektrische Wechselwirkung mit Atomen haben. Neutronen werden zum Beispiel bei Gehirntumoren verwendet da diese oft nur schwierig operabel sind.

Geladene Teilchen werden durch Materie abgebremst und geben dabei Energie ab, dabei wechselwirken sie mit den Hüllenelektronen von Teilchen im Gewebe. Der Energieübertrag steigt je größer die Masse und je höher die Ladung ist. Der Energieverlust kann als elektronische Abbremsung aufgefasst werden. Wenn Teilchen sich durch Materie bewegen führen sie unelastische Stöße aus mit den Hüllenelektronen, die zurückbleibenden Atome werden ionisiert oder angeregt. Dabei verlieren die Teilchen, die den Stoß ausführen, Energie. Diesen Energieverlust kann man durch die Bethe Formel beschreiben:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi n z^2}{m_e \beta^2 c^2} \cdot \left( \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \cdot \left[ \ln \left( \frac{2m_e c^2 \beta^2}{I \cdot (1 - \beta^2)} \right) - \beta^2 \right]$$

Mit  $\beta = \frac{v}{c}$ ,  $v$  = Momentangeschwindigkeit Teilchen,  $c$  = Lichtgeschwindigkeit,  $z$  = Ladung des Teilchens,  $n$  = Elektronendichte des Materials,  $m_e$  = Ruhemasse von Elektronen und  $I$  = mittleres Anregungspotential des Materials. Dieser Zusammenhang gilt allerdings nicht für Elektronen, sondern nur für schwerere geladene Teilchen. Elektronen verlieren wegen ihrer geringen Masse auch Energie durch Bremsstrahlung.

Die Kurve, welche die Dosisdeponierung pro Tiefe beschreibt, nennt man Bragg-Kurve. Sie erreicht bei schweren Ionen und Protonen ein Maximum und sinkt dann schnell auf null. Die Energie, welche frei wird, ist bei den Protonen und Schwerionen am größten kurz bevor die Teilchen zum Stillstand kommen. Dieses Maximum nennt man Bragg-Peak. Bei einer bestimmten Tiefe ist die Schädigung des Gewebes also am höchsten. Wenn auf dieser Tiefe der Tumor liegt, wird er optimal bestrahlt. Dadurch wird umliegendes Gewebe weniger geschädigt.

Damit ergibt sich welche Strahlenarten für welche Tumore am besten geeignet sind. Elektronen geben die meiste Energie frei bei einer geringen Tiefe. Das heißt Elektronenstrahlung ist besonders gut geeignet um Tumore anzugreifen die sich dicht unter der Haut befinden, weil es seine höchste Effektivität in geringer Tiefe hat. Protonen und Schwerionen setzen ihre Dosis erst dann richtig frei, wenn sie kaum Geschwindigkeit haben, denn hier ist der Wirkungsquerschnitt am größten. Das ist verhältnismäßig tief im Gewebe. Tiefliegende Tumore können also von Protonen/Schwerionenstrahlung behandelt werden. In gesundem Gewebe wird also vergleichsweise wenig Dosis deponiert, das Gewebe dementsprechend geschont, da der Hauptteil der Energie erst kurz vor der Abbremsung freigesetzt wird (Bragg-Peak). Hier wird dementsprechend darauf geachtet mit dem Teilchenstrahl und entsprechenden Bragg-Peaks den Tumor ab zu rastern. Man kann zwei verschiedene Strahlungsarten durch die relative biologische Wirksamkeit (RBW) vergleichen. Mit der RBW misst man die Effektivität einzelner Strahlenarten, die den gleichen biologischen Effekt am gleichen Gewebe hervorrufen. Die RBW definiert sich durch:

$$\mathbf{RBW} = \frac{\text{Strahlendosis der Vergleichsstrahlung}}{\text{Strahlendosis der fraglichen Strahlung}}$$

Als Vergleichsstrahlung benutzt man harte Röntgenstrahlung oder Co- $\gamma$ -Strahlung.

#### Quellen:

1. Hermann, Hans-Joachim; Nuklearmedizin; Urban und Fischer Verlag, München; 5. Auflage; 2004
2. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BraggPeak.png> (8.8.2017)

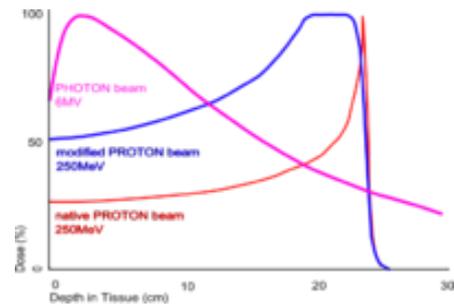


Abbildung 1: Vergleich der Energieabsorption von Photonen und Protonen. Quelle: Wikipedia [2]

## 6 Informatikkurs

### Die Entwicklung eines (un)endlichen Computerspiels

Computerspiele sind ein wichtiger Bestandteil der heutigen Medienlandschaft. Dabei gibt es unzählige Möglichkeiten, das Spielerlebnis interessant zu gestalten – je nach Zielsetzung und -gruppe kann ein Spieler durch Rätsel, mechanische Herausforderungen, eine anspruchsvolle Storyline und vieles mehr gefesselt werden.

Im Informatikkurs haben wir gemeinsam ein eigenes Spiel entwickelt und dabei alle Phasen vom ersten Entwurf bis hin zum spielbaren Produkt durchlaufen. Den Fokus haben wir auf Wieder-spielwert durch einen prozeduralen Ansatz gelegt: Ein zuvor implementierter Algorithmus generiert die Spielwelt vor jedem Spielstart neu. Die so erzeugte Welt wirkt für den Spieler zufällig, sodass das Spielerlebnis jedes Mal ein neues ist und zum Wiederholen einlädt. Zur Umsetzung dieses Projekts fielen viele verschiedene Aufgaben an: das Erarbeiten und Implementieren von Algorithmen, Zeichnen und Animieren, Erzählen von Geschichten und ihre Umsetzung in Bild und Ton.

Wir haben uns bereits im Vorfeld der Akademie getroffen, um ein Spielkonzept auszuarbeiten und die dafür anfallenden Arbeiten zu modularisieren. 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 der Unity-Versionierung 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 Atmosphäre

Alexandra Janzer

Betreuer: Benedikt Ebert

*Atmosphere is the feeling that remains when the rest of the game shuts up.* – So definiert Matthew Bentley, der bereits bei Konzernen wie *Telltale Games* und *Activision* gearbeitet hat, die *Atmosphäre* in Videospielen [1]. Sie ist der Effekt, den das Spiel auf den Spieler hat, und setzt sich zusammen aus Story, Gameplay, Sound, Interface, Symbolik und vielem mehr. Eine gut umgesetzte Atmosphäre erschafft ein Gefühl der *Immersion* – des Eintauchens in eine Geschichte.

Beispiele für atmosphärisch dichte, aber komplett verschiedene Spiele sind *Borderlands – The Pre-Sequel* (2014, Abb. 1) und *Limbo* (2011, Abb. 2).

*Borderlands – The Pre-Sequel* ist ein Ego-Shooter, der mit seiner schon fast übertrieben detailreichen Grafik und hektischen Musik den Adrenalinpegel des Spielers hoch hält. Damit übermittelt er präzise die gestresste, actiongeladene Stimmung eines Kampfes auf Leben und Tod – sicherlich nicht zur Entspannung geeignet, aber dennoch in sich stimmig.

Eine ganz andere Art der Spannung erzeugt *Limbo*: Mit schwarz-weißen Silhouetten und ominöser Musik lädt es ein, die Welt rundherum zu vergessen und sich ganz in der liebevoll gezeichneten Geschichte zu verlieren.

Für welche Art der Immersionserzeugung sich ein Spiel auch entscheiden mag, eine gute Atmosphäre macht vor allem eines klar: Das Ganze ist sicherlich sehr viel mehr als nur die Summe seiner Teile.



Abbildung 1: *Borderlands – The Pre-Sequel*.  
Eigener Screenshot



Abbildung 2: *Limbo*. Eigener Screenshot

### Aufgaben während der Akademiezeit

Während des Kurses war ich für das Design von Story und Atmosphäre zuständig. Als Teil des Game-Design-Teams habe ich vor allem eng mit den für Musik und Belohnungssystemen zuständigen Teilnehmern zusammengearbeitet. Da die Atmosphäre eines Spiels ein sehr weites Thema ist, war ich aber auch fast ununterbrochen in Korrespondenz mit den anderen Teammitgliedern. Vor allem zu Beginn des Projekts haben wir viel Zeit investiert, um alle Teile des Spiels stimmig zusammenzufügen. Beispielsweise mussten viele Ideen des Design-Teams mit dem Coding-Team abgesprochen werden, um zu klären, ob sie innerhalb der knapp bemessenen Akademiezeit überhaupt umsetzbar waren.

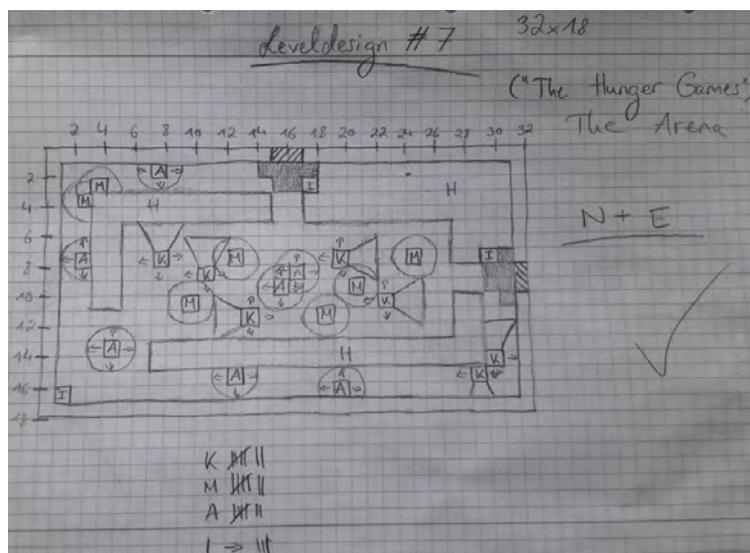


Abbildung 3: Skizze eines Levels. Eigene Abbildung

Im Laufe des Entwicklungsprozesses arbeitete ich außerdem am Leveldesign. Wir haben das System des *Paper-Prototyping* [3] verwendet: Alle Level wurden zuerst auf einem Blatt Papier skizziert. Da das Einbinden ins Spiel sehr viel zeitaufwändiger ist als das Erstellen einer Skizze, konnten wir so unkompliziert über das Layout diskutieren und es im Zweifelsfall ändern oder verwerfen.

In Abb. 3 sieht man die Skizze des Levels *The Hunger Games*.  $32 \times 18$  steht für die Flächengröße in Tiles (Kacheln, aus denen das Level zusammengesetzt ist),  $N + E$  für die Ausgänge im Norden und Osten. Letztere Information ist insbesondere für den Algorithmus, der die verschiedenen Level verbindet. Die Strichliste dient zur Übersicht der Anzahl der Gegner und Gegenstände.

## Quellen

- 1 [http://www.gamasutra.com/blogs/MatthewBentley/20130615/194399/Atmosphere\\_in\\_Games\\_\\_Part\\_1\\_\\_Atmosphere\\_introduced.php](http://www.gamasutra.com/blogs/MatthewBentley/20130615/194399/Atmosphere_in_Games__Part_1__Atmosphere_introduced.php) (06.08.2017)
- 2 <https://gamedevelopment.tutsplus.com/tutorials/game-ui-by-example-a-crash-course-in-the-good-and-the-bad--gamedev-3943> (06.08.2017)
- 3 Marc Rettig: *Prototyping for tiny fingers*, 1994, abrufbar unter <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=175288> (30.10.2017)

## 6.2 Musik und Soundeffekte

Valentin Buchner  
Betreuer: Benedikt Ebert

Musik und Soundeffekte in Computerspielen haben viele verschiedene Funktionen. Mitunter sind sie Teil der Spielmechaniken, indem der Spieler zum Beispiel im Takt der Musik agieren muss, oder kommunizieren Spielmechaniken: Ein klackendes Geräusch kann anzeigen an, dass ein Schalter erfolgreich aktiviert wurde, und ein Ticken im Hintergrund ist vielleicht ein höflicher Hinweis, sich etwas zu beeilen. Vor allem anderen aber übermitteln sie Atmosphäre und tragen somit zur Immersion bei, dem Eintauchen in eine Geschichte.

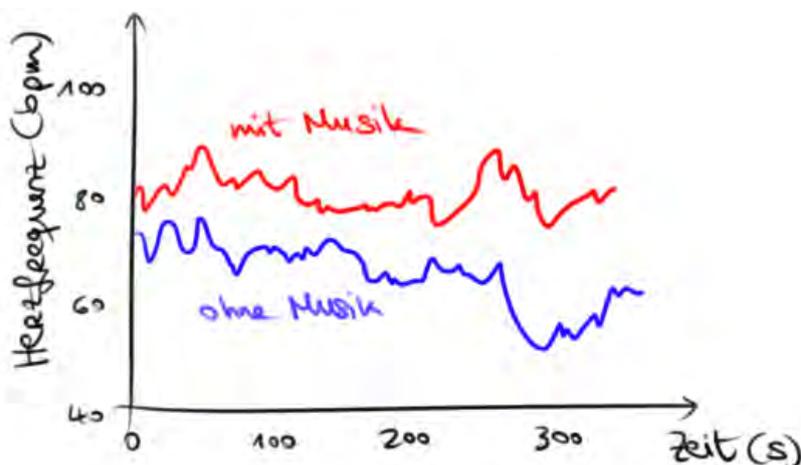


Abbildung 1: Eigene Grafik nach [5], Herzfrequenz gegen Zeit beim Spielen des gleichen Spiels mit (oberer Graph, rot) und ohne (unterer Graph, blau) Musik

Benjamin Krause hat dies 2008 in seiner Diplomarbeit [5] mit einem Experiment eindrucksvoll visualisiert: Die Probanden wurden in zwei Gruppen aufgeteilt, von denen eine ein Spiel mit Musik spielte. Ihre Herzfrequenz im Laufe des Spiels ist im oberen Graphen in Abb. 1 notiert. Die andere Gruppe spielte das gleiche Spiel ohne Musik – was in der deutlich niedrigeren Herzfrequenz des unteren Graphen resultierte. Allein das Fehlen der Musik, obwohl andere Soundeffekte noch vorhanden waren, senkt das Spannungslevel eines Spiels also deutlich.

### **Adaptive Stücke**

Je mehr Einfluss der Spieler auf das Geschehen im Spiel hat, desto unmöglicher wird es, einen einzelnen Soundtrack zu komponieren, der zu jeder möglichen Situation passt. Ein Ansatz, um dieses Problem zu lösen, sind *Adaptive Stücke*: Es wird nicht ein langes, zusammenhängendes Musikstück verwendet, sondern viele kurze, zwischen denen möglichst einfach gewechselt werden kann. Probleme geben sich, wenn der Spieler zum Beispiel von einem actiongeladenen Kampf direkt in eine heimliche Schleichmission wechselt – hier darf der Übergang nicht zu abrupt wirken. Um schnell auf den Spielverlauf reagieren zu können, komponiert man also für jede mögliche Kombination von Stücken einen stimmigen Übergang. Im besten Fall funktioniert das sogar noch innerhalb der Stücke an zuvor festgelegten möglichen Übergangspunkten.

### **Soundeffekte**

Für Spiele mit einem sehr hohem Budget werden teilweise über 10.000 Geräusche aufgenommen. Das sind nicht nur Studioaufnahmen wie das Laufen auf Sand oder das Fallen von Glas, sondern auch Aufnahmen aus der Umwelt wie Windrauschen, Vogelzwitschern oder das Dröhnen von Flugzeugmotoren. Dann müssen die Soundeffekte noch mit der Musik abgestimmt werden.

Dazu wird unter anderem *Kompression* verwendet: Ein komprimiertes Stück ist insgesamt homogener in der Lautstärke, die leisen Sounds werden also lauter gemacht und die zuvor lauten leiser. Dies kann dabei helfen, auch eigentlich leise Sounds als Hinweise verfügbar zu machen, verringert aber auch die Tiefe des Klangs und somit im schlimmsten Fall das Immersionserlebnis des Spielers.

### **Aufgaben während der Akademiezeit**

Ich war auf der Burg für alles zuständig, was man im Spiel hören kann. Damit war ich Teil des Design-Teams. Vor allem zu Beginn der Akademie haben wir innerhalb dieses Teams viel Zeit darauf verwendet, grundsätzliche Entscheidungen über das Spiel zu treffen, beispielsweise die Mechaniken oder Story betreffend.

Als es dann endlich soweit war, Sounds aufzunehmen, war ich mit meinem Mikrofon viel unterwegs. Ich habe das Rascheln der Blätter von großen Bäumen im Wind aufgenommen, um es als Meeresrauschen zu benutzen. Um das Geräusch für den *Dash* zu machen, habe ich einfach über ein Papier gestrichen. Die Schritte anderer Kursteilnehmer in Gras oder Sand sind als Schritte unserer Charaktere verewigt, und wenn der Hauptcharakter einen Trank trinkt, ertönt ein tatsächliches Trink-Geräusch – allerdings nicht von einem magischen Trank, sondern einem Glas Wasser. Dabei habe ich unter anderem darauf geachtet, immer mehrere Versionen eines Geräuschs aufzunehmen, sodass bei einer Aktion nicht jedes Mal das exakt gleiche Geräusch abgespielt wird. Dadurch wird es für den Spieler nicht so schnell langweilig. Für das spannendste Geräusch, das ich aufgenommen habe, habe ich die Kursleitung des Physikkurs gebeten, eine Flasche für mich platzen zu lassen. Flüssiger Stickstoff wurde in eine Plastikflasche gefüllt, und diese explodierte dann etwa fünf Minuten später mit einem lauten Knall.

Fast noch mehr Spaß hatte ich daran, den Soundtrack für unser Spiel zu komponieren. Dafür habe ich mein Laptop mit einem E-Piano verbunden und mit einer einzelnen eigenen Melodie angefangen. Diese habe ich in einer Dauerschleife laufen lassen und dann immer neue Instrumente, Melodien und Beats ausprobiert und hinzugefügt. Auf Wunsch des Teams gab es insbesondere viele Orchesterinstrumente, und ich habe viel Zeit darauf verwendet, mir für jedes Instrument eine neue Melodie auszudenken.

### Quellen

- 1 <http://www.stern.de/digital/computer/geraeusche-und-musik-in-games-hier-musiziert-das-spiel-3358922.html> (19.7.2017)
- 2 <https://prezi.com/kprwdhnezjc-/geschichte-der-videospielmusik/> (19.7.2017)
- 3 <http://www1.wdr.de/wissen/digital/computerspiele-musik-100.html> (20.7.2017)
- 4 <http://www.giga.de/spiele/amnesia-the-dark-descent/specials/games-studie-wie-sehr-wirst-du-von-in-game-sound-beeinflusst/> (20.7.2017)
- 5 <https://www.hdm-stuttgart.de/~curdt/Krause.pdf> (20.7.2017)

## 6.3 Kognition – Aufmerksamkeit und Tiefenwahrnehmung

Eva Wiegand  
Betreuer: Leon Strauss

Die visuelle Aufmerksamkeit des Menschen lässt sich in selektive und geteilte Aufmerksamkeit aufteilen. *Selektive* Aufmerksamkeit entsteht, wenn man sich auf ein einzelnes Objekt konzentriert. Es wird dann mit dem Punkt des schärfsten Sehens im Auge erfasst, der *Fovea*. Dort befinden sich die meisten Rezeptoren, die es erlauben, in diesem Bereich viele Details zu erkennen. Wahrnehmung ist allerdings bis zu einem gewissen Grad auch außerhalb dieses Bereichs möglich, also ohne direkte Aufmerksamkeit: Mit *geteilter* Aufmerksamkeit nehmen wir mehrere Dinge gleichzeitig wahr, etwa beim Autofahren.

Instinktiv beachten wir Bereiche am meisten, die einen hohen Kontrast zu dem Rest eines Bildes besitzen. Zum Beispiel fokussieren wir bei einem Bild mit weißem Hintergrund und einem schwarzen Punkt eben diesen schwarzen Punkt. Unser Blickverhalten kann auch durch unser Vorwissen beeinflusst werden, beispielsweise wenn wir etwas sehen, das nach diesem Vorwissen nicht in die betrachtende Szenerie hinein passt. Dabei kann man zum Beispiel bei bekannten Szenerien leicht vorhersagen, welche Areale am meisten fokussiert werden, aber nicht in welcher Reihenfolge – diese hängt von dem Betrachter ab.

### Tiefenwahrnehmung

Um zu erkennen, wo sich ein Objekt befindet, gibt es verschiedene *Tiefenreize* – Hinweise darauf, wie weit entfernt ein Objekt sich befindet. *Okulomotorische Tiefenreize* basieren auf unserer Fähigkeit, die Stellung unserer Augen und die Spannung der Pupille mit den Muskeln und Nerven der Augen wahrzunehmen. Wenn wir zum Beispiel einen Bleistift direkt vor unsere Augen halten und den Blick darauf fokussieren, zieht sich unsere Pupille zusammen. Dies merken wir mittels eines leichten Drucks und wir nehmen

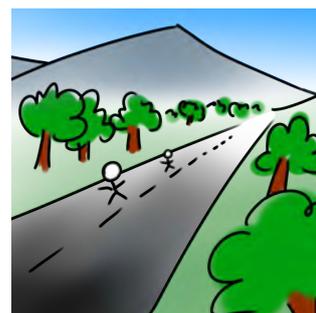


Abbildung 1:  
Skizze zur Tiefenwahrnehmung. Eigene Grafik

den Bleistift als nahe wahr. Zusätzlich spüren wir es, wenn unsere Augen nach innen, also zur Nase hin, gerichtet sind. Dies kann man mit einem Experiment feststellen, bei dem man einen Bleistift in Armlänge vor sich hält und dann langsam zu den Augen führt. Wenn man darauf achtet, kann man einen leichten Druck innerhalb der Augen spüren.

Eine weitere Kategorie sind die *monokularen Tiefenreize*. Zu ihnen gehören die relative Höhe und relative Größe: Objekte, die eigentlich die gleiche Größe besitzen, wirken verschieden groß, je nachdem, wie weit sie entfernt sind. Im Beispiel der Strichmännchen in Abb. 1 ist eines kleiner und befindet sich auf dem Bild etwas weiter oben als das andere. Das sorgt dafür, dass wir es als weiter weg empfinden. Außerdem scheinen sich die parallele Linien der Straßen weiter hinten im Bild anzunähern. Dies nennt man perspektivische Konvergenz und hilft wahrzunehmen, dass die Straße weg von uns führt.

### Aufgaben während der Akademiezeit

Während der Akademie war es meine Aufgabe, die Tiles für Boden und Wände zu zeichnen. Aus diesen wurden dann später die Räume zusammengestellt, in denen sich der Spieler oder die Spielerin bewegt. Ein Tile-Set besteht aus insgesamt 15 Tiles. Für das Spiel haben wir vier Tilesets mit verschiedenen Themen gezeichnet: Strand/Wasser, Dschungel, Eis/Schnee und Steine/Vulkan.

Dabei musste die Musterung genau an die der nebenliegenden Tiles passen. Dafür habe ich das Programm *PyxelEdit* verwendet. In diesem Programm sieht man mehrere Tiles nebeneinander, während man sie bearbeitet. Nachdem ich dort dann das grobe Muster gezeichnet hatte, habe ich in dem Programm *Sai* die Feinheiten fertiggestellt. Währenddessen musste ich das bearbeitete Tile immer wieder in *PyxelEdit* einfügen, um sehen zu können, wie es aussieht, wenn man davon mehrere nebeneinander hat – sonst kann es passieren, dass sich ein zu regelmäßig erscheinendes Muster abzeichnet. Als ich zum Beispiel das Eis malte, sah man auf einem einzelnen Tile Eisschollen. Setzte man allerdings mehrere nebeneinander, entstand der Eindruck von Eiswürfeln, da die Kanten auch als eine dreidimensionale Abbildung wahrgenommen werden konnten. Um dem entgegenzuwirken, habe ich das Muster komplizierter gestaltet.

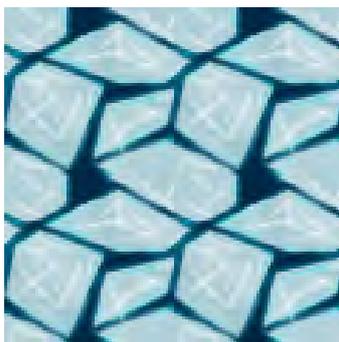


Abbildung 2: Schollen werden zu Eiswürfeln. Eigene Grafik



Abbildung 3: Kompliziertere Schollen vermeiden diese Illusion. Eigene Grafik



Abbildung 4: Andere Tiles des Eis-/Schnee-Sets. Eigene Grafik

### Quellen

- 1 E. Bruce Goldstein: *Wahrnehmungspsychologie: Der Grundkurs*, Spektrum Akademischer Verlag, 2008
- 2 Prof. Dr. Melissa Le-Hoa Vo: *Vorlesungsfolien Allgemeine Psychologie 1*, Goethe-Universität Frankfurt am Main, 2015

## 6.4 Kognition – Objekt- und Bewegungswahrnehmung

Elisabeth Decker

Betreuer: Leon Strauss

### Objektwahrnehmung

Wie wir Objekte wahrnehmen, hängt von vielen Kriterien ab. Auch wenn Wahrnehmung grundsätzlich subjektiv ist, lassen sich einige wichtige Faktoren zu Prinzipien zusammenfassen. Diese können zum Beispiel genutzt werden, um Animationen und Grafiken klar und intuitiv zu gestalten. Die Gestaltpsychologen Wertheimer, Koffka und Köhler formulierten im frühen 19. Jahrhundert sechs Prinzipien zur Objektwahrnehmung [1], welche auch heute noch höchst aktuell sind:

**Prinzip der Einfachheit:** Reize werden vom Gehirn auf die einfachste mögliche Weise wahrgenommen.

**Prinzip der Ähnlichkeit:** Dinge, die sich ähnlich sind, werden als Gruppe wahrgenommen.

**Prinzip des guten Verlaufs:** Unser Gehirn sieht zum Beispiel in einem verhedderten Kabel keine scharfen Wendungen, Unterbrechungen und Kanten, sondern nur gerade oder leicht gebogene Linien, die über- oder untereinander verlaufen.

**Prinzip der Nähe:** Sind sich Objekte nahe, werden sie als Gruppe wahrgenommen, wie etwa die Buchstaben einzelner Wörter.

**Prinzip des gemeinsamen Schicksals:** Bewegen sich Objekte in die gleiche Richtung, werden sie als Gruppe wahrgenommen. Ändern Teile der Gruppe die Richtung, werden sie als neue Gruppe erkannt. Dies lässt sich gut bei auffliegenden Vogelschwärmen erkennen.

**Prinzip der Vertrautheit/Bedeutung:** Wie und als was wir Objekte wahrnehmen, hängt zum einen von ihrem Kontext ab, zum anderen davon, wie gut wir sie kennen.

Es gibt noch viele weitere Kriterien, die je nach Anwendung mehr oder weniger relevant sind. Interessant für Computerspiele ist zum Beispiel noch die *perzeptuelle Gliederung*, die Trennung von Form und Grund. Hier geht es nicht um die Gruppierung, sondern um die Trennung von Objekten im Gehirn. Das fokussierte Objekt einer Szenerie nennt man hierbei *Figur*, den Rest *Grund*, wobei man sich an die Figur besser erinnert als an den Grund. Die Unterscheidung, was Figur und was Grund ist, hängt von Symmetrie, Größe, Ausrichtung und Bedeutung des Objektes ab. Wichtige Charaktere in Spielen, etwa der Spielcharakter selbst und aktuelle Gegner oder Verbündete, sollten sich als Figuren deutlich vom Grund abheben.

### Bewegungswahrnehmung

Die Blätter in einem Wald auf einen Blick einzelnen Bäumen zuzuordnen, ist sehr schwierig. Wenn man jedoch durch den Wald läuft, wird durch die jeweils unterschiedliche Bewegung der einzelnen Blätter die Unterscheidung einfacher, da die sich gemeinsam bewegendes Blätter im Gehirn zu Gruppen sortiert werden. Dies zeigt, dass Bewegung bei der Objekterkennung und -unterscheidung hilft. Dieser Effekt wird genutzt, um auf Bildschirmen den Eindruck von Bewegung zu erzeugen: Lässt man aufgereihete Lichter nacheinander aufleuchten, entsteht die Illusion eines einzelnen leuchtenden Lichtes, welches sich durch die Reihe bewegt. Genau so entsteht die scheinbare Bewegung von Pixel auf einer Anzeige – die Pixel selbst stehen fest, leuchten aber genau im richtigen Abstand nacheinander auf.

Eine andere Möglichkeit zur Erzeugung von Bewegung im Gehirn ist die implizite Bewegung. Hierbei wird ein Bild gezeigt, das in Bewegung aufgenommen wurde, etwa von einem laufenden Huhn. Wenn einem nun ein Bild präsentiert wird, welches zu einem etwas späteren Zeitpunkt in

der Bewegung aufgenommen wurde, erkennt man meistens den Unterschied nicht. Das Gehirn hat mithilfe seiner Erfahrungen erkannt, dass Bewegung stattfindet und führt die Bewegung logisch weiter. Somit ist das nachfolgende Bild im Kopf schon präsent und der Unterschied wird nicht erkannt.

### **Aufgaben während der Akademiezeit**

Während der Akademie war ich Teil des Art-Teams. Ich habe einige Items gezeichnet, zum Beispiel einen Unsichtbarkeitsmantel oder die Dashsymbole, und dann Interface-bezogene Aufträge vom Design- und Developmentteam bearbeitet. Das Interface umfasst bei uns das Menü, die Lebens-, Dash- und Itemanzeigen, den Cooldown-Timer, der die noch nutzbare Dauer eines Items anzeigt, und eine Global-Awareness-Leiste, welche anzeigt, wann man das nächste Leben verliert, weil man entdeckt wurde. Wir trafen im ganzen Team gemeinsam Designentscheidungen und besprachen, was bis wann benötigt wurde, welche Aufgaben sich daraus ergaben und von wem diese erledigt werden sollten.

Die Sicht auf das Spiel erfolgt von schräg oben. Dies hat den Vorteil, dass man beteiligte Objekte besser erkennen konnte, weil eine seitliche Perspektive für uns bekannter und leichter einzuordnen ist. Trotzdem hat man einen guten Überblick über das Spielgeschehen, was die Planung der nächsten Aktion für den Spieler oder die Spielerin stark erleichtert. Beim Zeichnen musste unter anderem beachtet werden, dass die Objekte zum Stil und zur Thematik des Spiels passen. Wir haben uns für einen Comic-artigen Stil entschieden – diesen mussten wir auch beim Interface einhalten, damit der Gesamteindruck stimmig bleibt. Wenn sich einzelne Objekte stilistisch stark unterscheiden, führt das zu einem chaotischen Eindruck, der den Spieler oder die Spielerin vom eigentlichen Spiel ablenkt.

### **Quellen**

- 1 E. Bruce Goldstein: *Wahrnehmungspsychologie: Der Grundkurs*, Spektrum Akademischer Verlag, 2008
- 2 Prof. Dr. Melissa Le-Hoa Vo: *Vorlesungsfolien Allgemeine Psychologie 1*, Goethe-Universität Frankfurt am Main, 2015

## **6.5 User Experience und User Interfaces**

Yuya Naka

Betreuer: Leon Strauss

Die *User Experience*, kurz UX, beschreibt die subjektive Qualität der Interaktionen, die ein Benutzer mit einem Unternehmen, Service oder Produkt hat. Eine gute UX ist davon geprägt, dass die Bedürfnisse des Kunden ohne Frust oder Mühe erfüllt werden und die Interaktion dabei einfach und elegant ist. Dabei hängt sie natürlich grundlegend von Trends, Zeitgeist und den Bedürfnissen des individuellen Users ab. Eine positive UX ist entscheidend bei der Vermarktung von Produkten und zur Kundenbindung. Ein weit bekanntes Beispiel hierfür ist der Konzern *Apple*.

Das *User Interface* einer Anwendung, kurz UI, ist die Menge aller Interaktions- und Informationsmöglichkeiten des Users mit einem Gerät oder einer Software. Übliche Teile des UI in einem Videospiel sind eine Lebensanzeige, Zeitangabe, Karte der Umwelt und ein Inventar. Angesteuert wird es über Eingabemethoden wie Keyboard, Maus, Controller oder Touchscreen. Die Qualität des UI hat großen Einfluss auf die UX, da ein Spiel noch so spannend oder schön gestaltet sein kann – wenn es keinen Spaß macht, damit zu interagieren, werden die meisten Benutzer dauerhaft keine Freude daran haben.

Beim Entwerfen des UI für ein Videospiel muss man Spieler mit unterschiedlichen Eingabemöglichkeiten berücksichtigen. Ein kleiner Knopf, der mit einer Maus einfach anzuklicken ist, kann zum Beispiel mit einem Touchscreen sehr viel schwieriger zu treffen sein – erst recht, wenn er von anderen Schaltflächen umgeben ist. Unabhängig von der Plattform sollte das UI alle relevanten Informationen immer schnell, klar und übersichtlich präsentieren. Eines der Ziele eines Videospieles ist, den Spieler in die Welt des Spiels zu versetzen, daher darf das UI den Spielfluss nicht stören. Nicht ins Spielgeschehen eingebundene Benachrichtigungen, Karten, Textboxen und andere Meldungen sollten also auf das notwendige Minimum reduziert werden und schnell genug wieder Platz für das eigentliche Spiel machen. Andererseits sollten Hintergrund- oder Zusatzinformationen, wenn gewünscht, möglichst unkompliziert abrufbar sein, damit der Spieler nicht allzu oft in externen Quellen suchen muss.

Ein wichtiges Kommunikationsinstrument für das UI ist die Farbwahl. Menschen nehmen Farben teils kulturbedingt, teils instinktiv sehr schnell wahr, etwa Rot und Gelb als Warnfarben, während Grün und Blau beruhigend wirken. Klare Farben können helfen, die Grundbedeutung eines Objekts oder einer Nachricht sehr schnell zu übermitteln. Eine Problemquelle hierbei sind Farbblindheiten. Etwa 1% aller Menschen leiden an einer solchen Wahrnehmungsstörung und können Spiele, die sich stark auf die betroffenen Farbkontraste verlassen, kaum genießen. Daher sollte man für Objekte oder Information, die hauptsächlich anhand ihrer Farbe identifiziert werden, Farben verwenden, die nicht oder nur sehr wenig von Farbblindheit betroffen sind, oder natürlich die Farben austauschbar implementieren.

Ein gutes UI und eine gute UX zeichnen sich nicht zuletzt dadurch aus, dass der Spieler ein Gefühl der Kontrolle über das Spiel hat. Dabei muss ein guter Mittelweg gefunden werden: Nimmt man den Spieler zu sehr an die Hand, lernt er nicht, selbstständig mit dem Spielgeschehen umzugehen. Setzt man ihm andererseits gar keine Grenzen, weiß er nicht, wohin er sich wenden soll, und kommt noch schlechter voran.

### **Aufgaben während der Akademiezeit**

Meine Aufgabe auf der Akademie war es, mich um das Design und die Programmierung des User Interface im Spiel zu kümmern. Wir haben uns zu Beginn auf ein Rogue-like Spiel mit Stealth-Elementen entschieden. Die Hauptfigur hat die besondere Fähigkeit, zu dasten, also eine sehr schnelle Bewegung in eine wählbare Richtung zu vollziehen. Damit kann sie sich vor Kameras, Mikrofonen und Agenten, welche den Spieler zu entdecken versuchen, in Sicherheit bringen. Zentrales UI-Element ist damit bei uns das globale *Awareness-Level*: Jedes Mal, wenn der Spieler von irgend einer gegnerischen Einheit entdeckt wird, steigt das Awareness-Level. Sobald die maximale Awareness erreicht ist, verliert der Spieler einen von drei Lebenspunkten, und sind alle Lebenspunkte verloren, muss der Spieler von vorne beginnen. Weitere Elemente des UI sind die



Abbildung 1: Das Menü in unserem Spiel. Eigene Grafik



Abbildung 2: Das UI in unserem Spiel. Eigene Grafik

Lebenspunkte selbst, die Anzahl der Dash-Aufladungen, ein Menü mit Lautstärkeinstellungen und der Exit-Knopf.

Praktisch bestand meine Aufgabe somit sowohl aus Programmierung als auch aus Design. Ich habe verschiedene UI-Elemente skizziert, um sie dann als Arbeitsauftrag ins Art-Team zu geben, und viel über die Programmiersprache C# gelernt, mit welcher unser Spiel implementiert ist.

Neben dem fachlichen Verständnis war auch die Kommunikation zwischen den verschiedenen Teams wichtig. Wir organisierten uns in drei Teams: Das Art-Team, das Design-Team und das Development-Team, in welchem ich gearbeitet habe. Für mich war die Kommunikation mit dem Art-Team besonders wichtig, da alle Bilder, die ich für das Interface brauchte, von diesem Team erstellt wurden.

## Quellen

- 1 Don Norman, Jakob Nielsen: *The Definition of User Experience (UX)*, 2010, abrufbar unter <https://www.nngroup.com/articles/definition-user-experience/> (22.6.2017)
- 2 Desi Quintans: *Game UI By Example: A Crash Course in the Good and the Bad*, Game Development Envato Tuts, 2013, abrufbar unter <https://gamedevelopment.tutsplus.com/tutorials/game-ui-by-example-a-crash-course-in-the-good-and-the-bad--gamedev-3943> (25.6.2017)

## 6.6 Geschichte der Animation

Theresa Schwarz  
Betreuer: Hannes Güdelhöfer

Das Wort *Animation* stammt vom lateinischen *animare* ab, was soviel wie *zum Leben erwecken* oder *beseelen* heißt. Heute meinen wir damit meist eine Folge von Bildern, die so schnell hintereinander abgespielt werden, dass sie für das menschliche Auge wie eine flüssige Bewegung wirken.

Die ersten Versuche der Animation gab es bereits um 1600, angefangen mit dem Daumenkino: ein kleines Büchlein mit einem Bild auf jeder Seite, das beim schnellen Durchblättern die Illusion einer Bewegung erschafft.

Simple mechanische Vorrichtungen wie das *Thaumatrope* (ca 1827) zeigten erneut, dass man das Auge auch mit einfachen Mitteln täuschen kann. Zeichnet man auf die beiden Seiten einer Scheibe unterschiedliche Motive und dreht die Scheibe dann schnell, wirken diese Bilder wie eins – ein Käfig und ein Vogel ergeben zum Beispiel wie in Abb. 1 einen Vogel im Käfig. Etwa 1830 wurde dann das *Zoetrope* erfunden. Es besteht aus einem Zylinder, in den in gleichmäßigen Abständen Schlitze eingeschnitten wurden. Legt man einen mit Bildern wie im Daumenkino versehenen Papierstreifen in diesen ein, kann man durch einen Schlitz jeweils das Bild auf der gegenüberliegenden Seite des Zylinders sehen. Dreht man den Zylinder nun, ergibt sich der gleiche Effekt wie beim Daumenkino und man sieht eine Bewegung. Durch die Anordnung in einem Zylinder waren diese Animationen nur in Schleifen möglich, zum Beispiel ein reitendes Pferd oder eine sich drehende Tänzerin.

Heutzutage benutzen wir viele verschiedene Techniken, um Bilder zu animieren. Eine sehr realitätsgetreue Technik ist dabei das *Motion Capturing*. Für dieses Verfahren werden die Bewegungen eines realen Schauspielers mit Hilfe von Markierungen auf dessen Körper aufgezeichnet. Diese Bewegungsdaten werden über einen Computer erfasst und über ein digitales Skelett auf das 3D-Modell des zu animierenden Charakters übertragen. Dabei können natürlich einige Proportionen und sogar das 3D-Modell selbst ganz anders aussehen als der Schauspieler – so können sogar die Bewegungen von Tieren oder Fabelwesen gesteuert werden. Motion Capturing wird dabei nicht nur verwendet, um Gesten zu übertragen, sondern auch für die Mimik.

### Grundprinzipien der Animation nach Walt Disney

Bereits ab 1930 wurden die Grundprinzipien verwendet, denen sich Animationen auch heute noch beugen [6]. Eine der umfangreichsten Regelsammlungen dazu stammen aus den Werken von Walt Disney. Ursprünglich für die weltbekannten Zeichentrickfilme bekannt, lassen sie sich genauso auf andere Arten der Animation anwenden. Beispielhaft werden hier zwei der Prinzipien erklärt: *Squash and Stretch* und *Arcs*.

*Squash and Stretch* – Bei Bewegungen und Kollisionen werden Gegenstände gequetscht oder gedehnt, wie in Abb. 2 bei einem aufprallenden Ball. Dies entspricht nur teilweise den physikalischen Gegebenheiten, macht die Bewegung jedoch für das menschliche Auge deutlich nachvollziehbarer.

*Arcs* – In der Natur gibt es nur wenige Bewegungen, die linear verlaufen. Stattdessen verlaufen die meisten in Bögen. Besonders gut ist das bei Gliedmaßen einzusehen: Da sie an den Gelenken befestigt sind, können sie nur kreisförmige Bewegungen um diese vollführen. Durch bogenförmige Bewegungsabläufe entsteht ein für uns natürlicher erscheinendes Ergebnis.

### Arbeit während der Akademiezeit

Meine Aufgabe auf der Akademie war es, die Gegner des Spiels zu zeichnen. Da wir ein Schleich-Agenten-Spiel entworfen haben, brauchten wir also vor allem versteckte Kameras und Mikropho-

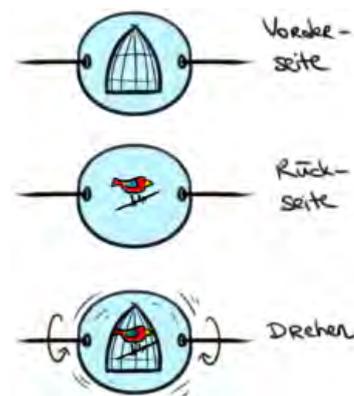


Abbildung 1: Thaumatrope. Eigene Grafik nach [1]

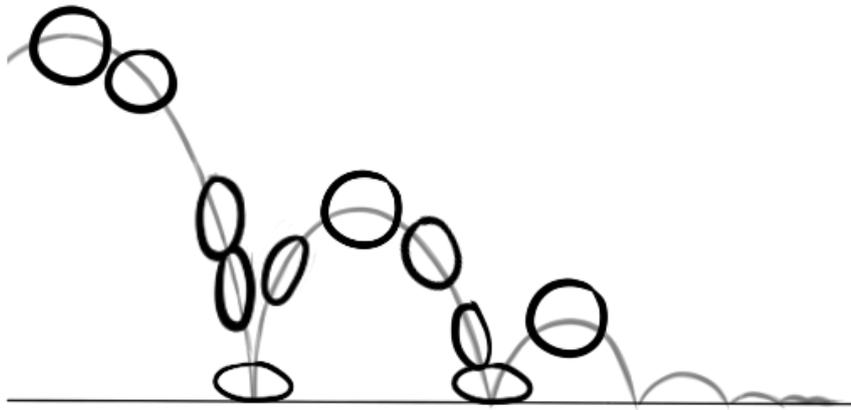


Abbildung 2: Squash and Stretch. Eigene Grafik nach [2]

ne. Diese wurden dann sowohl in Büschen als auch in Grasbüscheln gemalt, um mehr Abwechslung in das Spiel zu bringen. Dazu kam eine gegnerische Agentin, die Wege patrouilliert und sich dreht. Hierbei musste ich darauf achten, die Agentin von vorne, links und rechts zu zeichnen und dabei keine Details zu missachten, wie zum Beispiel die Platzierung der Waffe oder das Logo auf der Jacke. Insgesamt war das Zeichnen ein iterativer Prozess. Es brauchte viele Versuche, bis ich mit dem Ergebnis zufrieden war und jede Linie perfekt saß. Die Platzierung von Blumen auf Büschen war zum Beispiel viel komplizierter, als ich gedacht hätte – sie waren zu klein, zu schlecht zu sehen, zu viele oder zu gehäuft.

Für die spätere Animation braucht man die Körperteile einzeln, deshalb habe ich diese auf verschiedene Ebenen gezeichnet, um das spätere Auseinanderziehen problemlos zu ermöglichen. Wichtig hierbei war, die untenliegenden Teile in alle Richtungen zu erweitern, damit bei der Animation keine Lücken entstehen.



Abbildung 3: Auseinanderziehen und Herunterskalieren von Figuren. Eigene Grafik

Am einfachsten war es, alle Gegner in hoher Auflösung zu zeichnen und die Auflösung am Ende auf unsere festgelegte Pixelzahl herunterzusetzen. Auf diese Art sieht es viel besser aus, als wenn man gleich versucht, in niedriger Auflösung zu arbeiten.

## Quellen

- 1 <https://teacherswebresources.files.wordpress.com/2016/03/thaumatrope.jpg?w=358>  
(25.10.2017)
- 2 [http://www.angryanimator.com/tut/pic/001\\_bouncingball/bal01.gif](http://www.angryanimator.com/tut/pic/001_bouncingball/bal01.gif) (25.10.2017)
- 3 <https://www.khanacademy.org/partner-content/pixar/animate/ball/a/start-here-animation> (25.10.2017)
- 4 <http://filmlexikon.uni-kiel.de/index.php?action=lexikon&tag=det&id=6299>  
(25.10.2017)
- 5 Daniel Schiffner: *M-ANIM Animation*, Goethe-Universität Frankfurt am Main, Fachbereich Informatik, Foliensatz 2, 2016
- 6 Frank Thomas: *The Illusion of Life: Disney Animation*, Disney Editions Verlag, 1995

## 6.7 Animationstechniken

Diana Zaharescu

Betreuer: Hannes Güdelhöfer

Obwohl die Animation in Videospielen und Filmen auf den ersten Blick wie der gleiche Vorgang wirken mag, werden in diesen beiden Bereichen ganz verschiedene Anforderungen gestellt. Animationen in Spielen müssen on-the-fly berechnet werden und aus allen Winkeln gut aussehen, da der Spieler ja nach seinen eigenen Vorstellungen und live agiert, statt wie in einem Film präzise platziert und nachbearbeitet zu werden. In vielen Spielen sieht man diesen Unterschied überdeutlich in Zwischensequenzen – sehr häufig sind die Charaktermodelle wesentlich höher aufgelöst als im Spiel selbst oder sogar komplett ausgetauscht, die Beleuchtung hat eine ganz andere Qualität, es werden Gestik und Mimik verwendet, die für den Spieler selbst nicht verfügbar sind, und vieles mehr.

Im Folgenden wird diejenige Methode vorgestellt, für die wir uns bei unserem eigenen Spiel entschieden haben: die *Cut-Out-Technik*. Dies ist für den 2D-Bereich eine beliebte Animationstechnik, da man schon mit vergleichsweise wenig Aufwand sehr ansprechende Ergebnisse erzielen kann.

### Die Cut-Out-Technik

Animation heißt immer Bewegung – die Cut-Out-Technik sorgt dafür, dass einzelne starre Teile eines Objekts gegeneinander bewegt werden können. Bei einer gezeichneten menschlichen Figur, die laufen soll, könnte das zum Beispiel bedeuten, die Beine einzeln zu zeichnen und dann gegen den Körper zu bewegen. Je realitätsgetreuer die Bewegung wirken soll, in desto mehr Einzelteile muss die Figur zerlegt werden. Im besten Fall werden die verschiedenen Bereiche von Anfang an auf verschiedene Ebenen gezeichnet, statt sie nachträglich auszuschneiden, sodass Überlappungen an verschiedenen Stellen möglich sind.

Diese Technik lässt sich auch auf Landschaften anwenden, indem der sogenannte *Parallax-Effekt* ausgenutzt wird: Wenn man sich an einer Landschaft vorbeibewegt, so scheinen sich Objekte weniger zu bewegen, je weiter sie entfernt sind. Dieser Effekt lässt sich zum Beispiel beim Autofahren sehr gut beobachten: Bäume direkt an der Straße scheinen schnell vorbeizuziehen, der weiter entfernt Wald sehr viel langsamer, und Gebirge in der Ferne stehen scheinbar still. Zum Animieren

wird entsprechend der Hintergrund auf eine Ebene gezeichnet, Objekte in mittlerer Entfernung auf die nächste und die Figur selbst auf die vorderste. Diese Ebenen werden dann verschieden schnell zueinander verschoben.

Zum Animieren werden dann die wichtigsten Posen, sogenannte *Schlüsselposen*, identifiziert und manuell zusammengesetzt. Beim Laufen sind dies etwa das Absetzen des Fußes und der Punkt, an dem der Fuß am weitesten vom Boden entfernt ist. Anschließend berechnet der Computer die fehlenden Zwischenbilder, also hier das Senken und Heben des Fußes, und verbindet mit ihnen die Schlüsselposen zu flüssigen Bewegungen. Diesen Prozess nennt man *Interpolation*.

### Lineare Interpolation

Bei der linearen Interpolation füllt der Computer die Lücken zwischen den Schlüsselposen auf die naheliegendste Weise: auf dem kürzesten Weg, also durch eine Gerade. Die Bewegung, die dabei entsteht, wirkt aber sehr mechanisch und unrealistisch, da es keine Beschleunigung oder fließende Übergänge gibt, sondern nur starke und plötzliche Wechsel. Wenn man mit dieser Interpolation eine flüssige Bewegung erzwingen möchte, muss man sehr viele Schlüsselposen setzen.

In Abb. 1 steht die x-Achse für die Zeit (in Frames) und die y-Achse für den Abstand des Objektes vom Boden. Sie zeigt einen hüpfenden Ball, der eine gleichmäßige lineare Bewegung ausführt.

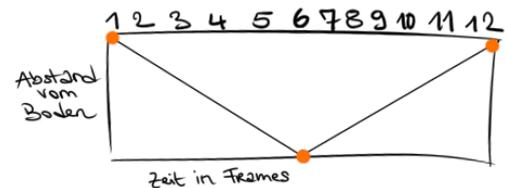


Abbildung 1: Bewegung eines hüpfenden Balls bei linearer Interpolation. Eigene Grafik

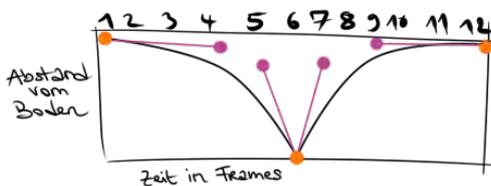


Abbildung 2: Bewegung eines hüpfenden Balls bei Interpolation mittels Bézier-Kurven. Eigene Grafik

### Bézier-Kurven

Mit Bézier-Kurven kann man sehr viel flüssigere Bewegungen animieren. Die Schlüsselposen werden nicht durch gerade Linien miteinander verbunden, sondern durch Bögen. Wie in Referat 6, *Geschichte der Animation*, erwähnt wird, wirken die meisten Bewegungen nur natürlich, wenn sie in einer solchen Bogenform verlaufen. Die zugrundeliegenden Gleichungen können sehr anschaulich visualisiert werden: Wie in Abb. 2 zu sehen

ist, bleibt die Kurve immer zwischen den orangenen und violetten Punkten. Die orangenen Punkte werden dabei interpoliert und die violetten Punkte approximiert.

### Aufgaben während der Akademiezeit

Meine Aufgabe im Kurs war es, den Hauptcharakter unseres Spiels zu zeichnen, von vorne, links und rechts. Beim Zeichnen der verschiedenen Ansichten mussten die Größenverhältnisse natürlich gleich bleiben. Damit die Details der Figur noch gut zu sehen waren, mussten sie sehr groß gezeichnet werden, da sonst zum Beispiel die Stroh-Struktur verloren gegangen wäre. Da die Teile sich später gegeneinander bewegen sollen, zeichnet man alle Einzelteile etwas über den Rand hinaus. Dadurch sehen sie nebeneinander etwas merkwürdig aus (siehe Abb. 3). Beim Animieren war es dann insbesondere wichtig, alle Bewegungen, die der Charakter macht, überdeutlich darzustellen, da die Figur so klein ist [4]. Schaut man sich die Figur in groß an, wirken die Bewegungen übertrieben, doch im fertigen Spiel sieht es genau richtig aus.



Abbildung 3: Zusammensetzung der Teile

## Quellen

- 1 <https://helpx.adobe.com/at/after-effects/using/keyframe-interpolation.html> (25.10.2017)
- 2 <https://www.khanacademy.org/partner-content/pixar/animate/ball/a/start-here-animation> (25.10.2017)
- 3 Daniel Schiffner: *M-ANIM Animation*, Goethe-Universität Frankfurt am Main, Fachbereich Informatik, Foliensatz 2, 2016
- 4 Frank Thomas: *The Illusion of Life: Disney Animation*, Disney Editions Verlag, 1995

## 6.8 Prozedurale Generierung

Mark Kirschbaum  
Betreuer: Mischa Holz

Ob man in *Minecraft* (2011) schier unendliche Welten erkundet, sich in *Rogue* (1980) durch zufällig zusammengesetzte Räume kämpft oder in *Star Citizen* (2017: in Alpha) mit einem Raumschiff die Weiten eines fiktiven Weltraums erkundet – eines bleibt dabei gleich: die zugrunde liegende Technik der *prozeduralen Generierung*. Unter diesem Begriff werden all jene Methoden zusammengefasst, die scheinbar zufällige Welten, Texturen, Klänge und vieles mehr erzeugen. Um *echten* Zufall handelt es sich dabei nicht, da die Erzeugung von wirklich zufälligen Ergebnissen einem heutigen Computer nicht möglich ist. Wenn wir von *Zufall* in Computern reden, meinen wir normalerweise so etwas wie die Ergebnisse eines *Pseudo Random Number Generators (PRNG)*. Das sind Algorithmen, die nach einem bestimmten System möglichst zufällig wirkende Zahlenfolgen ausgeben. Da Berechnungen in Computern aber deterministisch sind, ergeben sich bei gleichen Startwerten und -bedingungen immer dieselben Werte.

Ein Beispiel für einen *PRNG* auf binären Zahlen ist der *XOR-Shift*. *XOR-Shift* ist sehr simpel programmiert und erfordert wenig Rechenleistung. Ein Nachteil ist, dass der Algorithmus sich schon nach einer kleinen Anzahl von berechneten Zufallszahlen wiederholt. *XOR-Shift* besteht im Grunde aus nur sechs Rechenschritten und verwendet dabei den *XOR-Operator*. Dieser verknüpft zwei Zahlen der gleichen Stellenanzahl zu einem Ergebnis: An jeder Stelle, an der die beiden Zahlen sich unterscheiden, steht im Ergebnis eine 1. An allen anderen Stellen, wo die beiden Zahlen also gleich sind, steht eine 0.  $010 \text{ XOR } 111$  ergibt also zum Beispiel  $101$ .

Die (binäre) Ausgangszahl wird um eine bestimmte Anzahl von Stellen nach links verschoben. Nun wird der *XOR-Operator* auf die neue, verschobene Zahl und die Ausgangszahl angewendet.

Im nächsten Schritt wird diese errechnete Zahl wiederum um eine feste Anzahl von Stellen nach rechts verschoben. Anschließend wird der XOR-Operator mit dieser Zahl und der verschobenen Zahl verwendet. Danach wird der Prozess wiederholt, jedoch wird die Zahl wieder nach links statt nach rechts verschoben. Die berechnete Zahl ist sowohl die Zufallszahl als auch die neue Ausgangszahl für die Erzeugung der nächsten Zufallszahl.

Für die Erzeugung einer spielbaren Welt sind die Werte aus einem gewöhnlichen *PRNG* nicht geeignet, da diese meist zu weit gestreut und durcheinander sind. Wie in der unten stehenden Grafik zu erkennen ist, wären diese Zahlen etwa als Höhenkoordinaten des Bodens einer Welt denkbar ungeeignet. Stattdessen sucht man nach einer Art sanfteren, kontrollierten Zufalls – und genau den können prozedurale Algorithmen liefern.

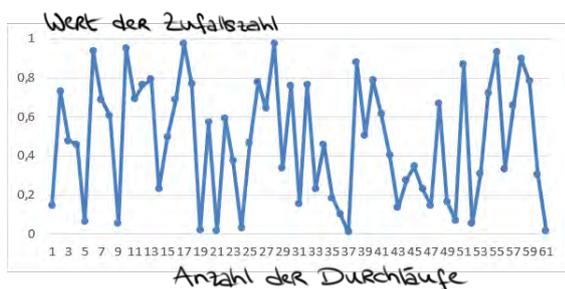


Abbildung 1: Ergebnisse eines Pseudo Random Number Generators. Eigene Grafik



Abbildung 2: Ergebnisse mittels Value Noise. Eigene Grafik

Eine Methode der prozeduralen Generierung ist das sogenannte *Value Noise*. Hierbei wird eine nicht allzu unstetige Funktion gewählt und durch Veränderung verschiedener Eigenschaften, zum Beispiel der Amplitude, variiert. Dann werden alle so gewonnenen Funktionen addiert. Mit einer geeigneten Funktion und ausreichend Variationen ergibt sich dadurch ein Graph wie in Abb. 2 – nicht so Sprunghaft wie das Ergebnis eines *PRNG*, aber auch abwechslungsreich genug, um realistisch zu wirken. So können zum Beispiel sowohl Gebirgszüge als auch kleine Unebenheiten im Boden vom gleichen Algorithmus erzeugt werden.

### Aufgaben während der Akademie

Meine Hauptaufgabe während der Akademiezeit waren der Entwurf und die Programmierung des Algorithmus, der unsere vorentworfenen Räume „zufällig“ zu Leveln zusammensetzt.

Zu Beginn habe ich mich aktiv in die Diskussion über den Aufbau der verschiedenen Räume eingebracht. Danach habe ich verschiedene Testräume mit unterschiedlichen Ausgängen gebaut, um später den Algorithmus an diesen testen zu können (siehe Abb. 3, linke Grafik). Anschließend habe ich den im Folgenden beschriebenen Algorithmus umgesetzt, Ergebnis in der rechten Grafik.

Beim Aufrufen des Algorithmus sucht dieser im ersten Schritt einen zufälligen Startraum aus einer Liste von als Starträumen gekennzeichneten Räumen aus. Von diesem ausgehend wird an jedem Ausgang des Raumes ein neuer zufällig ausgewählter Raum angehängt. An den Ausgängen von diesen neuen Räumen werden wiederum weitere Räume gehängt. Dabei muss der Algorithmus jedoch beachten, dass die jeweiligen neuen Räume und ihre Nachbarräume an denselben Stellen Außenwände und Ausgänge haben. Das bedeutet, dass überall dort, wo ein Raum einen Ausgang

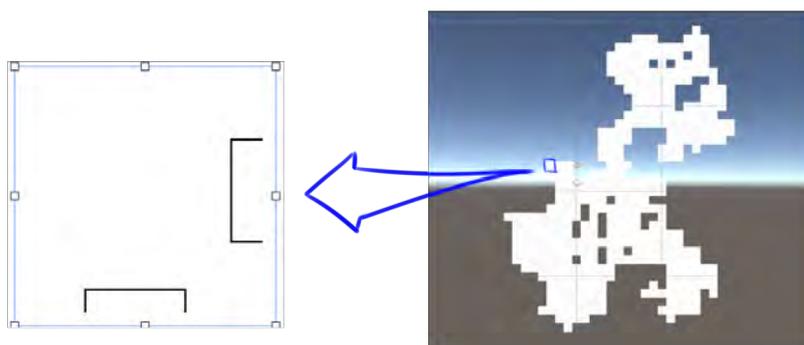


Abbildung 3: Beispiel für das erste Level mit Beispielraum (zwei Ausgänge). Eigene Grafik

hat, ein anderer einen Eingang haben muss. Der Algorithmus erstellt solange neue Räume an den Ausgängen, bis jeder Ausgang einen zugehörigen Raum hat. Außerdem nimmt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Raum mit weniger Ausgängen ausgewählt wird, mit steigender Entfernung zum Startraum ab. Zudem verfügt er über eine Variable, welche die ungefähre Größe des Levels festlegt. Wird diese Größe überschritten, wählt der Algorithmus als neuen Raum immer den Raum mit der niedrigst möglichen Anzahl an Ausgängen aus. Diese Faktoren zusammen sorgen dafür, dass der Algorithmus nach einer gewissen Anzahl an Räumen auf jeden Fall terminiert.

Insgesamt fand ich die Arbeit auf der Burg sehr interessant, da mir zum einen ermöglicht wurde, mit anderen zusammen an einem größeren Projekt zu arbeiten, und ich zum anderen die Möglichkeit hatte, sehr viel über *Unity* und Spieleprogrammierung im Allgemeinen zu lernen.

## Quellen

- 1 <http://pcg.wikidot.com/>
- 2 <http://www.iro.umontreal.ca/~lecuyer/myftp/papers/xorshift.pdf>
- 3 <http://flafla2.github.io/2014/08/09/perlinnoise.html>
- 4 <http://www.senaeh.de/value-noise/>

## 6.9 Grafische Generierung

Hannah Kraus

Betreuer: Hannes Güdelhöfer

Um ein Spiel visuell attraktiv zu machen, braucht es neben einem gut aussehenden Spielcharakter auch eine Spielwelt, in die dieser sich einfügt. Eine der Herausforderungen ist dabei immer die Größe der Spielwelt, und es wurden viele verschiedene Ansätze entwickelt, möglichst weitläufige Welten unterzubringen.

Die simpelste Art der grafischen Umsetzung ist, einfach ein Bild in der Größe der Welt zu malen und anzuzeigen. Dies ist jedoch nicht nur technisch problematisch, da in diesem einfachen Fall die gesamte Welt auf einmal geladen werden muss, sondern auch aus personeller Sicht: Je größer die Welt, desto länger dauert es, sie zu malen. Außerdem muss der Grafiker für jede auch noch so kleine Änderung herangezogen werden.



Abbildung 1: Aus Tiles zusammengesetzte Umgebung in unserem Spiel. Eigene Grafik

Eine Möglichkeit, diese Problematik zu umgehen, ist, die Welt aus vielen kleinen Bausteinen zusammen zu setzen, sogenannten *Tiles* (siehe Abb. 1). Für jede Textur – Gras, Wasser, Sand... – gibt es verschiedene Tiles, aus denen ein Hintergrund zusammengestellt werden kann. Die Zusammensetzung der Tiles zu einem spielbaren Level erfolgt meist über eine Tile-Engine. Jedes Tile erhält eine Nummer, sodass die Grafik im Spiel nur einmal abgespeichert und dann durch die Nummer an beliebig vielen Stellen abgerufen werden kann. Der benötigte Grafikspeicher ist also deutlich reduziert, und sobald die Arbeit des Grafikers einmal abgeschlossen ist, kann jeder aus den Tiles neue Level zusammensetzen. Es ergeben sich allerdings auch neue Probleme: Um glatte Übergänge zwischen nur zwei verschiedenen Texturen zu ermöglichen, müssen schon fast zwanzig verschiedene Übergangs-Tiles erstellt werden. Außerdem müssen die Tiles gut verschleiern, wo sie sich wiederholen, damit keine unerwünschten Muster (*Alias-Effekte*) auftreten.

### Geschichte der Tile-basierten Grafik

Mit einem Arbeitsspeicher von 64 KB war der *Commodore 64* in den achtziger Jahren der meistverkaufte Heimcomputer weltweit. Dieser besaß einen Display von 300x200 Pixeln. Im normalen Modus wurde jedoch ein Zeilendisplay benutzt, welches nur ASCII-Zeichen auf 25 Zeilen anzeigen konnte. Da dies für die meisten Spiele nicht gut gebräuchlich war, wurde für diese ein Pixelmodus verwendet, der jedes Pixel einzeln verändern konnte. Da ein Bild mit so vielen Pixeln zu groß für den damals verfügbaren Grafikspeicher war, musste man auf andere Techniken ausweichen.

So hat schon *Ultima 1* (1981) einen tile-basierten Ansatz gewählt, um mit wenig Speicherplatznutzung Spielwelten zu realisieren, die größer waren als der Bildschirm. Da ein Tile an jeder Stelle, an der es verwendet wird, immer gleich aussieht, muss es nur einmal im Speicher abgelegt werden, wodurch mehr Platz für andere Aufgaben bleibt.

In den ersten Tile-basierten Computerspielen wurden vor allem quadratische Tiles mit der klassischen Vogelperspektive verwendet. Auch manche Sidescroller-Spiele benutzen Tiles, um Hindernisse darzustellen. Varianten der quadratischen Tiles sind zum Beispiel hexagonale oder isometrische Tiles. Erstere erzeugen durch eine erhöhte Anzahl von Anbindungen zwischen den Tiles ein komplexeres Spielfeld wie zum Beispiel in *Civilization* (1991), während letztere durch eine Dreiviertel-Ansicht einen dreidimensionalen Effekt erzeugen.

Innovationen wie in den Computer einsetzbare Grafikchips und bessere Algorithmen zur Einbindung von Grafiken führten im Laufe der Zeit zu immer mehr Grafikspeicherkapazitäten. Dadurch wurden Tiles für viele Anwendungen redundant, konnten sich aber aufgrund ihrer Flexibilität und Effizienz in einigen Bereichen behaupten. Vor allem ermöglichen sie es, aus gegebenen Grafiken vergleichsweise unkompliziert neue Landschaften zusammensetzen: In *Warcraft 3* (2002) können Spieler zum Beispiel aus Tiles eigene Level erstellen, während in *Minecraft* (2009) automatisch immer wieder neue Welten generiert werden.

### Aufgaben während der Akademiezeit

Die Arbeit im Informatikkurs gestaltete sich für mich als eine Kombination aus Möglichkeiten und Herausforderungen. Sehr spannend war das Arbeiten mit einem elektronischen Zeichen-Tablet: Nach einer gewissen Eingewöhnungszeit ergaben sich dadurch sehr viele neue Möglichkeiten, vor allem im Gegensatz zum klassischen Zeichnen mit Stift und Papier.

Während meiner Arbeit konnte ich Zeichenprogramme wie *Pyxel Edit* oder *Sai* verwenden und unter anderem das Arbeiten mit Layern erlernen. Ich habe verschiedene Assets für den Hauptcharakter erstellen, wie die in Abb. 2 dargestellte Flasche.



Abbildung 2: Grafik aus unserem Spiel

Immer wieder mussten wir in Teamarbeit Vorstellungen zusammenbringen und dann wieder auf die einzelnen Teams verteilen, um diese umzusetzen. Dabei war aber auch wichtig, seine eigenen Gedanken zu diskutieren und zu verteidigen. Hierbei konnte ich den Weg von einer abstrakten Idee zu einem fertigen Objekt auf dem Bildschirm mitverfolgen und selbst gestalten.

### Quellen

- 1 Mark J.P. Wolf: *Before the Crash*, Wayne State University Press, Detroit, Michigan, 2012
- 2 <http://pyxeledit.com/learn.php> (25.10.2017)
- 3 [http://www.gamasutra.com/features/20070223a/barton\\_pfv.htm](http://www.gamasutra.com/features/20070223a/barton_pfv.htm) (25.10.2017)
- 4 <http://archive.computerhistory.org/resources/text/Commodore/Commodore.Commodore64.1982.102646264.pdf> (25.10.2017)

## 6.10 Spielmechaniken

Tobias Chen

Betreuer: Hilmar Wiegand

Unter dem Begriff *Spielmechaniken* werden sämtliche Interaktionen zwischen Spieler und Spiel zusammengefasst. Sie setzen sich zusammen aus den vom Spiel gestellten Regeln und den Aktionen, die der Spieler innerhalb dieser ausführen kann. Ein einfaches Beispiel für eine solche Regel ist, dass der Spieler sich mittels Pfeiltasten in der Spielwelt bewegt (vom Spiel vorgegeben) – der Spieler kann dann entscheiden, wie er sich bewegen will, und damit zum Beispiel Hindernissen ausweichen (Aktion des Spielers). Regeln können auch mehrere Aktionen des Spielers fordern, etwa gleichzeitiges Bewegen und Springen.

Ein Spiel muss nicht zwingendermaßen eine bestimmte Anzahl von Mechaniken haben, um interessant zu sein, und genauso kann die Komplexität der einzelnen Mechaniken ganz unterschiedlich sein. Es gibt Spiele wie *Binding of Isaac* (2011) oder *Ori and the Blind Forest* (2015), in deren Verlauf viele verschiedene Spielmechaniken freigeschaltet werden. Das Gefühl des Fortschritts wird dadurch hervorgerufen, dass der Spieler neue Möglichkeiten findet, Level zu überwinden.

Auf der anderen Seite des Spektrums stehen Spiele wie *Portal* (2007), welche auf eine einzelne Mechanik fokussiert sind, und in denen sich alle anderen Elemente, wie Story, Art, Setting oder Leveldesign nach dieser Mechanik richten. In *Portal* ist dies das Verbinden zweier Orte durch vom Spieler platzierte Portale. Diese Mechanik wird im Laufe des Spieles mit unterschiedlichen Fertigkeiten wie räumlichem Vorstellungsvermögen, Abschätzen von Entfernungen oder schnellen Reflexen kombiniert – obwohl es also die gleiche Mechanik bleibt, muss der Spieler andere Aufgaben lösen, wie zum Beispiel Portale im Fallen, an schwer erreichbaren Orten oder in einer bestimmten Reihenfolge zu platzieren.

Der Unterschied zwischen diesen Ansätzen lässt sich am besten durch die *Tiefe* einer Mechanik beschreiben: Eine Mechanik gewinnt dann an Tiefe, wenn sie dem Spieler die Möglichkeit gibt, sie bis zur Perfektion zu meistern und in verschiedensten Situationen kreativ anzubringen. Aus diesem Grund ist reines Laufen von A nach B durch Drücken und Halten eines Knopfes keine *tiefe* Mechanik, da sie spätestens im zweiten Anlauf gemeistert ist (Knopf gedrückt halten). In *Portal* ist die Grundmechanik schnell erlernt, besitzt aber eine erstaunliche Tiefe: Der Spieler geht von anfangs statischen Zielen über zu sich bewegenden; er überquert damit Abgründe, sorgt dafür, dass Gegner sich selbst treffen, transportiert Gegenstände und vieles mehr. Dies sorgt dafür, dass ein erfahrener Spieler die Herausforderungen des Spiels nicht nur wesentlich schneller bezwingen kann, sondern durch die Kombination der erlernten Fähigkeiten auch Aufgaben lösen kann, die für einen Anfänger unerfüllbar wirken mögen.

Zwar ist eine solche Tiefe in den Mechaniken häufig erwünscht, muss aber nicht gegeben sein, um das Spiel erfolgreich zu machen. Insbesondere Spiele, die an Kinder gerichtet sind, enthalten meist mehrere flachere Mechaniken. So bleiben sie interessant und abwechslungsreich, ohne die Zielgruppe mechanisch zu überfordern.

Es kann auch andere Gründe für flache Mechaniken geben: Je tiefer eine Mechanik ist, desto mehr tritt die Story in den Hintergrund. Ein gutes Beispiel hierfür sind die Spiele der *Telltale*-Serie (ab 2005), in denen eine Geschichte ähnlich einem Film vorgespielt wird. Der Spieler kann den Inhalt durch Dialogentscheidungen und meist simple Rätsel beeinflussen. Durch die Reduktion der Mechaniken tritt die Story in den Vordergrund – Motivation für den Spieler ist nicht, die Mechanik(en) immer besser zu beherrschen, sondern die Story mitzuerleben. Ebenso fest in die Story integriert ist die *Time-Rewind*-Mechanik in *Life is Strange*: Durch einfaches Drücken einer Taste kann der Spieler in der Zeit zurückreisen und seine letzten Entscheidungen verändern. Bei jeder Benutzung stellt sie den Spieler vor eine moralische Wahl und lässt diesen alle möglichen Wege eines Dialogbaumes ausprobieren, bevor er sich endgültig festlegen muss. Im richtigen Spiel kann also selbst eine schon fast trivial wirkende Mechanik für ein spannendes Spielerlebnis sorgen.

### Aufgaben während der Akademiezeit

Während der Akademiezeit habe ich mich ganz auf die Mechaniken unseres Spiels fokussiert: Ich habe dafür gesorgt, dass unser Charakter laufen, rennen, Items einsetzen, Gegnern ausweichen oder auch sterben kann. Außerdem war ich häufig dafür verantwortlich, die Arbeit der anderen Teammitglieder einzubinden und zu testen – so habe ich einige der vordesignierten Level zusammengebaut und die gemalten Bilder in das Spiel integriert. Zudem habe ich ein Framework geschrieben, welches das einfache und unkomplizierte Platzieren neuer Items ermöglicht.

Besonders begeistert hat mich der Teamaspekt der Arbeit, welcher es überhaupt erst ermöglicht hat, ein ganzes Spiel in so kurzer Zeit zu entwickeln. Jedem der Teammitglieder war es möglich, sich in den Bereichen zu betätigen, in denen seine oder ihre Fähigkeiten am ausgeprägtesten waren; sei dies das Designen der Level, Story oder Musik, das Zeichnen von Figuren und Hintergründen oder das Schreiben des unterliegenden Codes. Das gemeinsame Ziel und die begrenzte Zeit motivierte uns alle, ein gelungenes Projekt auf die Beine zu stellen, und viele arbeiteten weit über die Kurszeiten hinaus am Projekt. Aus dem anfänglichen Arbeiten in Kleingruppen entwickelte sich im Laufe der zwei Wochen eine sehr eigene und besondere Dynamik, die die Arbeit am Projekt zu etwas machte, auf das man sich freuen konnte – und nicht etwa eine Arbeit, die schlicht erledigt werden musste.

Ich konnte sowohl mein bereits bestehendes Wissen aus dem Vorjahr erneut anwenden (vor allem im Bezug auf die verwendete Software) als auch neue Dinge lernen. Meine Erwartungen an das fertige Produkt, aber auch an den Arbeitsprozess und die anwesenden Betreuer wurden bei Weitem übertroffen und ich bin dankbar, dass ich an der Akademie teilnehmen konnte.

### Quellen

- 1 <https://www.youtube.com/watch?v=2u6HTG8LuXQ>
- 2 <http://newsroom.mediadesign.de/imfokus/mythos-spielmechanik-oder-wie-der-game-designer-den-spielerdurch-emergente-story-design-techniken-herausfordert-und-bevollmaechtigt/> (25.10.2017)
- 3 <https://www.youtube.com/watch?v=UAclLDAHwfk> (25.10.2017)
- 4 [http://www.gamasutra.com/view/feature/134273/evaluating\\_game\\_mechanics\\_for\\_depth.php?print=1](http://www.gamasutra.com/view/feature/134273/evaluating_game_mechanics_for_depth.php?print=1) (25.10.2017)

## 6.11 Interaktive Spielwelt

Henrik Mentzer

Betreuer: Hilmar Wiegand

Beim Entwickeln eines Computerspiels muss der Entwickler entscheiden, auf welche Art und Weise die Spielwelt mit dem Spieler interagieren soll. Hierfür gibt es unkomplizierte Optionen wie Text und Ton, aber auch sehr komplexe Mechaniken – wie zum Beispiel eine Spielwelt, die sich basierend auf den Entscheidungen des Spielers fortlaufend verändert.

Die direkteste Art, mit dem Spieler zu kommunizieren, sind Text-Boxen und vertonte Zwischensequenzen. Eine etwas subtilere Methode ist das Arbeiten mit Aktionen von Gegnern oder in-

teraktiven Elementen der Umwelt. Die Herausforderung für den Entwickler besteht darin, das Verhalten und Zusammenspiel dieser Elemente für den Spieler interessant zu gestalten. Dabei ist unter anderem der Umgang mit den Erwartungen des Spielers eine wichtige Dimension: In *Pixel Dungeon* (2012) gibt es beispielsweise verschiedene Arten von Schatztruhen. Manche Kisten enthalten nützliche Gegenstände, während andere den Spieler angreifen, wenn er versucht, sie zu öffnen. Der Spieler ist also bei der ersten Begegnung überrumpelt und muss sich in Zukunft entscheiden, ob er das Risiko eingehen will, die Truhe zu öffnen. Solche Mechaniken sind eher simpel und werden in der Regel schnell erlernt, lösen aber beim Spieler ein Gefühl der Unsicherheit und somit Spannung aus – vor jeder Interaktion muss er sich entscheiden, ob er dem Spiel „vertraut“. Eine ganz andere Möglichkeit ist, auf Aktionen des Spielers erst zeitlich versetzt Reaktionen des Spiels folgen zu lassen. In *Skyrim* (2011) schaltet man zum Beispiel durch das Abschließen bestimmter Aufgaben Helfer frei. Steckt man später in der Klemme, kann man diese Helfer herbeirufen und so weiterkommen. In *Undertale* (2016) finden sich solche zeitversetzten Konsequenzen in der Story wieder: Das Spiel speichert Entscheidungen des Spielers, und Charaktere im ganzen Spiel reagieren dann darauf – sogar über verschiedene gespeicherte Spielstände hinweg. Letzteres spielt auf die gängige Praxis an, Entscheidungen auszutesten und einen älteren Spielstand zu laden, falls das Resultat nicht den Wünschen des Spielers entspricht. In *Undertale* funktioniert das nicht so einfach – zumindest beim ersten Mal wird der Spieler sich also vermutlich etwas ertappt fühlen. Andererseits lässt diese Interaktion den Spieler wissen, dass alle seine Entscheidungen von Bedeutung sind, und lösen bei ihm eine tiefere Verbundenheit mit dem Spiel und seinen Charakteren aus.

Damit der Spieler sich als Teil des Spiels fühlt und nicht nur als Zuschauer, setzt man beim Spiel-Design auf *Nicht-Linearität*: Dem Spieler werden so viele Entscheidungen wie möglich überlassen, selbst wenn manche im Endeffekt keine grundlegenden Veränderungen bewirken.

Rätsel in einem nicht-linearen Spiel sind oft auf verschiedene Weisen lösbar. Eine einfache Möglichkeit ist zum Beispiel, eine Druckplatte nicht nur mit einem dafür präsentierten Stein auslösen zu können, sondern auch mit beliebigen anderen Gegenständen. Im komplexeren Beispiel des Strategiespiels *Civilisation* (1991) kann der Spieler selbst entscheiden, wie er den anderen Zivilisationen gegenüberzutreten möchte: Er kann anderen Fraktionen Frieden oder Krieg erklären, verschiedene Bündnisse aufbauen und somit seine eigenen Herausforderungen wählen.

In nicht-linearen Spielen werden Level häufig offen verknüpft. Mit der Wahl der Levelabfolge hat der Spieler somit eine größere Entscheidungsfreiheit als in linearen Spielen: Einige Abfolgen sind vielleicht kürzer, dafür aber anspruchsvoller. Dadurch bekommt der Spieler das Gefühl, seine eigene Version des Spiels zu erleben.

*Künstliche Intelligenz* (KI) ist für alle Spiele, bei denen der Spieler mit intelligent erscheinenden Charakteren interagieren soll, von essenzieller Bedeutung. Eine gute KI zeichnet sich unter anderem dadurch aus, dass sie dem Spieler ihre Funktionsweise vermittelt – wenn sie völlig unvorhersehbar agiert, führt das schnell zu Frust. Wenn beispielsweise der Spieler im Ego-Shooter *Far Cry* (2004) einen Generator deaktiviert, kommt immer eine Wache vorbei, um ihn wieder in Betrieb zu nehmen. Der Spieler kann dieses Verhalten erkennen und sich zu nutze machen.

Eine KI kann ganz unterschiedliche Ziele haben. Oft arbeitet sie direkt gegen den Spieler oder mit ihm, sie könnte aber zum Beispiel auch in einen Konflikt mit einer anderen KI verwickelt sein. Stolpert der Spieler dann zufällig in diese Auseinandersetzung hinein, greift die KI auch den Spieler an. Ein solches Erlebnis lässt das Wissen, dass man gegen einen Computer spielt, in den Hintergrund treten, und lässt das Spiel lebendig und immersiv wirken.

### **Aufgaben während der Akademiezeit**

Meine Aufgaben lagen im Bereich der Implementierung und Programmierung. Ich habe die meiste Zeit mit der von uns verwendeten Spiele-Engine *Unity* und *Rider*, der integrierten Entwicklungsumgebung für *C#*, gearbeitet. Für unser Spiel habe ich einen Satz von Gegnern programmiert, die auf ihre Umgebung und den Spieler reagieren. Die Gegner sollten den Spieler erkennen können und als Reaktion auf sein Auftauchen ein globales Gefahrenlevel erhöhen. Hierfür habe ich sehr eng mit dem Design-Team zusammengearbeitet, um das Spielerlebnis möglichst gut abzurunden. Eine zusätzliche Schwierigkeit meiner Arbeit war daher, meinen Code möglichst flexibel zu entwickeln, damit dem Design-Team so viele Einstellungen wie möglich offen blieben.

Der Faktor Teamfähigkeit stand während der Entwicklung des Spieles bei uns im Mittelpunkt. Regelmäßige Absprachen mit dem Rest des Teams waren unerlässlich, was für eine permanent kommunikative Atmosphäre beim Arbeiten sorgte. Die Erfahrung, in einem Team an einem übergeordneten Projekt zu arbeiten, hat mir sehr gefallen, und ich konnte daraus wertvolle Erfahrungen schöpfen.

### **Quellen**

- 1 <https://www.youtube.com/watch?v=9bbhJi0NBkk> (25.10.2017)
- 2 [http://www.gamasutra.com/view/feature/131472/game\\_design\\_\\_theory\\_and\\_practice\\_.php](http://www.gamasutra.com/view/feature/131472/game_design__theory_and_practice_.php) (25.10.2017)
- 3 <https://www.youtube.com/watch?v=PfVG7Zn6lcU> (25.10.2017)
- 4 <https://www.rockpapershotgun.com/2017/04/03/why-fears-ai-is-still-the-best-in-first-person-shooters/> (25.10.2017)

## **6.12 Charakterfortschritt und Belohnungssysteme**

Tamina Buhl

Betreuer: Benedikt Ebert

Es gibt ganz verschiedene Gründe, Zeit in ein bestimmtes Computerspiel zu investieren. Vielleicht ist die Grafik besonders ansprechend, die Musik mitreißend, die Story tief bewegend oder die Kombination der Spielmechaniken ungewöhnlich herausfordernd – doch all das kann die Aufmerksamkeit eines Spielers nicht beliebig lange fesseln. Um für mehrere Wochen, vielleicht sogar Monate oder Jahre spannend zu bleiben, muss der Spieler Erfolgserlebnisse haben und das Gefühl vermittelt bekommen, Fortschritte zu machen.

### **Belohnungssysteme**

Damit stellt sich zuerst die Frage, wie man einen Spieler am besten für seine Erfolge belohnt. Die naheliegendste Vermutung ist sicherlich, dass der Spieler sich immer besser fühlt, je mehr Belohnungen er bekommt – dass der Zusammenhang nicht ganz so einfach ist, hat der amerikanische Psychologe B.F. Skinner bereits gegen 1930 untersucht.

Skinner experimentierte im Laufe dieser Studien mit der sogenannten *Skinner-Box*. Dabei schloss er eine Taube in einer Box mit einem Knopf ein. Wenn das Tier diesen Knopf durch Picken betätigte, wurde es mit einer kleinen Portion Futter belohnt. Durch dieses Experiment und verschiedene Variationen zog er Schlüsse über Effekte der Konditionierung, insbesondere der *operanten Konditionierung*. Im Unterschied zur klassischen, reflexbasierten Konditionierung, die etwa durch den russischen Physiologen I.P. Pavlov gegen 1900 beschrieben wurde, beruht operante Konditionierung auf willkürlichem Handeln: Die Taube lernt, dass sie bei Drücken des Knopfes mit Futter belohnt wird. Im simpelsten Fall – jedes Drücken führt zur Belohnung – drückt sie also so lange, bis sie satt ist. Dies lässt sich erweitern, indem die Taube erst dann Futter bekommt, wenn sie eine bestimmte Anzahl von Aktionen durchgeführt hat, oder nur endlich oft in einem bestimmten Zeitintervall belohnt wird. Dabei zeigt sich, dass unregelmäßigere Belohnungen zu häufigerem Drücken führen, da einmal natürlich mehr Aktionen nötig sind, um das gleiche Ergebnis zu bekommen, und sich außerdem ein Gefühl der Neugierde einstellt [4].

Das Prinzip der operanten Konditionierung ermöglicht es Spielen, ihre Spieler langfristig zu binden. Indem den Spielern zufällig oder nach einem Zeitplan Belohnungen verschiedenster Art angeboten werden, lassen sich viele Spieler zum Weiterspielen konditionieren, obwohl das Spiel seine Neuartigkeit und seinen Reiz eigentlich längst verloren hat. Natürlich gibt es auch andere Methoden, um das Interesse der Spieler aufrecht zu erhalten: Rätsel, die gelöst werden müssen, bestimmte Fertigkeiten, die zu erlernen sind, Gedächtnisleistungen, die erbracht werden müssen, oder eine zum Spiel eine spannende Geschichte, deren Ende man sich durch Weiterspielen erarbeiten muss.

### **Fortschritt in Spielen**

Neben konkreten Belohnungen ist ein Gefühl von Fortschritt ein wichtiger Motivator. Die meisten Varianten von Fortschritt in Computerspielen lassen sich in zwei Kategorien einteilen: *Player Progression* und *Game Progression*.

Bei *Player Progression* geht es um die Entwicklung der Fähigkeiten des Spielers selbst. Das Brettspiel *Monopoly* (1935) ist ein gutes Beispiel für diesen Effekt: Nach und nach werden die Spieler mit den Mechaniken vertrauter und müssen sich nicht mehr vollständig auf die einzelnen Felder oder Effekte konzentrieren. Stattdessen können sie komplexere Strategien entwerfen und so auf einer ganz anderen Ebene spielen als ein Anfänger.

*Game Progression* bezieht sich auf die Entwicklung des Spiels. Hier spielt es keine Rolle, wie gut der Spieler Mechaniken oder Regeln beherrscht – vielmehr ändert sich das Spiel selbst. Klassische *Game Progression* wäre zum Beispiel das Freischalten neuer Gebiete, die zuvor nicht erreichbar waren, und somit auch neuer Belohnungen und Erlebnisse. *Character Progression* ist ein Spezialfall der *Game Progression*: Hierbei ändert sich nicht das Spiel selbst, sondern der spielbare Charakter, indem er zum Beispiel neue Fähigkeiten oder Gegenstände erhält.

In jedem Fall erhält der Spieler durch seinen Fortschritt die Möglichkeit, sich neuen und zuvor unüberwindlichen Herausforderungen zu stellen. Die drei genannten Varianten des Fortschritts haben verschiedene Vor- und Nachteile, in den meisten Spielen sind sie jedoch zumindest in Grundzügen alle vorhanden.

### Arbeit während der Akademiezeit

Vor meiner Teilnahme an der Akademie wusste ich nicht viel über Game Development. Vor allem war mir nicht klar, wie komplex dieses Thema eigentlich ist – nachdem ich mein Referat gehalten hatte, habe ich zum ersten Mal in meinem Leben Programmcode geschrieben! Anfangs hatte ich große Angst, alles falsch zu machen, lernte aber dann schnell, dass die Code-Sprache logisch aufgebaut ist und dass jeder beim Schreiben des Codes irgendwann mal Fehler macht.

Mein Hauptaufgabe war das Erstellen der Level und Items. Die Level habe ich auf Papier entworfen und danach in *Unity*, unserer verwendeten Entwicklungssoftware, zusammengestellt. Dabei mussten Wände, Gegner und Items aufeinander abgestimmt und korrekt platziert werden. Die Items habe ich zusammen mit dem Rest des Design-Teams entworfen, danach implementiert und vom Art-Team mit Grafiken versehen lassen, bevor sie in den Levels platziert wurden.

Inzwischen fühle ich mich viel sicherer im Umgang mit *Unity*. Ich bin zwar noch kein Experte, habe aber im Vergleich zum Beginn unserer Akademie unglaublich viel dazugelernt. Das Projekt war vor allem eine Gruppenarbeit: Alle grundlegenden Entscheidungen haben wir zusammen getroffen, wodurch manchmal auch unerwartete Probleme entstanden. Tief gespalten waren wir zum Beispiel bei der Entscheidung, wie der Hut des Hauptcharakters aussehen soll. Nur mit enger Zusammenarbeit war es überhaupt möglich, unser Spiel zu erstellen.

### Quellen

- 1 [http://www.gamasutra.com/blogs/OzzieSmith/20130205/185943/Player\\_Skill\\_Character\\_Skill\\_and\\_Skill\\_Progression\\_Systems.php](http://www.gamasutra.com/blogs/OzzieSmith/20130205/185943/Player_Skill_Character_Skill_and_Skill_Progression_Systems.php) (25.10.2017)
- 2 [https://www.youtube.com/watch?v=tWtvrPTbQ\\_c&t=151s](https://www.youtube.com/watch?v=tWtvrPTbQ_c&t=151s) (25.10.2017)
- 3 <https://www.youtube.com/watch?v=S5camMoNw-o&t=262s> (25.10.2017)
- 4 <http://yukaichou.com/gamification-study/behavior-principles-and-good-game-design/> (30.10.2017)

## 7 Geschichtskurs

### Geschichte verstehen

„Welt verstehen“ scheint ohne „Geschichte verstehen“ heute nicht mehr möglich. Glaubt man zumindest dem Feuilleton, ist die Geschichtswissenschaft in den vergangenen Jahren zu einer der Deutungsdisziplinen für das Verständnis der gesellschaftlichen Veränderungsprozesse in einer globalisierten Welt geworden.

Dafür gibt es viele gute Gründe, hat sich die Geschichte als Wissenschaft doch insbesondere in der letzten HistorikerInnen-Generation enorm weiterentwickelt. Grund genug für unseren Kurs, einige der zentralen Erkenntnisse und Entwicklungen der modernen Geschichtswissenschaft in den Blick zu nehmen, wie z.B.:

Warum und zu welchem Zweck unterscheiden HistorikerInnen zwischen „Geschichte“ und „Vergangenheit“? Was kann man eigentlich wirklich aus der Geschichte lernen und welche Rolle spielt dabei das Konzept der „Alterität“? Welche Bedeutung hat „Erinnerungskultur“ für moderne Gesellschaften? Wieso führt uns die Geschichte von Begriffen wie selbstverständlich zur Betrachtung von „kulturellen Konstrukten“?

Wir wollen im Kurs die Augen dafür öffnen, dass Geschichte uns nicht nur die Vergangenheit verständlicher machen soll, sondern ebenso jeden Tag dabei helfen kann, die Welt unserer Gegenwart zu verstehen.

### Kursleitung

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

*Julia Wirth*, M.A., Historisches Seminar der Goethe-Universität Frankfurt am Main

### 7.1 Objektivität in der Geschichtsschreibung

Natascha Janho & Julia Wirth

Wenn man – ganz im Sinne unseres Kursthemas – Geschichte verstehen möchte, dann muss man sich zwangsläufig damit auseinandersetzen, was für Erwartungen man an die Geschichtswissenschaft hat und wie diese ihre Erkenntnisse gewinnt. Auf den ersten Blick scheint es, als ob sich die Arbeit von HistorikerInnen offensichtlich von Forschungen beispielsweise im Bereich der Mathematik, Physik oder Biologie unterscheiden würde. Während die Naturwissenschaften aufgrund uns klar vermittelter Regeln nachvollziehbar und objektiv wirken, nagt an HistorikerInnen immer der Zweifel, ob ihre Erkenntnisse eine ebenso eindeutige Qualität haben, da sie durch vollkommen andere Faktoren beeinflusst werden. Aus verschiedenen Gründen, die wir in den nächsten Sitzungen noch genauer betrachten wollten, ist es der Geschichtswissenschaft nicht möglich, direkten Zugang zum Wissen über die Vergangenheit zu gewinnen. Aber was bedeutet das für die Anforderungen an eine möglichst verlässliche und „objektive“ Geschichtswissenschaft?

Der Historiker E. H. Carr stellte sich schon 1961 in seinem gleichnamigen Werk die nicht ganz unwesentliche Frage „Was ist Geschichte?“. Dabei setzte er sich mit zwei kontroversen Ansichten seiner Zeit auseinander, die eine jeweils „korrekte“ Geschichtswissenschaft zu beschreiben

suchten, die er jedoch als „Häresien“ (S. 29) bezeichnet. Auf der einen Seite sieht er die optimistische Annahme des Historismus im 19. Jahrhundert, nach der eine vollständig abgeschlossene Geschichtsschreibung möglich sei. Mit der Gesamtheit aller Fakten, die nur noch gesammelt werden müssten, könne man Geschichte so wiedergeben, wie sie wirklich gewesen sei. Auf der anderen Seite wurden spätestens seit den 1950er Jahren immer mehr für ihn ebenso häretische Stimmen laut, nach denen die „Rekonstruktion der Vergangenheit“ (22) immer auch mit einer Auswahl und Interpretation des vorhandenen Wissens einher ginge. Im Extremfall führe dies dahin, die Existenz einer objektiven Wahrheit in Gänze zu verneinen.

Carr selbst steht der Existenz von eindeutig nachweisbaren, nachvollziehbaren und unumstößlichen Fakten skeptisch gegenüber und fordert ein stärkeres Bewusstsein für die vielen Aspekte, die eine akkurate Wiedergabe der geschehenen Ereignisse beeinflussen. Gleichzeitig beharrt er dennoch auf der Existenz von Fakten als „Rückgrat der Geschichte“. Spannend wurde es, als wir seine Argumentationsstruktur einer genaueren Analyse unterzogen: Es stellte sich heraus, dass Carr in seinem Werk zwar wirkungsvolle Bilder und Metaphern zur Veranschaulichung seiner Behauptungen über die Existenz von Fakten benutzt, aber *keinen einzigen* nachvollziehbaren und überprüfbaren Beweis für deren Existenz anbringen kann.

Aus diesem Grund begaben wir uns in unserer Sitzung selbst auf die Suche nach einem Beweis für die Existenz von Fakten in der heutigen Medienlandschaft. Doch auch wir fanden in der Untersuchung von Zeitungsartikeln, Erklärvideos und Nachrichtenbeiträgen letztlich immer nur Interpretationen oder aber bloße Aussagen, die uns mithilfe verschiedener Strategien als Fakten präsentiert wurden. Da uns der Zugriff auf die Fakten also verwehrt blieb, beschäftigten wir uns im Folgenden mit eben jenen Strategien zur Erzeugung oder Steigerung von Glaubwürdigkeit – und konnten feststellen, dass diese für uns von mindestens ebenso großer Bedeutung sind wie die Fakten. Überall in unserem Alltag, so entdeckten wir schnell, werden diese Strategien – mehr oder weniger bewusst – eingesetzt, um vorgebrachtes Wissen mit dem Anspruch von Wahrheit auszustatten. Und diese Strategien fanden wir auf verschiedenen Ebenen: So kann zum Beispiel eine korrekte, anspruchsvolle und komplexe Sprache ebenso den Eindruck von Qualität und damit Verlässlichkeit erzeugen wie die Angabe von möglichst vielen Referenzmaterialien wie Zahlen, Statistiken oder Verweisen auf die fachliche Autorität der verwendeten Quellen. Überhaupt spielen Autoritäten eine große Rolle, wobei diese der eigenen Person zugeschrieben werden können oder auch einfach über stereotype Muster abrufbar sind, wenn etwa MedizinerInnen in der Werbung weiße Kittel tragen oder HistorikerInnen im Interview vor einer Bücherwand sitzen. Genauso können Metaphern oder sprachliche Bilder, die als „common sense“ eine vermeintlich allgemein gültige Logik enthalten, die Glaubwürdigkeit einer Aussage stärken – wer hört, was er ohnehin schon (zu glauben) weiß, glaubt auch leichter die nächste gehörte Aussage.

Unsere Erkenntnisse führten uns unweigerlich dazu, Carrs Position noch einmal in den Blick zu nehmen. Dessen These, dass Fakten zwar zahlreichen Faktoren der Beeinflussung unterlägen, trotz allem aber den „festen Kern“ (10) der Geschichtswissenschaften bildeten, mussten wir nun ganz grundsätzlich hinterfragen: War das Problem der Geschichtsschreibung also vielleicht gar nicht die scheinbare Unzuverlässigkeit der vorhandenen Fakten, sondern die Annahme der Existenz von Fakten im Allgemeinen? Mit dieser Frage im Hinterkopf gingen wir in die folgenden Sitzungen.

**Literatur:**

- Edward Hallet CARR: *Was ist Geschichte?*, 4. Aufl., Stuttgart 1963.

**7.2 Alterität - Das Spannungsfeld zwischen Eigenem und Fremden**

Marco Ernst, Alea Meyreiß & Tobias Lang

„Alterität? Noch nie gehört.“ Der Fachbegriff der Alterität mag zwar den meisten Menschen unbekannt sein, jedoch nicht das Konzept, das sich dahinter verbirgt. Alterität beschreibt nämlich das Spannungsverhältnis, das entsteht, wenn das Eigene (eine Person mit ihrem Erfahrungshorizont) auf etwas Fremdes trifft. Es entsteht ein Prozess, in dem ausgehandelt wird, wie fremd etwas ist, ob man sich diesem schrittweise annähern kann, oder ob es unerlernbar anders ist. So erklären das zumindest die Germanisten Anja Becker und Jan Mohr in der von uns verwendeten Einleitung zu einem Band, der „Alterität als Leitkonzept für historisches Interpretieren“ in den Blick nimmt. Und damit sind wir schon bei einem weiteren Problem: Alterität, von lat. *alter* („der andere von beiden“), also im Grunde „Andersheit“, ist ein wissenschaftliches Konzept, das in vielen verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen – wie zum Beispiel in den Kultur- und Literaturwissenschaften, aber auch in der Geschichtswissenschaft – Anwendung findet. Eine einheitliche Vorstellung, Definition oder gar Methodik gibt es jedoch nicht. In unserer Vorbereitung waren wir daher nicht nur gezwungen, uns in einem Überangebot an Deutungen und Modellen zu orientieren und Entscheidungen zu fällen, um mit diesem Konzept arbeiten zu können; wir haben auch erkannt, dass die unterschiedlichen Verwendungen und Definitionen in den Disziplinen aufzeigen, dass „Alterität“ theoretisch offenbar nur schwer zu fassen ist. Oft ist uns das Konzept erst klarer geworden, wenn wir es auf konkrete Beispiele angewendet haben.

Beim historischen Interpretieren erinnert uns das Alteritätskonzept daran, dass wir als diejenigen, die Vergangenheit interpretieren, immer die entscheidende Instanz sind und dass deswegen unsere Position besonders reflektiert werden muss. Ein Hineinversetzen in eine historische Persönlichkeit ist uns unmöglich. Die zeitliche Distanz erzeugt eine Befremdung, und das schon allein dadurch, dass sich die Gesellschaft, in der wir jetzt leben, natürlich grundlegend gegenüber der vergangenen verändert hat, und wir daher gar nicht nachempfinden können, wie sich eine Person damals gefühlt hat. Statt nun aber – wie früher oft geschehen – ein Urteil aus unserer heutigen Perspektive zu fällen, macht uns Alterität darauf aufmerksam, dass es die erste Pflicht von Historikerinnen und Historikern ist, sich dessen stets bewusst zu sein. Die zweite Pflicht besteht im Versuch, möglichst viele und auch unterschiedliche potentielle Motive der historischen Akteurinnen und Akteure durch genaues Aufarbeiten des historischen Kontexts zu erschließen, aufzugreifen und gegeneinander abzuwägen. Dennoch muss klar sein, dass wir auch dadurch immer nur ein Angebot an Möglichkeiten und sehr wahrscheinlich lediglich eine Auswahl aus allen möglichen Motiven zu bieten haben – das *eine* Motiv kann uns nicht bekannt werden, ein Teil der Vergangenheit bleibt für uns immer „unerlernbar anders“.

Im Kurs haben wir uns diese theoretischen Überlegungen anhand eines historischen Beispiels (Völkerschauen) und eines aus unserem Alltag (Scripted Reality / Doku-Soap) erschlossen und dabei auch seine praktische Anwendbarkeit ausprobiert.

In Völkerschauen wurde das vermeintliche Leben von nicht westeuropäischen Völkern inszeniert. Sie traten in Deutschland gehäuft während der Jahrhundertwende vom 19. zum 20. Jahrhundert auf; das Format entwickelte sich dabei zu einem großen kommerziellen Erfolg. Wir versuchten mithilfe des Alteritätskonzeptes zu untersuchen, warum die Begegnung mit dem Fremden offenbar zum Geld verdienen einlud und was die verschiedenen Motive der Menschen damals waren, diese Völkerschauen zu besuchen. Zuerst ist hier auf den historischen Kontext zu verweisen: Mit der Erschließung der Kolonien öffnete sich für die Menschen in Mitteleuropa plötzlich die Welt, ein weiterer Schritt in der Geschichte der Globalisierung wurde getan. In den Zeitungen erfuhren immer größere Teile der Bevölkerung regelmäßig von „exotischen“ Ländern und Kontinenten und den Menschen, die dort lebten. Auf wissenschaftlicher Ebene versuchte man gleichzeitig, den sog. *missing link* zwischen den Affen und den Menschen zu finden, indem man die verschiedenen Völker der Erde in Urvölker, Naturvölker und Hochkulturen unterteilte. Das große Interesse an Völkerschauen und ihr Erfolg sprechen dafür, dass irgendein Bedürfnis der Menschen befriedigt wurde (mit dem sich zudem Geld verdienen ließ). Was dieses Bedürfnis zur damaligen Zeit gewesen sein könnte, darüber lässt sich aus heutiger Perspektive nur streiten – wobei die Streitpunkte aus dem eben genannten Kontext abzuleiten wären.

Ein naheliegender (und bestimmt auch oft vollzogener) Schluss aus heutiger Perspektive wäre es, die Menschen von damals als rassistisch zu betrachten. Unabhängig von der zur Jahrhundertwende wirksamen wissenschaftlichen Legitimation *rassistischen* Denkens ist für uns heute deren *rassistische* Implikation aus gutem Grund nicht wissenschaftlich nachvollziehbar – und demnach zu verurteilen. Die Völkerschauen, so könnten wir sagen, wären deswegen so gut besucht gewesen, weil man als Mitteleuropäer die Möglichkeit hatte, sich als überlegene Rasse zu fühlen, die die anderen, in Szene gesetzten Rassen wie in einem Zoo betrachtet.

Dies ist aber ein *moralisches* Urteil, gefällt aus heutiger Perspektive; und das Konzept der Alterität macht uns darauf aufmerksam, dass es für eine ordentliche geschichtswissenschaftliche Interpretation zu kurz greift: Weder ist der Versuch unternommen worden, sich der Bedingtheit des eigenen Handelns und Urteilens bewusst zu werden, noch kann man so der betrachteten historischen Epoche in ihrer Einzigartigkeit gerecht werden. Eine Möglichkeit, es besser zu machen, besteht im Versuch, sich intensiver in die damalige Zeit zu versetzen: Wäre man zum Beispiel selbst zu einer dieser Völkerschauen gegangen? Und wenn ja, warum? Vielleicht aus einfacher Neugier, aus wissenschaftlichem Interesse, aus Unterhaltungslust, vielleicht aber auch aus dem Motiv, sich selbst über andere zu erheben und sich besser zu fühlen? Wichtig dabei ist, dass diese Annäherung durch *Empathie* keineswegs zu klareren Erkenntnissen über die Vergangenheit führen muss – vielmehr machen uns die Schwierigkeiten beim Hineinversetzen deutlich, wie sehr wir selber mit unserem Denken und Fühlen in unserer eigenen Zeit gefangen sind.

Damit ist diese Methode ziemlich typisch für die Anwendung des Alteritätskonzeptes: Sie klärt nicht direkt die Sachverhalte (und lässt sie womöglich auf den ersten Blick noch undurchdringlicher erscheinen!), aber die Berücksichtigung von Alterität erinnert uns daran, unsere eigene moralisierende Perspektive zu reflektieren – und stößt damit einen weiteren Schritt in einem bewussten Annäherungsprozess an das Fremde an.

Scripted Reality, umgangssprachlich auch mit Bezeichnungen wie „Assi-TV“ oder „Unterschichtenfernsehen“ bedacht, bezeichnet ein Fernsehformat, bei dem Menschen in ihrem vermeintlich all-

täglichen Leben mit Kameras begleitet werden. Die Kommentare im Plenum zu einem in der Sitzung gezeigten Videoausschnitt aus der Sendung „Frauentausch“ reichten dann von „absurd“ über „man sollte gar nicht drüber nachdenken“ bis hin zu der Frage, ob denn jemand tatsächlich solche Sendungen gut und spannend finde. Tatsächlich war die häufigste Frage: „Wer schaut sich so etwas an?“.

Unter Einbeziehung des Konzepts der Alterität kamen wir zu einer Reihe von Erklärungsmöglichkeiten. Als naheliegend und wahrscheinlich wurde von uns eingeschätzt, dass Zuschauer sich von den porträtierten Figuren abgrenzen möchten, nach dem Motto: „Ich bin nicht so dumm und asozial wie die dargestellten Figuren.“ Statt nun auf einem gemüthlichen Mittelschichts-Standpunkt stehen zu bleiben, der sich über die Ironie dieser Aussage bloß lustig macht (denn schließlich gilt für uns gerade der Konsum dieser Sendungen als Nachweis der genannten Eigenschaften), sind wir einen Schritt weiter gegangen: Warum ist dieser in unseren Augen offenkundig fehlerhafte Mechanismus dennoch so erfolgreich?

Der nicht zwangsläufig bewusste Abgrenzungswunsch, so unsere Schlussfolgerung, ermöglicht die Stärkung einer eigenen Identität oder auch die Bildung einer Gruppenidentität dadurch, dass man anhand etwas Fremdem ein Anderes definieren kann, das man (vermeintlich) nicht ist. So kann man die in der Doku-Soap dargestellten Individuen und Gruppen als „asozial“ und in jeglicher Hinsicht beschränkt definieren, sich selbst von dieser Definition distanzieren und in der Folge darüber erheben. Dies kann wiederum das Selbstwertgefühl und die eigene Identität stärken. Da wir es durch das Fernsehen mit vielen solchen einheitlichen Abgrenzungsprozessen zu tun haben können, eignet sich Scripted Reality auch für die Bildung und Stärkung von Gruppenidentitäten – ein Vorgang, der uns in Bezug auf Doku-Soaps vielleicht einfach nur nicht deutlich geworden ist.

Aber halten wir fest, dass wir das Konzept der Alterität nicht nur gewinnbringend auf die Vergangenheit in Anwendung bringen können, sondern auch in der Gegenwart täglich damit zu tun haben. Auch als Menschen einer globalisierten Gegenwart gibt es doch immer Aspekte, die uns fremd oder anders erscheinen – und immer wieder können wir selbst erfahren, dass wir es nicht schaffen, uns letzteren anzunähern. Auch hier bleibt uns nur übrig, uns dieses Spannungsfeld durch das Konzept der Alterität bewusst zu machen; abstellen können wir die Probleme nicht.

Im Vergleich zwischen Völkerschauen und Scripted Reality-TV wird übrigens deutlich, dass in beiden Fällen Fremdes mit großem kommerziellen Erfolg inszeniert wird. Die Motive der Zuschauer von damals und heute sind natürlich nicht identisch, aber dennoch ist der Umgang mit und die Positionierung zum Fremden wohl ein zeitloses Phänomen, das lediglich je nach gesellschaftlicher Form und historischem Kontext anders ausgehandelt wird. Alterität macht uns also darauf aufmerksam, dass das, was fremd und was anders ist, immer von uns und unserem Eigenen abhängig ist. Im Spannungsfeld zwischen Eigenem und Fremden, das uns täglich und oft unterbewusst begegnet, hält uns das Wissen um die Alterität dazu an, die wirksamen Prozesse aktiv zu reflektieren. Beim historischen Interpretieren kommt noch eine weitere Ebene hinzu, da wir es auch mit einer unüberwindbaren zeitlichen Distanz zu tun haben – wir sind keineswegs dazu in der Lage, als unbeteiligte Dritte über der Welt zu stehen und Vergangenes zu beurteilen. Auch dieser Alterität muss man sich bewusst sein, wenn man eine vergangene Epoche nicht ungeachtet der eigenen Position einschätzen möchte.

## Quellen und Literatur

- Anne DREESBACH: *Kolonialausstellungen, Völkerschauen und die Zurschaustellung des "Fremden"*, in: Europäische Geschichte Online (EGO), hg. vom Leibniz-Institut für Europäische Geschichte (IEG) Mainz, 17.2.2012, <http://ieg-ego.eu/de/threads/hintergruende/europaeische-begegnungen/anne-dreesbach-kolonialausstellungen-voelkerschauen-und-die-zurschaustellung-des-fremden> [21.11.2017]
- Anja BECKER / Jan MOHR: Geschichte und Perspektiven eines Konzeptes: Eine Einleitung, in: *Alterität als Leitkonzept für historisches Interpretieren*, hg. von A.B. / J.M. (Deutsche Literatur. Studien und Quellen, Bd. 8), Berlin 2012, S. 1-61.

### 7.3 Erinnerungen im kollektiven Gedächtnis: das Beispiel Canossa

Sarah Greilich, Aylin Karatas & Julian Wellershaus

Ein Verständnis des gemeinsamen Zusammenlebens ist nicht einfach, und in einer immer komplexer werdenden und sich schneller entwickelnden Gesellschaft sucht der Mensch nach seinem Platz und einem Schlüssel für das Verständnis dieser Welt. Identitätsstiftend funktioniert hier das kollektive Gedächtnis: Das gemeinsame Erinnern innerhalb einer Gesellschaft schafft verbindende Strukturen, indem es ein Bild der Gruppe konstruiert, mit dem sich ihre Mitglieder identifizieren können. Indem wir erinnern, verstehen wir also nicht nur, was in der Vergangenheit geschehen ist, sondern auch, wer wir sind. Erinnerungen sind jedoch keineswegs feststehende Entitäten. Sie unterliegen vielmehr den Dynamiken des Vergessens, der Verformung und der Verzerrung und wandeln sich zudem mit jedem Abruf, passen sich den Anforderungen der neuen Situation an und überschreiben die alten Erinnerungen. Astrid Erll stellt sogar die These auf, dass es nicht nur ein Gedächtnis gibt: Vielmehr gäbe es eine Vielzahl von Gedächtnissen, die sowohl synchron, also zeitlich nebeneinander, wie diachron, also zeitlich nacheinander, existieren. Doch welche Konsequenzen ergeben sich daraus für die Erinnernden, wenn sie ihre Identität auf dynamischen „Fundamenten“ aufbauen? Welche Konsequenzen müssen HistorikerInnen ziehen, wenn sie sich bewusst werden, dass die *Wahrheit*, die sie suchen, und das Ereignis, *wie es wirklich* gewesen ist, nicht rekonstruierbare Utopien sind?

Im Kurs stellten wir uns gemeinsam diesen Fragen und entschieden uns, Erlls Theorie des kollektiven Erinnerns an einem konkreten historischen Ereignis nachzuvollziehen: am „Gang nach Canossa“. Um sowohl die synchrone als auch die diachrone Pluralität in den Blick nehmen zu können, haben wir drei Episoden zeitgenössischer Auseinandersetzung mit dem „Gang nach Canossa“ ausgewählt: das 11. und frühe 12. Jahrhundert, das 19. Jahrhundert und die Gegenwart.

Zunächst ein paar Erklärungen zum historischen Hintergrund: Der römisch-deutsche König Heinrich IV. war im Jahr 1076 vom römischen Papst Gregor VII. exkommuniziert worden. Vorausgegangen waren zwei voneinander getrennt zu betrachtende Auseinandersetzungen: Einerseits hatte Heinrich Bischöfe im Machtbereich Gregors gegen dessen Willen in ihr Amt eingesetzt. Andererseits standen sich die Machtansprüche der beiden Kontrahenten diametral gegenüber. Gregor war Verfechter eines Reformpapsttums, das nicht nur den Papst als Stellvertreter Christi über den

König stellte, sondern auch die Unabhängigkeit der Kirche von weltlichen Einflüssen forderte sowie die Simonie und die Amtseinsetzung in geistliche Ämter durch Laien abschaffen wollte. Damit gefährdete Gregor nicht nur Heinrichs Machtanspruch, sondern auch dessen Machtbasis in seinem Herrschaftsbereich, die auf der Vergabe eben solcher Ämter beruhte. Auf der oberitalienischen Burg Canossa trafen der exkommunizierte römisch-deutsche König Heinrich und der römische Papst Gregor ein Jahr nach der Exkommunikation im Januar 1077 aufeinander. Am Ende dieses Treffens stand die Wiederaufnahme Heinrichs in die Gemeinschaft der Kirche.

Unsere Auseinandersetzung mit den hochmittelalterlichen Quellen des späten 11. und frühen 12. Jahrhunderts offenbarte schnell die Existenz einer synchronen Pluralität nach Erll: Trotz der beschränkten Auswahl an Quellen finden sich eine Vielzahl von sich voneinander abgrenzenden Darstellungen über die Ereignisse in Canossa. Dabei war zwischen den Berichten der „deutschen“ Geschichtsschreiber, namentlich Lampert von Hersfeld, Berthold von Reichenau und dem Anonymus der *Vita Heinrichs*, zu unterscheiden. Auch der Eid Heinrichs IV., der unter dem Begriff *Iusiurandum* bekannt ist – Heinrich ließ ihn nach der erhaltenen Absolution von zwei seiner getreuen Bischöfe schwören – und der in den Registern des Papstes festgehalten wurde, sollte Teil der Untersuchung sein. Unter dem Aspekt der sich ständig wandelnden Verformungen der Erinnerungen erscheint es notwendig, die Verfassungszeiträume der jeweiligen Quellen zu berücksichtigen: Während das *Iusiurandum* dem Ereignis am nächsten steht und wohl einige Tage nach dem Ereignis verfasst wurde, schrieb Lampert seine Version wohl 1080, Berthold seine 1088 und der Anonymus die seine wohl erst im Jahr 1206 auf, also knappe 30 Jahre nach den Ereignissen. Dabei dienten das *Iusiurandum* und ein weiterer, in dieser Untersuchung jedoch nicht berücksichtigter Brief, den „Deutschen“ nördlich der Alpen als einzige Informationsquelle über das Ereignis Canossa 1077 und wurden von den Geschichtsschreibern nachweislich als Grundlage für ihre Darstellungen genutzt.

Während Heinrich im Eid als *rex* (König) schwören lässt, berichtet Lampert, dass Heinrich nach den kirchlichen Gesetzen für die Zukunft der königlichen Würde für unwürdig erklärt worden sei. Dabei führt er viele weitere Argumente gegen Heinrich auf, obwohl diese weder im *Iusiurandum* noch im Brief Gregors zu finden sind, und schmückt das Bußritual, das Heinrich zur Erlangung der Absolution vollziehen musste, mit erniedrigenden Details aus. Im Vergleich zu Lampert berichtet Berthold beinahe neutral vom Zusammentreffen des Königs und des Papstes in Canossa. Jedoch lassen sich auch hier bewusste Verformungen erkennen, die die verhandelten Handlungsoptionen für Heinrich und den Papst deutlich einschränken und damit wohl die spätere, erneute Eskalation zwischen Heinrich und Gregor verständlicher erscheinen ließen. In der anonymen *Vita* wird das *Iusiurandum* nicht erwähnt, sondern lediglich erklärt, dass Heinrich die Absolution erreichte und alles dessen schlauer Plan gewesen sei.

Die Auseinandersetzung mit den zeitgenössischen Quellen hat uns gezeigt, dass im selben Zeitraum unterschiedliche Erinnerungen an ein und dasselbe Ereignis parallel nebeneinander existieren können. Die einzelnen Darstellungen stehen hierbei aufgrund ihres Anspruchs auf Hegemonie in Konkurrenz zueinander – durch die Erinnerung im Rahmen des kulturellen Gedächtnisses werden schließlich zentrale Fragen von für die Gesellschaft vitalem Interesse und mit weitreichenden politischen Folgen verhandelt. Jeder der Geschichtsschreiber versuchte seine eigene Position durchzusetzen, da der identitätsstiftende Charakter der Ereignisse von Canossa den Autoren

durchaus bewusst gewesen sein dürfte. Dadurch entstand ein Spannungsfeld von Beiträgen und Ansprüchen, welches charakteristisch für die synchrone Pluralität ist.

Als Gegenstück zu dieser gibt es auch eine diachrone Pluralität, die der Tatsache Rechnung trägt, dass sich Erinnerungen im Laufe der Zeit verändern, da sie sich bei jedem Abruf den neuen Anforderungen und Gegebenheiten anpassen und somit beeinflusst und aktualisiert werden. Zur Verdeutlichung dieses Phänomens haben wir uns exemplarisch mit Quellen auseinandergesetzt, die davon berichten, wie das Ereignis Canossa im 19. Jahrhundert dargestellt wurde.

Nachdem in der Frühen Neuzeit die Auseinandersetzung mit den Ereignissen in Canossa zunehmend unter den Einfluss der konfessionellen Kirchengeschichtsschreibung gelangt war, prägten nicht protestantische Abneigung gegenüber oder katholische Zuwendung zu dem Papsttum die Interpretationen des 19. Jahrhunderts, sondern vielmehr Nationalgefühle. In den sich neu formenden Nationalstaaten interpretierte man die Buße des „deutschen“ Königs Heinrich als demütigend. Durch die Auseinandersetzung der römischen Kurie mit den sich liberaler positionierenden Nationalstaaten im 19. Jahrhundert erschien den Zeitgenossen ein Vergleich mit den Ereignissen im 11. Jahrhundert angemessen. Dies drückt sich beispielsweise in Otto von Bismarcks berühmten Zitat aus: „Seien Sie außer Sorge, nach Kanossa gehen wir nicht, weder körperlich noch geistig“. Das gesellschaftliche Bedürfnis nach einem mächtigen, sich dem Papsttum entgegenstellenden Herrscher spiegelte sich auch in der bildenden Kunst und Dichtung wider, die der vermeintlichen Demütigung Heinrichs und somit auch Deutschlands das Bild eines starken, dem Papst trotzen- den Heinrichs entgegenstellten. Die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit Canossa im 19. Jahrhundert – beispielhaft sei hier Wilhelm von Giesebrecht genannt – zeichnet ein Bild der Ereignisse in Canossa, das klar den Schilderungen Lamperts folgte. So hätte der Papst größte Bedenken gehabt, den Bußakt Heinrichs anzunehmen, denn er sah im König den größten Sünder gegen das Papsttum. Auch hätte Heinrich in seiner Not die größte Bereitschaft gezeigt, alles zu tun, um seine Königswürde zurückzugewinnen. Dadurch hätte Gregor die Exkommunikation aufgehoben, weshalb Heinrich zwar wieder König gewesen, „Deutschland“ jedoch gedemütigt worden wäre. Giesebrecht kritisiert zwar Lamperts Darstellungen, indem er beispielsweise widersprüchliche Darstellungen aufdeckt, bewertet die Ereignisse jedoch genau wie dieser, wenn er Canossa als große Demütigung Heinrichs schildert. Dieses Verhalten unterscheidet ihn natürlich von HistorikerInnen unserer Gegenwart, die sich in ihrer Arbeit einer politisch neutralen Position verpflichtet sehen und daher versuchen, auf vorschnelle Urteile zu verzichten.

Dennoch kann unser dritter Untersuchungszeitraum, die heutige Auseinandersetzung mit den Ereignissen in Canossa, die Funktionsweisen beider von Erll entworfener Pluralitäten verdeutlichen, der diachronen wie der synchronen: So unterscheidet sich unsere gegenwärtige Auseinandersetzung mit Canossa und unser Erinnern an das Geschehen dermaßen eindeutig davon, wie dies im Hochmittelalter oder im 19. Jahrhundert der Fall war, dass die Veränderung der Erinnerungen als klares Beispiel für diachrone Pluralität gelten kann. Daneben gibt es heute aber auch höchst unterschiedliche Arten der Erinnerung an Canossa, bis hin zum Forschungsdisput zwischen Johannes Fried und anderen deutschen HistorikerInnen, welche die synchrone Pluralität in der Erinnerung an das Geschehen in Canossa widerspiegeln.

Im aktuellen Diskurs hat die Auseinandersetzung mit Canossa ihre gesellschaftliche Brisanz verloren. Nicht mehr nationale, sondern europäische, kulturübergreifende Schwerpunkte bestimmen

die aktuelle Forschung und das quellentechnisch relativ gut erschlossene Forschungsfeld dient HistorikerInnen als Experimentierfeld für neue Fragen und Themen. Die identitätsstiftende Nationalisierung des Ereignisses findet, mit Ausnahme von Fernsehdokumentationen, keinerlei Anwendung mehr.

Umso interessanter, dass Johannes Fried die chronologischen Abläufe der Ereignisse rund um Canossa auf Grundlage kognitionswissenschaftlicher Forschungen und mithilfe eines Regelwerkes zur Kritik schriftlicher Überlieferung infrage stellte – und damit tatsächlich auch wieder für eine gewisse Zeit in den gesellschaftlichen und wissenschaftlichen Fokus beförderte. Laut Fried sei Heinrichs IV. Treffen mit Gregor VII. in Canossa keineswegs ein demütigendes Ereignis gewesen. Vielmehr hätten die beiden Kontrahenten einen im Voraus vorbereiteten Friedensvertrag geschlossen, der jedoch von der papstfeindlichen Opposition in Oberitalien und den königsfeindlichen Fürsten nördlich der Alpen zunichte gemacht worden sei. Fried begründet seine Neuinterpretation der Ereignisse einerseits mit den extrem widersprüchlichen Aussagen der von ihm gewählten Quellen, andererseits erstellt er mithilfe zuvor weniger berücksichtigter Quellen eine neue chronologische Abfolge der Ereignisse, an deren Ende ein gemeinsamer Friedenspakt steht. Nicht nur Tageszeitungen wie die *FAZ*, die *Süddeutsche Zeitung* und die *Welt* griffen Frieds These auf, auch andere HistorikerInnen reagierten und widersprachen Fried vehement. Hauptkritikpunkte sind unter anderem die von Fried veranschlagten Reisezeiten, die Glaubwürdigkeit seiner Quellen, die fehlende Überlieferung des von Fried konstruierten Friedenspaktes sowie der Widerspruch zwischen überliefertem *Iusiurandum* und dem Fehlen des vermeintlichen Friedenspaktes. Sowohl Fried als auch seine Kritiker haben seitdem mehrfach ihre Meinung neu erörtert – die wissenschaftliche Debatte hält also an.

In unserer Auseinandersetzung mit Erlls Theorien und dem „Gang nach Canossa“ konnten jedoch sowohl die synchrone Pluralität als auch die diachrone Pluralität am historischen Beispiel zufriedenstellend nachvollzogen werden. Die Konsequenzen, die die HistorikerInnen daraus ziehen müssen, erscheinen ebenso banal wie ernüchternd: Jeder erinnert sich anders an ein Ereignis – sei es aufgrund der eigenen Sozialisation, der eigenen Position, der eigenen Absicht des Erinnerns oder schlicht aufgrund des Vergessens –, sodass wir die „Wahrheit“ nie werden re-konstruieren können. Keineswegs offensichtlich oder banal ist hingegen, dass wir als HistorikerInnen dennoch von der Analyse der Verformungen von Erinnerungen lernen können und dass sie großes Potential aufweisen, der „Wahrheit“ ein Stück näher zu kommen. Nur wenn wir uns bewusst sind, dass synchrone Pluralitäten existieren, können wir nämlich gegensätzliche Darstellungen entdecken, wahrnehmen und die Unterschiede herausarbeiten – und so neue Erkenntnisse gewinnen. Nur wenn wir uns bewusst sind, dass sich Wahrnehmungen und Erinnerungen mit der Zeit verändern – wir es also sehr wahrscheinlich mit diachroner Pluralität zu tun haben – können wir diese Veränderung wahrnehmen und nutzbar machen.

### Quellen und Literatur:

- Berthold von REICHENAU: *Chronik*, hg. von Ian Stuart ROBINSON, übers. von DEMS. und Helga ROBINSON-HAMMERSTEIN, in: *Bertholds und Bernolds Chroniken* (Ausgewählte Quellen zur deutschen Geschichte des Mittelalters, Freiherr vom Stein-Gedächtnisausgabe, Bd. 14), Darmstadt 2002, S. 35-277.

- *Das Leben Kaiser Heinrichs IV.*, hg. von Rudolf BUCHNER u.a., übers. von Irene SCHMALE-OTT, in: *Quellen zu Geschichte Kaiser Heinrichs IV.* (Ausgewählte Quellen zur deutschen Geschichte des Mittelalters, Freiherr vom Stein-Gedächtnisausgabe, Bd. 12), Darmstadt 1963, S. 407-467.
- *Iusiurandum Heinrici regis Teutonicorum*, hg. und übers. von Franz-Josef SCHMALE, *Ausgewählte Briefe Papst Gregors VII.*, in: *Quellen zum Investiturstreit*, Bd. 1 (Ausgewählte Quellen zur deutschen Geschichte des Mittelalters, Freiherr vom Stein-Gedächtnisausgabe, Bd. 12a), Darmstadt 1987, S. 244f., Nr. 78.
- Lampert von HERSFELD: *Annalen*, übers. von Adolf SCHMIDT, erläutert von Wolfgang Dietrich FRITZ und hg. von Franz-Josef SCHMALE (Ausgewählte Quellen zur deutschen Geschichte des Mittelalters, Freiherr vom Stein-Gedächtnisausgabe, Bd. 13), Darmstadt 1985.
- Astrid ERLI: *Kollektives Gedächtnis und Erinnerungskulturen. Eine Einführung*, Weimar 2005.
- Johannes FRIED: *Noch einmal Canossa. Aufzeichnungen statt einer Antwort an Patrick Bahners*, Frankfurt 2015, <http://www.geschichte.uni-frankfurt.de/58989237/Canossa-Auseinandersetzungmitden-Gegnern.pdf> [21.11.2017]
- Johannes FRIED: *Canossa. Entlarvung einer Legende. Eine Streitschrift*, Berlin 2012.
- Johannes FRIED: Der Pakt von Canossa. Schritte zur Wirklichkeit durch Erinnerungsanalyse, in: *Die Faszination der Papstgeschichte. Neue Zugänge zum frühen und hohen Mittelalter*, hg. von Wilfried HARTMANN und Klaus HERBERS (Forschungen zur Kaiser- und Papstgeschichte des Mittelalters. Beihefte zu J. F. Böhmer, Regesta Imperii, Bd. 28), Köln u.a. 2008, S. 133-197.

## 7.4 Erinnerungskultur im Zeitalter von Social Media

Miriam Gabenstatter, Louisa Schwarz & Fiona Lang

Innerhalb von nur 24 Stunden vereinte der ägyptische Internet-Aktivist Wael Ghonim 36.000 Mitglieder für eine gemeinsame Sache. Das ist eine Reichweite, von der manche Marketingstrategen nur träumen können. Gemeinsam hatte die immer größer werdende ägyptische Netzgemeinde 2011 ein Ziel: Korruption und Staatswillkür beseitigen und ein freies Ägypten für jeden schaffen. Doch fünf Jahre später äußerte Ghonim bei einem TED-Talk in Genf: „I once said, if you want to liberate a society, all you need is the internet – I was wrong“ (Ghonim 00:12). Was führte zu diesem Meinungswandel?

Mit Hilfe von Jan Assmanns Theorien haben wir uns in unserer Sitzung damit beschäftigt, wie Gruppenzugehörigkeit konstituiert wird und welchen Einfluss Social Media auf diesen Prozess nehmen. Insbesondere haben wir die Bedeutung von Social Media im Arabischen Frühling thematisiert. Eine Schwierigkeit hierbei war unser fehlender Erfahrungsschatz über die Funktionsweise von Gruppenzugehörigkeitsprozessen vor Social Media. Assmann spricht von *kollektiven Gedächtnissen*, welche sich in unterschiedlicher Gewichtung aus den *kulturellen* und *kommunikativen Gedächtnissen* zusammensetzen. Aus dem *Kollektivgedächtnis* beziehe eine Gruppe Informationen über ihre Identität. Durch diese Informationen bilde sich das Bewusstsein, welches Wissen, welche Eigenarten und Eigenschaften für das Individuum auszeichnend und prägend seien (Assmann 9-19). Das *kulturelle Gedächtnis* sei gerade durch seine „Fixpunkte“ alltagsfern, weil es nicht mit dem

fortschreitenden Gegenwartspunkt mitschreite. „Erinnerungsfiguren“ sind laut Assmann gravierende, vergangene Ereignisse (Fixpunkte), die durch kulturelle Formungen (Texte, Riten, Denkmäler) und institutionalisierte Kommunikation (Rezitation, Begehung, Betrachtung) konserviert wurden und werden (12-13). Die von uns untersuchte Wirkung von Social Media setzt vor allem im Bereich des *kommunikativen Gedächtnisses* ein. Das *kommunikative Gedächtnis* beruht auf Alltagskommunikation und beinhaltet sehr alltagsnahe Elemente (10-11). Üblicherweise findet sie auf unspezialisierte und unorganisierte Weise als Austausch über zuvor nicht festgelegte Themen statt. Die beteiligten Partner können dabei im Laufe des Gespräches die Rollen des Erzählers und des Zuhörers tauschen. Dadurch erlangt man auch Zugang zu kollektiven Gedächtnissen außerhalb der eigenen Kultur. Verschiedene Anlässe können diese Alltagskommunikation mit einem gewissen Grad von Vorstrukturiertheit versehen und den Gesprächsablauf regulieren – der Rest zeichnet sich durch Ungeformtheit, Beliebigkeit und Unorganisiertheit aus (12).

Social Media sorgen in diesem Bereich dafür, dass der Gesprächspartner auch einer örtlich entfernten Gemeinschaft angehören kann, mit welchem die Kommunikation andernfalls gar nicht oder nur schleppend funktionieren würde. Dass sie weiterhin eigene „Gesprächsanlässe“ und damit Strukturierungen schaffen, lässt sich auf Social Media-Plattformen gut beobachten: Das strukturierende Moment ist hier auf den unterschiedlichen Websites und Kanälen zu finden, über die man in ganz spezifischer Weise interagiert und kommuniziert – auf Twitter dominiert die Begrenzung von 140 Zeichen, auf Instagram muss ein Beitrag in Bildform erfolgen, WhatsApp hat eher Gesprächscharakter. Außerdem entwickeln sich plattformspezifische Jargons.

Der Zeithorizont des kommunikativen Gedächtnisses ist laut Assmann beschränkt auf eine Zeitspanne von drei bis vier Generationen, was etwa 80 bis allerhöchstens 100 Jahren entspricht. Hierfür gibt es keine historischen Fixpunkte, stattdessen wandert das Bewusstsein an fortschreitenden Gegenwartspunkten mit und ist somit nicht an eine sich ausdehnende Vergangenheit gebunden. Die zeitliche Beschränkung des Gedächtnisses wird durch Social Media ansatzweise aufgehoben, da alle Äußerungen nicht nur gespeichert werden (das galt ja auch schon für die Print-Ära vor Social Media), sondern vor allem überall und von jedem schnell erneut aufrufbar sind. Man könnte meinen, so könnten auch später in einen Kommunikationskreis hinstoßende Personen leichter und schneller involviert werden.

Allerdings muss hier auch beachtet werden, dass die in der technischen Basis von Social Media verwendeten Algorithmen die Relevanz der Beiträge (Posts) bewerten – auch gerade im Hinblick auf die Interessen des Nutzers. So werden manche Posts gar nicht oder erst nach verstärktem Suchen angezeigt. Diese Posts sind dann zwar nicht vergessen, in gewisser Weise aber dennoch zeitlich beschränkt, da sie ab einem bestimmten Zeitpunkt nicht mehr als bedeutungsvoll eingestuft werden.

Nichtsdestotrotz beschleunigen, pluralisieren und globalisieren die Veränderungen, die Social Media mit sich bringen, die Mechanismen des kommunikativen Gedächtnisses und somit auch Teile des *kollektiven Gedächtnisses*. Dies lässt sich zum einen als Chance werten, da größere Reichweiten erzielt und Menschenmassen schneller mobilisiert werden können. Zum anderen lassen sich diese Entwicklungen aber auch missbrauchen, da konträre Ansichten schneller polarisieren und somit Angriffsfläche für politische Zwecke bieten. In einer Gesellschaft können Social Media auf diese Weise vom verbindenden zum trennenden Element werden. Genau das war online

im Arabischen Frühling zu beobachten, und deshalb zog sich Ghonim auch aus der Arbeit als Internet-Aktivist zurück.

Ghonim stellt die Gründe dafür indirekt dar, wenn er in seinem TED-Talk von 2015 fünf Herausforderungen von Social Media beschreibt, die er aus seinen Erfahrungen im Arabischen Frühling bezieht. Wir haben uns diese Herausforderungen in unserer Sitzung genauer angesehen und mit unseren alltäglichen Web-Erfahrungen verglichen.

Die erste Herausforderung besteht in der Gefahr, dass Gerüchte oder auch *fake news* über Social Media verbreitet werden und eine große Reichweite erlangen (Ghonim 08:30). Im Arabischen Frühling wurden sehr viele Gerüchte verbreitet, und die – damals wie heute größtenteils noch sehr – korrupten Regierungen nutzten immer wieder das internationale Interesse an Gewalttaten in der Region für Falschmeldungen aus. Auch in unserem Web-Alltag werden viele Gerüchte verbreitet. Als Beispiel hierfür sprachen wir über die voreilige Meldung von einem Terroranschlag in München im Jahr 2016, welcher sich schließlich als Amoklauf eines Schülers herausstellte. Trotzdem sprachen über 50.000 Tweets auf Twitter von einem islamistischen Terroranschlag, was in München große Panik auslöste. Ein eher alltägliches Beispiel bieten demgegenüber die inzwischen regelmäßig auftretenden *fake news* von und über Donald Trump.

Die zweite Herausforderung stellen für Ghonim die sogenannten *echo chambers* dar (08:42). Dies sind virtuelle Räume, deren Entstehung auf verschiedene Weise beschrieben werden kann: Zum einen ist jeder, der Social Media nutzt, dazu aufgefordert, anderen Personen zu „folgen“, sie zu „ liken“ oder auch zu „blockieren“. Dies erzeugt zusammenhängende Netzwerke von Menschen (und anderen Meinungsbildnern), aus denen gezielt andere ausgeschlossen werden können. Zum anderen werten Algorithmen von Google, Facebook und anderen Social Media die Vorlieben von Personen aus und schlagen auf Basis der Informationen dann neue Seiten oder Online-Ressourcen vor. So werden dem einzelnen Nutzer immer wieder nur solche Meinungen und Interessen angeboten, die den eigenen Vorlieben und Meinungen entsprechen. Dadurch wird aber lediglich die eigene Sicht auf die Dinge widergespiegelt und verstärkt, was den Menschen einerseits Selbstbestätigung verschafft, andererseits werden neue oder gar widersprüchliche Perspektiven gar nicht als interessenrelevant eingestuft und dementsprechend nicht angezeigt. Dieses Phänomen können wir in unserem Alltag sehr gut beobachten: Politisch interessierte Leute surfen meist nur auf Seiten, die eine Verbindung zu der von ihnen bevorzugten Partei haben und tauschen sich oft auch nur in partei- oder ideologienahen Foren aus. In diesen *echo chambers* sind selten andere politische Meinungen vertreten, und die Menschen bekommen somit nur eine einseitige Sichtweise vermittelt. Im Arabischen Frühling wurden die *echo chambers* zur Organisation von Protesten und zur Erzeugung eines Gefühls von Gruppenzugehörigkeit, genauso aber auch zur Verbreitung von Hassreden genutzt. Die Meinungen in den voneinander getrennten *echo chambers* blieben immer gleich, gegnerische Positionen wurden weder wahrgenommen noch verbreitet, geschweige denn toleriert.

Die dritte Herausforderung besteht darin, dass im Internet die Hemmschwelle von Menschen sinkt, was dazu führt, dass sie sich leichter beschimpfen und soziale Gesprächsregeln missachten (08:58). Viele wähen sich in Anonymität und denken nicht an die Gefühle anderer Personen. Diesen Umstand kann man in unserem Alltag genauso wie im Arabischen Frühling beobachten. Aber das Internet vergisst nicht: Einmal ins Netz gestellte Beiträge werden schnell zu Meinungen,

auf 140 Zeichen heruntergebrochen. Die Kurzweiligkeit von Tweets und anderen Kurznachrichten hält uns nicht dazu an, unsere Meinung zu reflektieren oder sogar zu ändern. Stattdessen spornt das Aufmerksamkeits- und Belohnungssystem des Social Web zu einer Jagd nach Anerkennung durch Likes und Klickzahlen an.

Die fünfte Herausforderung ist für Ghonim der kritischste Punkt: Statt miteinander in einen direkten Austausch zu treten und sich politisch zu engagieren, bewegen sich die Mitglieder der „Netzgemeinde“ viel zu gerne nur in den eigenen *echo chambers* und verlassen den eigenen kommunikativen Komfortbereich kaum noch (09:13-09:39).

Für Ghonims fünf Herausforderungen konnten wir also nicht nur Entsprechungen im Arabischen Frühling, sondern auch in unserem eigenen Web-Alltag beobachten. Aus der Untersuchung zogen wir unsere eigenen Schlüsse: Social Media vereinen uns im „globalen Dorf“, aber sie können auch die Spaltung von Gemeinschaften unterstützen. Sie verknüpfen unsere alltägliche Welt mit „anderen“ Welten, die uns sehr weit weg und fremd erscheinen können, obwohl sie doch oft so nah sind. Social Media bieten (virtuelle) Zugriffe auf Ereignisse und Erfahrungen, an denen wir physisch nicht selbst beteiligt waren – entweder in Sekundenschnelle oder noch Jahre später, weil die Inhalte beliebig abgerufen werden können. All dies macht Social Media zu einem mächtigen Werkzeug zur Schaffung von Gruppenzugehörigkeiten – und zu einem relevanten Faktor in der Entwicklung unseres *kollektiven Gedächtnisses*. Assmanns bekannte Theorien, so haben wir erfahren, lassen sich also durchaus im Bereich von Social Media weiterdenken. Jetzt wäre im Gegenzug zu fragen, ob und wie die veränderten Kommunikationsmuster einer Gesellschaft in Zeiten von Social Media auf die Entwicklung des *kollektiven Gedächtnisses* Einfluss nehmen.

### Quellen und Literatur:

- Wael GHONIM: Let's design social media that drives real change, in: *TED Talks*, Dez. 2015, [https://www.ted.com/talks/wael\\_ghonim\\_let\\_s\\_design\\_social\\_media\\_that\\_drives\\_real\\_change](https://www.ted.com/talks/wael_ghonim_let_s_design_social_media_that_drives_real_change) [21.11.2017]
- Jan ASSMANN: Kollektives Gedächtnis und kulturelle Identität, in: *Kultur und Gedächtnis*, hg. von J.A. / Tonio HÖLSCHER, Frankfurt 1988, S. 9-19.
- Elena EPISTO: Die Formen des Web-Gedächtnisses. Medien und soziales Gedächtnis, in: *Formen und Funktionen sozialen Erinnerns. Sozial- und Kulturwissenschaftliche Analysen*, hg. von René LEHMANN / Florian ÖCHSNER / Gerd SEBALD, Wiesbaden 2013, S. 96-100.

## 7.5 Diskursanalyse in der Geschichte

Julia Damrath, Erik Walter & Moritz Gleditzsch

*Alles ist Diskurs. Diskurse existieren nicht.* Das sind zwei nur scheinbar nicht miteinander vereinbare Sätze. Tatsächlich existieren Diskurse nicht wirklich, aber als ein wissenschaftliches Denkmodell ermöglichen sie es uns, die Strukturen von (heutigen und vergangenen) Gesellschaften zu untersuchen, auf die wir ohne die Denkfigur des Diskurses überhaupt keinen Zugriff hätten.

Diskurse prägen unbewusst das Leben eines jeden. Kommunikation mit anderen kann nur innerhalb von Diskursen stattfinden, da diese alle Handlungs- und Kommunikationsmöglichkeiten des Menschen mit einbeziehen und den Rahmen des Äußerbaren festlegen. Wissen, welches an die Formen der Äußerung – wie Sprache oder Bilder – zur Vermittlung gebunden ist, wird über Diskurse erzeugt und weiterverbreitet. Es baut sich dabei eine Wechselwirkung auf: Durch Wissen entsteht Macht, Macht wiederum hat einen großen Einfluss auf Wissen und dessen Vermittlung. Diese beiden Größen, Wissen und Macht, stehen somit in ständiger Wechselwirkung zueinander, sie sind interdependent.

Die Diskursanalyse will diese (oft unbewussten) Diskurse sichtbar und untersuchbar machen. Das Vorgehen der Diskursanalyse ist ein mehrstufiger Prozess, in welchem aus Quellen *Äußerungen* herausgearbeitet werden, von welchen auf *Aussagen* geschlossen wird, die zusammenhängend *diskursive Felder* bilden. Wir haben versucht diesen Prozess nachzuvollziehen, indem wir ihn selbst durchlaufen haben. Wir begannen damit, eine Quellensammlung zum Thema „Wohnen und Zusammenleben im Zeitraum von 1965 bis 1975“ zusammenzutragen, die wir während unserer Arbeit fortwährend erweitert haben. Im nächsten Schritt arbeiteten wir die in unserer Quellensammlung vorkommenden Äußerungen heraus. Äußerungen sind konkrete Kommunikation in jeder denkbaren Form. Ein Text, ein Bild, eine Handlung, eine Praktik sind nur einige Beispiele für mögliche Quellen als Träger von Äußerungen. Deutlich wird, dass die Form der Äußerung nicht auf Sprache im engeren Sinn begrenzt ist.

Die damit bestehende Offenheit und Flexibilität für die Art und Form der Quellen stellt eine besondere Stärke, aber zugleich auch eine Herausforderung der Diskursanalyse dar. Die bei der Quellensichtung vorgenommene Beschränkung der singulären Quellen auf singuläre Äußerungen unterscheidet sich von einer historistischen Arbeitsweise im Wesentlichen dadurch, dass die Annahme einer objektiven Deutung von Quellen abgelehnt wird. Jeder Rezipient erfasst andere Aspekte der Quellen und zieht für sich damit andere Äußerungen aus den Quellen, sodass sich diese zum Teil stark unterscheiden können. Die aus dem Ausgangsmaterial der Quellen herausgearbeiteten Äußerungen haben also immer subjektiven Charakter – ein Phänomen, das wir auch in der gemeinsamen Arbeit während unserer Sitzung beobachten konnten: Beim gemeinsamen Sichten des von uns zusammengetragenen Quellenmaterials wurden von uns sehr unterschiedliche Äußerungen „erkannt“.

Während der Arbeit mit der Quellensammlung zeichneten sich dennoch Äußerungen ab, die sich wiederholten und von verschiedenen Positionen im Diskurs getätigt wurden. Wiederkehrende Äußerungen nennt man Aussagen. Auch wenn es keine allgemein gültige Regel dafür zu geben scheint, wie umfassend der einer Diskursanalyse zugrunde liegende Quellenkorpus sein sollte, stellten wir im Rahmen unserer Untersuchungen fest, dass wir nur ansatzweise von den festgestellten Äußerungen auf mögliche Aussagen schließen konnten, da sich die von uns erstellte Quellensammlung nicht als umfassend genug herausstellte, um unseren Anspruch auf (allgemeine) Gültigkeit zu befriedigen.

Dies hängt damit zusammen, dass die Auswertung der Quellen zwar notwendigerweise subjektiv, nicht jedoch willkürlich ist; sie ist auf regelmäßig wiederkehrende Äußerungen angewiesen. Ähnlich einem Gerichtsprozess, der sich nicht auf Beweise, sondern auf Indizien stützt, bleibt auch die Diskursanalyse endgültige „Beweise“ schuldig. Statt sich auf einzelne Quellen stützen

zu können, muss sie ihre Wertigkeit über das Zusammentragen einer Vielzahl von Äußerungen erbringen, die jede für sich genommen nichts aussagen könnten. In einer höheren Quantität verdichten sich diese Äußerungen jedoch zu Aussagen – erst recht, wenn sie aus einer Vielzahl von unterschiedlichen Quellen hervorgehen. Diese Aussagen stellen somit wiederum einen weiteren Interpretationsschritt dar.

Unsere eigenen Untersuchungen innerhalb der Sitzung mussten wir an dieser Stelle abbrechen, doch würden bei einer vollständigen Diskursanalyse noch weitere Schritte folgen: Aus den festgestellten Aussagen ließe sich auf die verschiedenen diskursiven Felder mit ihren jeweiligen Formationsregeln schließen, die wiederum Rückschlüsse auf den Gesamtdiskurs und damit auf die Wissens- und Machtstrukturen des untersuchten Zeitraums zuließen.

Was als ein Diskurs identifiziert wird, hängt also stark von der Perspektive des Untersuchenden ab. Diese aber wird aufgebaut (und damit beschränkt) durch die diskursiven Felder, in denen sich der Untersuchende selbst befindet! Jeder einzelne bewegt sich innerhalb einer unübersehbaren Zahl an diskursiven Feldern, die mit allen Bereichen des Wahrgenommenen die eigene, persönliche Wirklichkeit bilden. So können Diskurse über eine gesellschaftliche Orientierung genauso die eigene Perspektive beeinflussen wie Diskurse über Lieblingstiere oder das Lieblingseis. Jeder bringt bei der Untersuchung eines Diskurses der Vergangenheit seine eigenen, gegenwärtigen diskursiven Felder mit ein und nimmt den untersuchten Diskurs aus seiner Sichtweise wahr – also aus seinem Diskurs heraus. Diese Perspektivierung beginnt nicht erst bei der Rekonstruktion eines Diskurses, sondern bereits bei der Auswahl und Erarbeitung der Äußerungen aus den Quellen. Egal ob Bild oder Text: die Äußerungen der Quelle können nur in Form von Äußerungen von uns über die Äußerungen der Quelle in der Gegenwart betrachtet werden. Wie uns in unserer gemeinsamen Arbeit auffiel, bedeutet dies, dass die einzelnen Untersuchungsphasen nicht strikt voneinander getrennt werden können, sondern ebenso wie Diskurs und Subjekt in einer ständigen Wechselwirkung stehen.

Zwischen den unterschiedlichen Akteuren innerhalb des Diskurses entfalten sich also die sogenannten diskursiven Felder, die man als eine Art von Netzwerken verstehen kann, in denen sich spezifische Wahrheiten herausbilden. Diese diskursiven Felder können mehr oder weniger stark Einfluss auf den gesamtgesellschaftlichen Diskurs haben und sogar zueinander im Widerspruch stehen. Innerhalb eines diskursiven Feldes können wiederum verschiedene gegeneinander stehende Aussagen existieren, die zueinander in Konkurrenz stehen.

Diese Art von internem Machtkampf im diskursiven Feld wirkt sich aber auch auf die Interaktion mit anderen diskursiven Feldern aus, die jeweils ihren eigenen Formationsregeln folgen. Im Alltag sind Äußerungen wie „Das kannst du doch nicht sagen!“ oder „Auf so ein Gespräch lasse ich mich nicht ein!“ Indikatoren dafür, dass es möglicherweise einen Rückzug in das eigene Feld gegeben hat; die Bereitschaft für die Auseinandersetzung mit einer „anderen Wahrheit“ ist kaum vorhanden. Dadurch, dass die eigene Meinung im Diskurs weiterhin unterstützt wird, besteht allerdings auch nicht die Bereitschaft, das eigene diskursive Feld anzupassen. Dieses ist schließlich für einen selbst „wahr“. Im Laufe der Zeit kann es zu einer diskursiven Abschottung kommen, bei der sich die Akteure in ihr eigenes diskursives Feld zurückziehen.

Dieses Phänomen haben wir anhand eines besonders eindringlichen Beispiels untersucht: der Kommentarspalte von tagesschau.de zur Berichterstattung über die Vorfälle in Schorndorf im

Juli, kurz vor der Schülerakademie, bei denen es auf einem Volksfest zu massenhaften Übergriffen auf Polizei und Frauen gekommen sein sollte. Hier waren recht deutlich zwei klar voneinander getrennte Lager von Kommentierenden auszumachen, die sich sowohl in ihrer Interpretation der Ereignisse als auch in ihrer Wortwahl stark unterschieden. Frappierend war besonders, dass sich die dort Schreibenden in ihren Ausführungen zwar oft aufeinander bezogen, aber nicht miteinander kommunizierten. Wir sahen ein Paradebeispiel dafür, dass die Regeln und Wahrheiten der beiden Gruppen sich offenbar nicht mehr miteinander in Einklang bringen ließen.

Was das letzte Beispiel deutlich macht, war natürlich schon lange abzusehen: Die Denkfigur und das Modell des Diskurses ermöglicht uns nicht nur, Strukturen *vergänger* Gesellschaften besser zu verstehen, sondern hilft uns auch, Erklärungen für *gegenwärtige* gesellschaftliche Phänomene zu finden.

### Quellen und Literatur:

- Ihre Meinung zu: Der kurze Weg von Schorndorf nach Köln, in: *meta.tagesschau.de*, 18.7.2017, <https://meta.tagesschau.de/id/125337/der-kurze-weg-von-schorndorf-nach-koeln> [21.11.2017]
- Achim LANDWEHR: *Historische Diskursanalyse* (Historische Einführungen, Bd. 4), 2. Aufl., Frankfurt u.a. 2009, S. 60-79.

## 7.6 Die Macht der Narrative

Nele Dierlamm, Luchino Peiser & Nina Quandt

Worin besteht die Macht der Narrative? Egal, ob man die (bewusste oder unbewusste) Abgrenzung zu anderen Menschen und Kulturen, das Verbalisieren von Erinnerungen oder die sprachliche Teilhabe innerhalb eines Diskurses betrachtet – jede gedankliche Konstruktion und sprachliche Wiedergabe von Vergangenen ist gebunden an narrative Strukturen. Die Kunst des Narrativen, das Erzählen, ermächtigt HistorikerInnen dazu, den historischen Ereignissen neues Leben einzuhauchen. In diesem Zusammenhang bietet ihm die Sprache als sein wichtigstes und grundlegendes Werkzeug die Möglichkeit, die historischen Quellen zunächst zu verstehen, um das Verstandene dann darzustellen. Deswegen ist die „Darstellung der Vergangenheit immer eine Interpretation, die von Denk-, Sprach- und Lebensformen“ abhängt und von Ideen und Interessen geleitet wird (Todt 195).

Dass Geschichte als „vergegenwärtigte Vergangenheit“ nur über das subjektiv eingefärbte Medium Sprache *vermittelt* werden kann und dass diesem dadurch eine elementare Rolle in der *Entwicklung* der Geschichte zukommt, darauf haben einzelne HistorikerInnen immer wieder hingewiesen, ohne jedoch unter ihren KollegInnen auf allzu großen Widerhall zu stoßen – von einem Einfluss auf das öffentlichkeitswirksame Bild der Geschichtswissenschaft als kleinteilige Rekonstruktion von „Fakten“ ganz zu schweigen. In einem immer noch aktuellen Aufsatz von 1996 (der im Übrigen auf einem Vortrag vor Fachkollegen basiert) hat sich Johannes Fried dieses Themas

unter dem Titel „Wissenschaft und Phantasie“ angenommen. Da jeder sprachliche Akt stets individuelle Ausdeutungen und Interpretationen beinhaltet, so Fried, streift der Historiker [bei ihm stets männlich, darum hier beibehalten, aber sicher auch grundsätzlich für Historikerinnen gültig] ebenso wie der Rezipient zwangsläufig auch die „Gefilde der Phantasie“. Das wird manchmal sogar auf die Spitze getrieben, wenn eine fiktive Geschichte die Charakteristika von Epochen oder Strukturen besser wiedergibt als die Rekonstruktion des „wirklichen“ Geschehens. Das „Paradox der Geschichte“ liegt nach Fried darin, dass der forschende Historiker zum „sprachlichen Schöpfer der Welten“ wird, die er erforscht. Er forme die Geschichte, trotz der Gebundenheit an Quellen und Methoden, wie er will – ihm bleiben, so Fried, die Unendlichkeit der Perspektiven, seine Verwendung der Sprache und seine Einbindung in den Diskurszusammenhang seiner Gegenwart. Je nachdem, welche Geschichte der Historiker erzählen möchte, wählt er seine verfügbaren Fakten aus, ordnet sie und strukturiert so seine Geschichte. Der „Historiker ‚erfindet‘ jedoch keine Geschichten, stattdessen fügt er Ereignisse, die in Texten überliefert sind, in Geschichten ein.“ (295 ff.) Diese Rückbindung an historische Quellen unterscheidet Aussagen über Geschehenes von reiner Fiktion. Geschichte ist aber keineswegs frei von diesen fiktiven Elementen (vgl. hierzu auch Baberowski 208), denn die einzelnen historischen Fakten sprechen nicht für sich selbst; sie allein bilden keine Geschichte. Jegliche historische Erkenntnis ist der Phantasie ausgeliefert: sowohl in Bezug auf die einzelnen Quellen, die jeweils nur die Erinnerung an ein Geschehen festhalten und nicht das Geschehene selbst, als auch im Hinblick auf den Raum zwischen den einzelnen Fakten, den es vom Historiker sinnstiftend zu füllen gilt. Auch nach Hayden White macht nur der Gesamtzusammenhang einer Folge von historischen Fakten die Kohärenz einer Geschichte aus; notwendig sei dafür, dass diese Fakten narrativ auf die Erfordernisse der Geschichtsform zugeschnitten werden (Todt 194). Der Historiker „verleiht dem fremden Geschehen der Vergangenheit eine vertraute Struktur“, indem er es uns verständlich erzählt. Historische Erzählungen – als Modelle für die Erklärung vergangener Ereignisse und für die Erzähltraditionen, in denen etwas mitgeteilt wird – vermögen, der Vergangenheit einen uns verständlichen Sinn zu geben (Baberowski 209).

Der Historiker wählt somit die für sein Narrativ relevanten historischen Fakten aus, ordnet sie, bringt sie mit Hilfe von Verknüpfungen in eine verständliche Reihenfolge und versprachlicht sie, sodass sie im entstehenden Narrativ für das Verständnis des Rezipienten eine sinnvolle Wirkung haben können. Als SchülerInnen führte uns das schnell zu der Frage, inwieweit uns solche historischen Narrative auch in Schulbüchern begegnen. In Deutschland ist, wie in den meisten anderen demokratischen Ländern, ein pluralistisches, also ein aus vielen Deutungen zusammengesetztes Geschichtsbewusstsein der SchülerInnen das zentrale Ziel der Geschichtsdidaktik. Ziel des Geschichtsunterrichts ist es, historische Begebenheiten und Quellen mit einem kritischen und reflektierten Blick zu betrachten. Doch wie funktionieren Schulbücher in einem System, in dem sehr viel engere Spielräume von Interpretationen bestehen und Deutungshoheiten viel offensichtlicher mit Erzähltraditionen zusammenhängen und Machtstrukturen generieren? Wie sehen Geschichtsbücher aus, in denen unterschiedliche Narrative kaum vereinbar miteinander sind? Wir haben uns diesen Fragen durch die Beschäftigung mit einem Schulbuchprojekt aus Israel und Palästina angenähert.

Bis zur Jahrtausendwende waren in Israel und Palästina ausschließlich Schulbücher zu finden,

die entweder das israelische oder aber das palästinensische Narrativ der gemeinsamen und doch unterschiedlich wahrgenommenen Geschichte erzählen. Erste Bemühungen, diese strikte Trennung und die damit einhergehende Ignoranz und das Unwissen in Bezug auf das jeweils andere Narrativ zu lockern, wurden nach dem Abkommen von Oslo 1993 formuliert, das auf ein friedlicheres Miteinander von Israel und Palästina hinarbeitete. Diese Idee wurde vom *Peace Institute In the Middle East* (PRIME) aufgegriffen und in einem Schulbuch-Entwurf umgesetzt. Schnell wurde dabei klar, dass die Interpretation der Geschichte auf beiden Konfliktseiten so unterschiedlich ist, dass ein *gemeinsames* Erzählen schier unmöglich erschien. Dazu unterschieden sich die beiden Narrative – natürlich je nachdem welche der Konfliktparteien die Geschichte gerade erzählte – zu stark voneinander. Ein typisches Beispiel ist hierfür die Darstellung der Unabhängigkeit des Staates Israel – auf der einen Seite als Staatsgründung und auf der anderen Seite als *Nakba* (zu deutsch „Katastrophe“). Das PRIME entschloss sich daher dazu, keiner der konkurrierenden Erzählweisen Vorzug zu gewähren, sondern stattdessen *beide* innerhalb eines Schulbuches gleichberechtigt *nebeneinander* zu stellen.

Als besonderes Projekt der Friedensarbeit wurde das Schulbuch für die politische Bildungsarbeit auch ins Deutsche übersetzt, sodass wir die Unterschiede zwischen den beiden Erzählungen vergleichend betrachten konnten. Unser Interesse galt dabei vor allem der Frage, welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede die Narrative, trotz ihrer unterschiedlichen Deutung, hinsichtlich ihrer Struktur, ihrer sprachlichen Mittel und ihrer Wirkung bei uns Lesern hervorrufen. Durch die visuelle Gegenüberstellung der beiden Erzählungen in zwei nebeneinander liegenden Spalten erkennt man kleine (bis große) Unstimmigkeiten, Unterschiede in der Auswahl von Bild- und Zahlenmaterial, Betonungen oder auch Auslassungen, die dazu führen, dass die Illustration ein- und desselben historischen Sachverhalts unterschiedliche Narrative ausdrückt – und damit gleichzeitig immer wieder perpetuiert.

Das subjektive Erzählen geschieht in diesem Fall wohlgerne stets ohne die bewusste Absicht der Täuschung, denn beide Perspektiven sind Teil einer eigenen, subjektiven Wahrheit – oder auch eines Diskurses –, die durch unterschiedliche Narrative bestärkt und zu einem gewissen Grad auch bedingt werden. In unserer Abschlussdiskussion übertrugen wir diesen Sachverhalt dann auf Beispiele aus aktuellen Debatten des politischen Geschehens, ausgedrückt vor allem in den Social Media. Hierbei konzentrierten wir uns auf Fälle, in denen die Verwendung von Sprache bewusst zu Zwecken der Manipulation im Sinne einer politischen, ideologischen oder persönlichen Agenda eingesetzt wird. Auch hier konnten wir an aktuellen Beispielen die Macht der Narrative beobachten, indem wir analysierten, wie die bewusste Verwendung bestimmter Narrative zu Diskursverschiebungen führen kann und wie Sprache so letztlich Machtstrukturen beeinflusst.

### Quellen und Literatur:

- Beit JALLAH: *Das Historische Narrativ des Anderen kennen lernen - Palästinenser und Israelis*, hg. vom Peace Research Institute in the Middle East (PRIME), 2003, dt. Übers. von Antje BAUER, 2009, <http://friedenspaedagogik.de/blog/wp-content/uploads/2010/03/primetextbuch.pdf> [21.11.2017]
- Jörg BABEROWSKI: *Der Sinn der Geschichte. Geschichtstheorien von Hegel bis Foucault*, München 2005; Kap.11: Die literarische Wende oder das Ende der Geschichte, S. 204-235.

- Johannes FRIED: Wissenschaft und Phantasie. Das Beispiel der Geschichte, in: *Historische Zeitschrift* 263 (1996), S. 291-316.
- Sabine TODT: Linguistic turn, in: *Geschichte. Ein Grundkurs*, hg. v. Hans-Jürgen GOERTZ, 3. Aufl., Hamburg 2007, S. 178-198.

## 7.7 Objektivität in der Geschichtsschreibung – revisited

Natascha Janho, Julia Wirth & Peter Gorzolla

Fakten. Wahrheit. Objektivität. Alles Begriffe, deren Existenz und Gebrauch uns noch zu Beginn des Kurses selbstverständlich erschien. Doch nachdem wir schon in der ersten Sitzung keinerlei Beweise für deren tatsächliche Existenz hatten finden können, brachten die nächsten Tage uns noch mehr Unsicherheit in der Auseinandersetzung mit dem Anderen und dem Fremden, mit Erinnerungen und ihrer Verformung, mit Diskursen, Narrativen und anderen Begleiterscheinungen des *linguistic turn*. Immer mehr drängte sich die Frage in den Vordergrund, wie uns all diese neuen Erkenntnisse und Wege, die Welt in ihrer ganzen Komplexität zu betrachten, eigentlich in unserem Alltag helfen sollten.

In den Abschlussitzungen versuchten wir, die unterschiedlichen Fäden aufzugreifen und Ordnung in unsere Gedanken zu bringen. Wir begannen damit, unseren Unsicherheiten in Fragen Ausdruck zu verschaffen: Wenn sich bisher jeder Weg, Objektivität und klare Fakten herzustellen, als fehlerhaft erwiesen hatte, wie sollte es dann überhaupt noch möglich sein, sich ein Urteil über die Welt zu erlauben und klare Lösungen für Probleme zu finden? Wie war es zu rechtfertigen, sich für eine bestimmte Sache einzusetzen und eine andere zu verurteilen? In einer inszenierten Begegnung mit dem inzwischen verstorbenen Hohlwelt-Theoretiker und Youtube-„Star“ Dr. Axel Stoll wurde dem Kurs vor Augen geführt, dass es uns mithilfe der gelernten Argumente nicht einmal möglich war, einen offenkundigen Spinner seines Unfugs zu überführen, geschweige denn, ihn von unserer Position zu überzeugen. Wie sollte das erst mit ernstzunehmenden Gesprächspartnern werden, zum Beispiel mit Vertretern der intellektuellen Rechten?

Ein gutes Beispiel dafür bot uns der neokonservative Militärgeschichtler Victor D. Hanson, der in einem Artikel aus dem Januar des Jahres 2017 den „Nihilismus der akademischen Postmoderne“ und die „politische Agenda der linken Presse“ für das Phänomen *Fake News* verantwortlich macht. Unsere neu erworbenen Kenntnisse halfen uns dabei, seine Argumentation zu entschlüsseln, ließen uns aber mit der verunsichernden Gewissheit zurück, dass inzwischen eine Reihe von AkademikerInnen in den USA und Europa die analytischen Mittel der postmodernen Geisteswissenschaften gebrauchen (und missbrauchen), um eben diese einer „postfaktischen Beliebigkeit“ zu bezichtigen und als Ursache für den Verfall politischer Kultur und gesellschaftlicher Werte darzustellen.

So scharfzünftig die intellektuelle Rechte ihre kritischen Argumente vorträgt, so polemisch halten die Vertreter der „Postmoderne“ dagegen. Wir haben uns einen Aufsatz des Literaturwissenschaftlers und Juristen Stanley Fish aus dem August 2016 vorgenommen, in dem dieser wenig

höflich, aber sehr scharfsinnig die Position der modernen Geisteswissenschaften im öffentlichen Schlagabtausch mit den rechten Kritikern ausführt. Hier finden sich nicht nur die deutlich besseren Argumente, hier erkennen wir auch eine weitaus differenzierte Umgangsweise mit der Thematik – und vor allem mit der eigenen Position. Aufbauend auf genau jenen (von uns teilweise auch schon in den vorausgegangenen Sitzungen erarbeiteten) Ausdifferenzierungen solcher Begriffe wie Wahrheit, Fakten und Objektivität unternimmt Fish den Versuch, die gesamte Debatte und *beide* Positionen darin zu verstehen. Die (sozial, moralisch, ideologisch) „falschen“ Ansichten des jeweiligen Gegners werden in dessen Referenzrahmen (logisch sowie sinnstiftend) als „wahr“ angenommen und können selbstverständlich auch mit den dazu passenden „Fakten“ untermauert werden. Je elaborierter die Position, desto umfangreicher und tragfähiger kann dabei das Faktengebäude werden; das erkennen wir leicht an aktuellen wie vergangenen öffentlichen Debatten zu Themen wie Klimawandel, Abtreibung oder Datenschutz. Fakten, das wird damit nahegelegt, sind also nicht einfach da, sondern werden von Menschen *gemacht* – je nach Bedarfslage und vermehrt gerade in Konfliktsituationen.

Für uns waren die Auseinandersetzungen mit Hanson und Fish natürlich nicht gerade beruhigend. Zum einen wurde allen Beteiligten ganz deutlich, dass man nicht schon allein deshalb im Recht ist, weil man nach postmodernen Standards besser argumentieren kann – unser Bildungsniveau garantiert uns also weder fachlich noch moralisch irgendeine Überlegenheit. Das ist hart, denn es rührt an eine in gebildeten Milieus verbreitete Tendenz zur Selbstgerechtigkeit, die wir doch allzu gern lieber *nicht* vorgehalten bekommen möchten. Stattdessen müssen wir akzeptieren lernen, dass es durchaus eine „honest difference of opinion“ (Fish) – sowohl zwischen ähnlichen wie zwischen konträren Standpunkten – geben kann, wenn wir uns auf eine ehrliche Debatte einlassen wollen.

Nun stellt sich die Frage, was das jetzt konkret für uns und für unseren alltäglichen Umgang mit anderen Positionen, mit Fake News, Stammtischgeschwätz oder linken/rechten Parolen bedeutet. Müssen wir selbst die weniger anspruchsvollen Vertreter dubioser, wenn nicht gar extrem(istisch)er Positionen ernst nehmen und akzeptieren? Nach dem Motto: „Du hast eine Meinung, ich habe eine Meinung, das sind zwei Meinungen, und keine ist besser als die andere...“ Nein, das bedeutet es natürlich nicht – aber um das zu klären, müssen wir die ganzen Fäden noch einmal aufnehmen und von einer anderen Perspektive betrachten.

#### Literatur:

- Stanley FISH: Don't Blame Nietzsche for Donald Trump, in: *Foreign Policy*, 9.8.2016, <http://foreignpolicy.com/2016/08/09/dont-blame-nietzsche-for-donald-trump> [4.12.2017]
- Victor Davis HANSON: Fake News: Postmodernism By Another Name, in: *Defining Ideas*, 26.01.2017, <https://www.hoover.org/research/fake-news-postmodernism-another-name> [4.12.2017]

## 7.8 Geschichte verstehen in einer postmodernen Welt

Julia Wirth & Peter Gorzolla

Machen wir uns nichts vor: Die Analyseverfahren, Modellbildungen und Erklärungsansätze der postmodernen Geisteswissenschaften sind nicht nur komplex, sie sind auch ziemlich kompliziert. Während das Komplizierte daran schon die Mehrheit der Bevölkerung vom Verständnis des geisteswissenschaftlichen Blicks auf die Welt abhält, verunsichert das Komplexe dieses Blicks oft selbst jene, die die notwendigen Bildungsvoraussetzungen mitbringen und sich der Mühe unterzogen haben, sich einen Zugang zu postmodernen Theorien und Methoden zu erarbeiten. Diese Verunsicherung haben auch unsere SchülerInnen deutlich gespürt, wenn wir Sitzung um Sitzung eine scheinbare Gewissheit nach der anderen dekonstruiert und damit ein gewohntes argumentatives Gebäude aus Fakten, Wahrheiten und Kausalitäten demontiert haben.

Wir könnten uns auf den Standpunkt zurückziehen, dass diese Verunsicherung ein notwendiger Schritt auf dem Weg zur Aufklärung ist – erst gingen wir durch die Dekonstruktion des bloß Geglaubten, dann ermöglichten wir das Verstehen um die Konstruktion des Tatsächlichen, um schließlich das Wissen um die Konstruktionsbedingungen und damit die Möglichkeitsräume unserer Wirklichkeit in den Mittelpunkt zu stellen. Am Ende geht es doch nicht um weniger, sondern um mehr Erklärungsmacht, die uns die neuen, kritischen Ansätze bringen! Wir würden damit aber außer Acht lassen, dass die Verunsicherung über die Fähigkeit der postmodernen Geisteswissenschaften, valide Aussagen über unsere Welt zu treffen, von interessierten Parteien bewusst genährt wird. Einigen gesellschaftlichen AkteurInnen ist offenbar an einer gezielten öffentlichen Diskreditierung der akademischen Wissenschaften und ihres kritisch-aufklärerischen Potentials gelegen. Absichtlich oder unabsichtlich – die öffentliche Debatte um die Postmoderne, um Fake News und wissenschaftliche Wahrheiten ist voller Fehlvorstellungen, Halbwahrheiten und Irrtümer, die den Weg zur Erkenntnis verstellen.

So ist etwa der „Nihilismus“, den rechte Intellektuelle wie Hanson (siehe → *Objektivität in der Geschichtsschreibung – revisited*) der postmodernen Wissenschaft vorwerfen, insofern zutreffend, als diese selbstverständlich die Möglichkeit der *einen objektiven* Wahrheit verneint. Das ist „Nihilismus“ im eigentlichen Wortsinn – und schon ziemlich lange *common sense* in praktisch allen Wissenschaften. Der Gebrauch des Begriffs „Nihilismus“ impliziert jedoch mehr. Hier regiert eine Mischung von Bildern von russischen Sozialrevolutionären, die sich selbst so bezeichneten zusammen und diffusen, umgangssprachlichen Vorstellungen von der Ablehnung von Wahrheit im Allgemeinen. Tatsächlich ist das Gegenteil der Fall: Nicht die Abschaffung der Wahrheit war das Thema in unseren Sitzungen (siehe hier vor allem → *Alterität*), sondern die durchaus nicht angenehme Erkenntnis der (parallelen) Existenz verschiedener, subjektiver Wahrheiten.

Die Herrschaft der Subjektivität wiederum bedeutet auch keine „postfaktische Beliebigkeit“ von Aussagen oder Wahrheiten, wie es oft unterstellt wird, denn subjektive Wahrheiten sind keineswegs austauschbar. Stattdessen ist die konstatierte Subjektivität Zeichen für bestimmte situative Konfigurationen, so etwa für die Wirksamkeit partikularer Motive, kontextgebundener Deutungen und identitätsstiftender Tradierungen. Diese aber lassen sich rekonstruieren und auf ihre historischen Gebundenheiten zurückführen – so, wie wir das ausführlich in unserer Sitzung zu → *Erinnerungskultur im kollektiven Gedächtnis* getan haben.

Überhaupt ist Subjektivität als Erklärungsansatz viel zu kurz gegriffen – tatsächlich geht es vor allem um intersubjektive Prozesse. Diese sind komplex und dynamisch, sowohl bezüglich ihrer zeitlichen und räumlichen Definition als auch, was ihre soziale und personale Konfiguration betrifft. Die geisteswissenschaftlichen Modellbildungen können sich daher nicht mehr darauf beschränken zu beschreiben, was in einem gegebenen Moment *ist*, sondern müssen stärker die *Regeln* in den Blick nehmen, unter denen Veränderungen geschehen und Ergebnisse ausgehandelt werden. Wir haben uns in unserer Sitzung zur → *Diskursanalyse* an diesem Blick versucht.

Ein anderer Irrtum besteht in der Vorstellung, dass die „vielen Wahrheiten“ der Postmoderne unangreifbare Rückzugsräume für im besten Fall Belangloses (wie *Scripted Reality*), im schlimmsten Fall extremistische und menschenverachtende Positionen darstellen. Das ist natürlich absurd. Wenn wir die von Menschen im Rahmen von Sinnstiftungsprozessen als wahr *angenommenen* Aussagen als (deren) „Wahrheiten“ zu akzeptieren bereit sind, dann bleiben sie dennoch Produkte menschlichen Handelns. (Wir haben diese Sinnstiftungsproduktion ausführlich in unserer Sitzung zur → *Macht der Narrative* beleuchtet.) Damit unterliegen sie selbstverständlich weiterhin allen gesellschaftlichen und wissenschaftlichen Kontrollansprüchen für menschliches Handeln. Xenophobie und Rassismus lassen sich besser *erklären*, ihre Vertreter besser *verstehen*, wenn man diese Konzepte als gestiftete Wahrheit innerhalb einer *echo chamber* betrachtet – weder legitimiert diese Betrachtungsweise aber solche Konzepte noch erklärt sie diese zu einer guten Idee.

Mit *Scripted Reality* und den *echo chambers* sind wir schon bei unserer Sitzung zur → *Erinnerungskultur im Zeitalter von Social Media* angelangt. Die hier von uns erkannten Gebundenheiten und Beschränkungen der eigenen Kommunikationsräume sind zunächst einmal eine Feststellung – sie müssen keineswegs fatalistisch akzeptiert werden. Wie bei vielen anderen Erkenntnissen der postmodernen Geisteswissenschaften gilt, dass analytisches Verstehen und alltägliches Bewusstwerden nur die ersten (oft schweren) Schritte zur Verbesserung der Verhältnisse darstellen – und so weit konnten wir den Weg mit unseren SchülerInnen auf der Akademie auch gehen.

Die nächsten Schritte müssen nun darin bestehen, sich von diesen Gebundenheiten und Beschränkungen zu distanzieren und zu emanzipieren, um ein möglichst hohes Maß an Handlungsautonomie zu gewinnen. Ironischerweise scheitert dieses aufklärerische Ziel oft an dem notwendigen Schritt, zunächst die traditionell vermittelte Illusion von der personalen Autonomie eines stets kritisch-rationalen Menschen (der in unserer Kultur immer noch vorwiegend die Züge eines weißen Mittelschichts-Mannes trägt) loszulassen. Natürlich ist es verunsichernd, demgegenüber die eigenen Gebundenheiten und Beschränkungen aufgezeigt zu bekommen. Diese Verunsicherung überwindet aber nur, wer die tatsächlichen Gegebenheiten akzeptiert, die darin inbegriffenen Potentiale ausschöpft – und dann beginnt, die eigenen Grenzen zu erweitern, um am Ende die tatsächlichen Gegebenheiten zu *ändern*. Nicht vergessen: Geschichte wird gemacht. Das ist ein Fakt. It's true.

## 8 Musisch-kulturelle Kurse

### Ganzheitlich lernen und Feste feiern

#### Musisch-kulturelle Arbeit auf der Hessischen Schülerakademie für Oberstufe 2017

„Das ist keine Abschlusspräsentation, sondern unser Fest, das wir mit euch feiern möchten.“

So begrüßt, konnten Gäste beim Besuchernachmittag nach zwölf intensiven, inspirierenden Tagen einen kleinen Eindruck der besonderen Lernatmosphäre gewinnen und sogar ein bisschen mitfeiern. Das gesamte Team der Schülerakademie lud ein. Insbesondere die „teilnehmenden“ Schülerinnen und Schüler im Team zeigten, dass sie mit dem individuell Erlernten und gemeinsam Erarbeiteten selbst gestalten wollten. Vorfreude und ein bisschen Geheimniskrämerei kamen schon in der Vorbereitung des Festes auf. Die Fachkursvorstellungen bekamen dann durch Elemente, wie einen spontan aus der Burgküche organisierten „Arztkittel“ oder eine selbstgebaute, blinkende historische Objektivitätsmaschine, eine persönliche Note. Auch das Computerspiel des Informatikkurses lud den ganzen Nachmittag zum Ausprobieren ein. Bei der Theaterimprovisation, der Zugabe des Songs YMCA und einem Kontratanzflashmob wurden Angehörige und andere Gäste ausgelassen zum Mitmachen animiert. Sogar Geschenke fehlten nicht, denn der Mathematikkurs organisierte eine gemeinsame Bastelaktion, sodass sich Burg Fürsteneck und ihr Team über 1000 gefaltete Origamikraniche und den damit verbundenen Wünschen für ein langes Leben und Glück freuen konnten. Die Grundlagen für eine gute Feierstimmung, nämlich Kreativität, Gemeinschaft, Spontanität, Spaß und Spiel, waren also reichlich vorhanden.

#### *Ganzheitlich Lernen*

Feste sind auch ein guter Moment zum Zurückschauen. Dabei erkennt man, dass die besondere (und festliche) Atmosphäre über die Dauer der gesamten Akademie gewachsen ist. Die Grundlage bildet die Verbindung von wissenschaftlichem und musisch-kulturellem Arbeiten im Konzept der Akademien. Denn die zwei über die gesamte Zeit belegten musisch-kulturellen Kurse sind zusammen mit dem gewählten Fachkurs fester Bestandteil im persönlichen Tagesablauf.

In diesem Jahr wurde im **Studiochor** und bei der **Instrumentalmusik** quer durch die Musikgeschichte musiziert. Sowohl bei **Theaterimprovisation** als auch bei **Musikalischer Improvisation** wurde eigenen Impulsen vertraut und dabei Gemeinschaft und Achtsamkeit erlebt. Zusammenhänge zwischen Musik, Raum, Zeit und Bewegung konnten beim **Kontratanz** erfahren werden. Außerdem beschäftigten Sprache, Kultur und vor und mit Publikum agieren beim **Englisch Theatre** und im **Storytelling**. Erfahrungen im Bereich bildende Kunst konnten beim **Bühnenbild** und im Kurs **Malen, Zeichnen und Gestalten** gewonnen werden; und mal „genauer hinsehen“, konnte man auf ganz unterschiedliche Weise in den Kursen **Naturkunde** und **Fotografie**. Zusätzlich zu diesen regelmäßigen musisch-kulturellen Einheiten entstand vor allem im Plenumschor in den ersten beiden Akademietagen viel gemeinsame Energie über die Kursstrukturen hinaus. Denn während anfangs noch schüchtern mitgesungen wurde, wirkten ansteckende Ohrwürmer wie der diesjährige Akademiekanon „Morgen ins der Frühe“ schnell. Schon bald war auch über die Chorprobenzeit hinaus gemeinsames Singen mit vollem Körpereinsatz zu hören.

#### *Ich, Wir und Andere*

Feste feiern kann man nicht alleine. Zunächst brachten alle die eigenen Fähigkeiten und Erfahrungen mit in die musisch-kulturellen Kurse. Neu wahrgenommen und reflektiert wurden diese dann beim Auseinandersetzen mit Atemtechnik, Körperhaltung, Mimik, englischer Aussprache,

Maltechnik oder einem mitgebrachten oder ganz unbekanntem Instrument. Das machte neugierig und aufgeschlossen Neues auszuprobieren, um ein bisschen über sich hinauszuwachsen. Die Erkenntnis, dass Beobachter und Zuhörer genauso wichtiger Teil des Geschehens sind wie auffällige und laute Akteure, war dabei für viele ein Schlüsselerlebnis. Mit dieser Erfahrung in den Gruppen wurde dann viel gelöst und gemeinsam musiziert, gespielt und gestaltet. Gut aufeinander eingestimmt, verabredete man sich schon nach kurzer Zeit auch nochmal schnell zwischen Abendessen und Besprechung mit dem studentischen Betreuer zum Musizieren, Spielen oder Improvisieren. Kooperationen entstanden auch über die Kursgruppen hinaus.

Zusammenarbeiten von Bühnenbild und englischem Theater oder Instrumentalmusik und Kontratanz wurden schon in der Vorbereitung abgesprochen. Bei vielen anderen Aspekten der Kursgestaltung und Kooperationen setzten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer ganz eigene Akzente. Zum Beispiel fanden die Fotografierenden geeignete Motive in anderen Kursen. Der Kurs Malen, Zeichnen und Gestalten überredete gleich das gesamte Akademieteam zu 60-sekunden Porträts für eine wirkungsvolle Collage. Der Kontratanzkurs organisierte einen „Flashmob“, um einen besonders lustigen und eingängigen Tanz mit allen zu teilen. Eine ganz besondere Zusammenarbeit zwischen den beiden Hessischen Schülerakademien, war die Fertigstellung des in einem Wahlkurs auf der Mittelstufenakademie begonnenen Burgmodells. Dank Burg Fürsteneck als Inspirationsquelle und unter Anleitung von Rüdiger Kling fanden sich ganz außerhalb der Kurszeiten auch während der Oberstufenakademie viele freiwillige Helfer. Und auch viele andere Projekte inner- und außerhalb der Kurszeiten profitierten vom besonderen Veranstaltungsort. Die spannende Natur bot der Naturkunde reichlich Aufregendes zu entdecken und die drei Linden und die Torschänke wurden im Storytelling genutzt, um Stimmungseindrücke für eigene lyrische Zaubersprüche zu sammeln.

#### *Vom Bekannten ins Unbekannte*

Neben der Nutzung des Burggeländes selbst wurde in jedem Kurs mit ganz unterschiedlichen Materialien und Medien gearbeitet. Dabei kamen klassische Arbeitsmaterialien wie Papier und Stift zum Einsatz, aber auch die digitale und technische Welt war sinnvoll vertreten. Nach Einführung in die Funktionen der eigenen Kamera oder der Vorstellung einer Samplingmaschine in der musikalischen Improvisation experimentierten die neuen Experten mit eigenen Ideen. Im Informatikkurs konnten gleich fünf Schülerinnen das Zeichnen mit Grafiktablets kennenlernen. Die Nutzung digitaler Medien holte die Schülerinnen und Schüler in ihrer aktuellen Lebenswelt ab. Auch das Wiederentdecken von Vertrautem, wie bekannten Melodien und Akkordfolgen oder der Wachsmalkreide aus Grundschulzeiten, war ein guter Ausgangspunkt. Wenn diese Startpunkte erkannt und genutzt werden, entsteht Vertrauen für Unbekanntes und Experimente. Freude an Spontanität und Kreativität ist dann spürbar.

So wurde auch in diesem Jahr die gesamte Akademiezeit zu einem Erlebnis, das anders als der Alltag ist. Klar, dass da zum Abschluss ein Fest gefeiert wurde, denn Feste werden durch den Kontrast zum Alltag zu etwas Besonderem. Doch während man mit den Eindrücken des Abschlussfestes vielleicht ganz gut auf den Beitrag des Musischen zur Gesamtstimmung der diesjährigen Akademie zurückschauen kann, geben die Kurzberichte, Teilnehmerstimmen und Ergebnisse auf den folgenden Seiten sicher noch mehr Aufschluss über die Arbeit in den musisch-kulturellen Kursen.

## 8.1 Bühnenbild

mit Franziska Bank

Die Bretter, die die Welt bedeuten – was wären sie ohne einen farbenfrohen Hintergrund? Diesem Auftrag hat sich die mukK „Bühnenbild“ mit jeder Menge Power und kreativer Ideen angenommen. Dabei stand ein gemeinsames Lesen des Theaterstücks der English-Theatre-Gruppe am Anfang. Sofort sprudelten die Ideen, die wir schrittweise weiterentwickelten, bis die ersten Striche ihren Weg auf die von uns selbst zugeschnittenen Kulissen fanden. Von da an wurde flächendeckend in Acryl gearbeitet, aber auch blumige Collagen und sogar eine Würstchenkette wurden angefertigt. Stolz konnten wir dann, nach mehreren Probenbesuchen und enger Absprache mit den Mitwirkenden der English-Theatre-Gruppe, am Besuchernachmittag unsere Kunstwerke in Aktion oder besser „action“ sehen – eine tolle Erfahrung für uns alle.



## 8.2 English Theatre

mit Ingrid Baumann-Metzler

This year's play is called 'Let's have a party'. It's all about a last will an old lady is said to have made two years ago. In there she has bequeathed her complete fortune to her nurse attendant. But after the lady's death her lawyer found out that that will had been forged. Although the nurse attendant fights for her rights – as she said – to get the fortune she will lose in the end. The party will enlighten the complicated process of the case.

During the process of bringing this play to life we made an effort to present the single characters effectively. We improved very much and gradually got accustomed to each part. Finally, we were able to speak and act independently from our script.

We had great fun while choosing our costumes and playing in front of the painting for the scenes. Especially since these had been customised by another workshop for us. The workshop "English Theatre" was a great experience for us.

### 8.3 Fotografie

mit Alexander Dick

Fotos sind in unserer Gesellschaft allgegenwärtig und alltägliches Konsumgut. Durch Smartphones ist an jedem Ort und zu jeder Zeit schnell ein Schnappschuss gemacht und durch moderne Software direkt auf dem mobilen Gerät optimiert und mit zahlreichen Effekten versehen. Doch was macht ein gutes Foto aus? Wie bediene ich klassische Kameras richtig und erreiche es, dass das zu fotografierende Objekt auf dem fertigen Bild so aussieht, wie ich es gerne möchte? Sprich: Wie fotografiere ich bewusst und technisch fundiert, um aus einem flüchtigen Moment ein bildhaftes Zeugnis, eine überzeugende Aussage, zu machen?

Um diesen Zielsetzungen ein wenig näher zu kommen, haben wir uns in der Foto-mukK 2017 zunächst mit den Bedingungen der Optik und den technischen Grundlagen gängiger Modelle digitaler Spiegelreflexkameras beschäftigt. Dieses Grundlagenwissen galt es dann in Fotos umzuwandeln, die wir den Rubriken „Portrait“, „Landschaft“, „Architektur“, „Reportage“, „Menschen“ und „Stilleben“ zuordneten. Durch diese konkreten Fotografieaufträge waren wir nicht nur aufgefordert, uns mit ISO-Werten, Blendeinstellungen und Belichtungszeiten auseinander zu setzen, sondern wir lernten auch, ganz nebenbei, unserer Umgebung und unserem Gegenüber aufmerksamer zu begegnen und sie offeneren Auges zu sehen! Im Anschluss hieran beschäftigten wir uns mit Aspekten der Bildbearbeitungen, um unsere Bilder zu optimieren und ihnen letztlich den Schliff zu verleihen, welcher einer Fotografie (aus dem Altgriechischem treffend herzuleiten als „Zeichnung mit Licht“) zu einem Kunstwerk verhilft.

### 8.4 Instrumentalmusik

mit Rüdiger Kling und Wolfgang Metzler

Etliche Instrumente waren auf der Anmeldeliste für unseren Kreis genannt worden. Nicht alle Spielfähigkeiten wurden nachher auch wirklich realisiert; so war mehrfach Klavier vertreten, was erst einmal nahelegte, es würden vierhändige Stücke oder sogar solche für 2 Klaviere musiziert. Jedoch war dem nicht so. Es ergab sich aber sehr bald die Standardbesetzung: Valentin Buchner (Klavier, Rhythmus), Julia Damrath (Posaune), Rüdiger Kling (Posaune), Wolfgang Metzler (Klavier, Rhythmus), Alea Meyreiß (Saxophone), Svenja Neumann (Querflöte), Hilmar Wiegand (Geige) und Julia Wirth (Geige).

Ein paar der sich ergebenden Aufgaben seien genannt, zugleich mit der von uns geübten Musik:

1. Julia Zaenker hatte gebeten, den Kontratanz „Die Unvergleichlichen“ nach einem Satz von Annegret Fischer einzustudieren und mit dem Kontratanzworkshop gemeinsam zu präsentieren, u. a. beim Gästetag. Um die vielen Strophen nicht eintönig werden zu lassen, haben wir unterschiedliche Registrierungen vorgenommen und Rhythmusinstrumente mit improvisatorischen Variationen zusätzlich verwendet. Zusammen mit spontanen Ergänzungen einer Teilbesetzung von uns ergab sich bei vielen weiteren Kontratanzen ein lebendiges abendliches Musizieren.
2. Bei dem Spiritual „Wade in the Water“ sowie bei dem Contrapunctus 1 aus Bachs „Kunst der Fuge“ waren die Stimmen für Bläser nicht in den für sie geläufigen Notenschlüsseln/Tonarten notiert. Das musste in Eigenarbeit geleistet werden.

3. Für die Fuge von Bach sowie eine Humoresque von Antonin Dvořak galt es, Akkordschreibweisen für das Klavier zu verfertigen. Die Bachfuge haben wir wegen dieser und noch weiterer Schwierigkeiten auch nur mit einer größeren Auslassung „fertig bekommen“.

Das weitere Programm: Greensleeves, die Filmmusik zu „König der Löwen“ sowie insbesondere der aus dem Morgenplenum übernommene YMCA-Tanz führten mehrfach zu musikalisch-tänzerischer Begeisterung.

## 8.5 Kontratanz

mit Julia Zaenker

Zeit, Raum, Musik und die Mittanzenden werden beim Kontratanz ganz anders als sonst wahrgenommen. Mit beeindruckender Konzentration beim Erarbeiten der Tänze erlebten die Schülerinnen und Schüler das selbst. Sie reflektierten die Erfahrungen mit den folgenden Assoziationen:

### **Tanz ist Verwandlung des Raumes...**

„... in eine Bühne.“

„... in eine lockere Atmosphäre mit ganz viel Spaß.“

„Beim Tanzen sind auch die Vierecke einzelne Räume, die sich ständig verändern und mit ihm auch die Menschen.“

„Man vergisst, wo man ist und dass der Raum eigentlich begrenzt ist.“

### **Tanz ist Verwandlung von Zeit...**

„Beim Tanzen vergeht Zeit schneller.“

„Durch Tanzen verliert man das Zeitgefühl und gleichzeitig wird Stress abgebaut.“

„Zeit spielt dann keine Rolle mehr.“

„Alles scheint still zu stehen, nur die Tänzer bewegen sich.“

### **Tanz ist Verwandlung von Chaos in Ordnung...**

„Perspektivwechsel: Von oben sieht man die Muster.“

„Hinter dem Chaos der Bewegung steckt die Ordnung des Tanzes“

„Wir leben im Tanz das Chaos so aus, dass es von außen geordnet wirkt.“

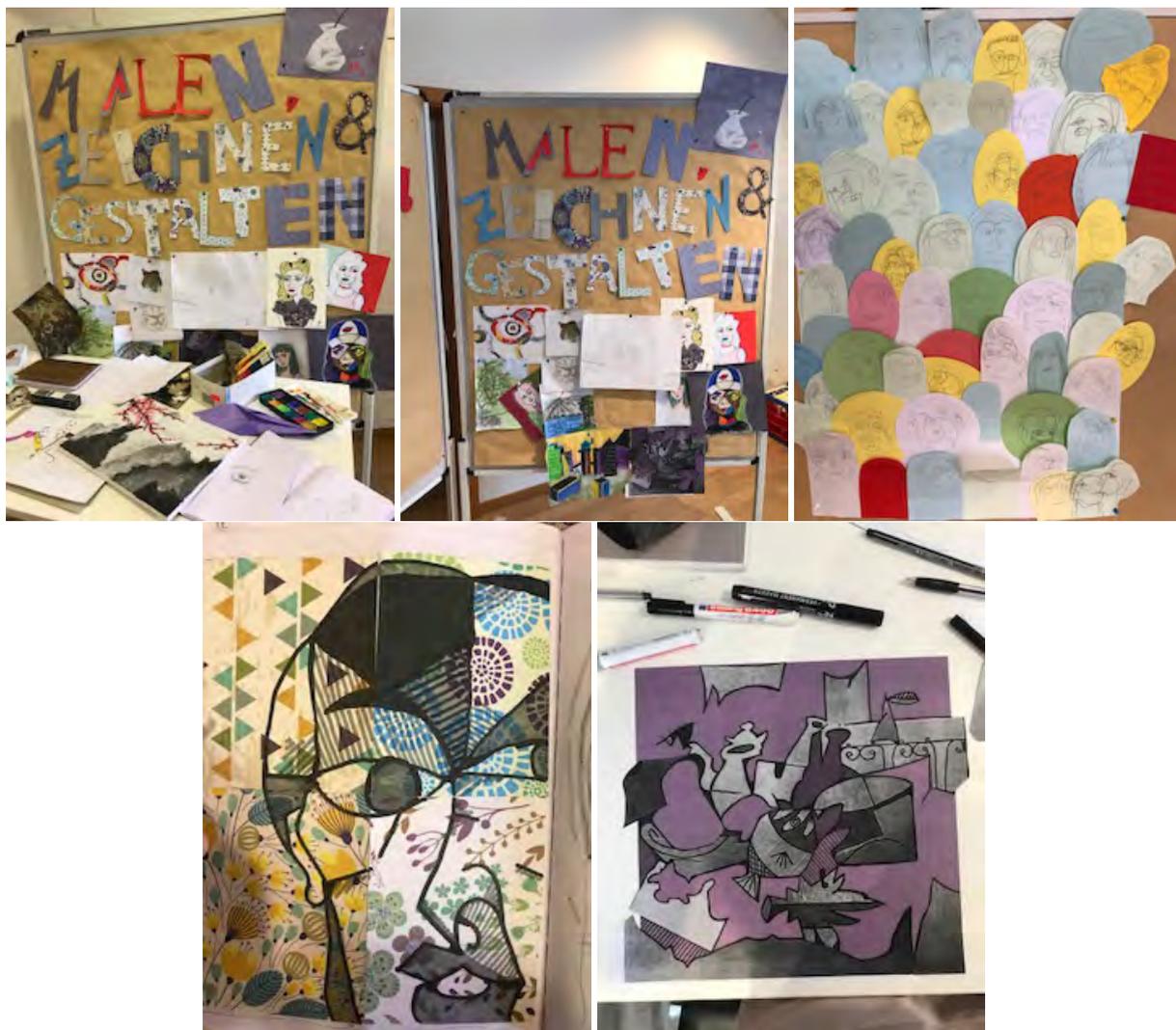
„... , wenn man sich im Chaos einig ist.“

Obwohl die Gruppentänze eine lange Tradition haben, können sie neu interpretiert, erweitert oder ganz neu erfunden werden. Wir entdeckten ein buntes Repertoire aus neuen und alten Tänzen. Neben Klassikern, wie „Blaue Bohnen“ und „Indische Königin“, feilten wir intensiv an „Die Unvergleichlichen“ und tanzten eine neue Variation von „Pop goes the Weasel“ mit viel Freude. Jede Menge Spaß kam auch bei Vorbereitung und Durchführung eines Tanzflashmobs mit dem „Belgian Dance“ auf. Unser Tanzfieber konnten wir so unter den Akademieteilnehmenden und sogar bei einigen Gästen verbreiten.

## 8.6 Malen, Zeichnen und Gestalten

mit Franziska Bank

Von Manga bis Kubismus, von der Bleistiftzeichnung bis zum Malen mit Acrylfarben oder dem Gestalten von Collagen – in diesem Kurs haben alle teilnehmende SchülerInnen und BetreuerInnen ihrer Kreativität freien Raum gelassen, die Eindrücke des Tages kreativ umgesetzt und sich gegenseitig Tipps und Anregungen zu ihren Bildideen geholt und gegeben. Wir haben unsere Kunstwerke mit verschiedenen Techniken und zu unterschiedlichen Themen und Motiven gestaltet, mal drinnen, mal draußen. An Material standen von Bunt- und Bleistiften über Acrylfarben, Pastellkreiden, Kohle und Collage-Bögen auch Tablets zur Verfügung und wir konnten unsere Lust am Malen, Zeichnen und Gestalten frei ausleben, wobei Vorkenntnisse nicht erforderlich waren, aber gern aufgegriffen wurden. Einen gemeinsamen roten Faden haben wir uns im Anfertigen von Miniporträts der Burg-Teilnehmer gegeben, die wir zu einem Gesamtportrait zusammengefügt haben, einer Art „Gesicht der Akademie“. Wir freuen uns auf eine bunte Zusammenarbeit im nächsten Jahr!



## 8.7 Musikalische Improvisation

mit Andreas Mlynek

Vielleicht zum ersten Mal freie Improvisation zu erfahren, kann sehr intensiv sein. Diese Eindrücke blieben bei den teilnehmenden Schülerinnen und Schülern in 12 Tagen musischer Arbeit:

„Wir haben keine Musik gespielt, sondern gemacht.“

Auf der Basis von Assoziationen und Bildern haben wir Klanglandschaften erzeugt. Wir haben Rhythmustypen und ihre unterschiedlichen Qualitäten ausprobiert, Melodien entwickelt und auf ihre Charaktere untersucht. Dabei konnten wir verschiedene unbekannte Instrumente ausprobieren.



Besonders wichtig waren für uns Erfahrungen mit Stille und achtsamem Umgang miteinander. Wir fühlten uns persönlich ermutigt Neues auszuprobieren. In entspannter Atmosphäre fühlten wir uns Teil von etwas Größerem.“

## 8.8 Naturkunde

mit Wolf Aßmus

In der Naturkunde sind wir dieses Jahr wieder rund um die Burg gestreift und haben die Tier- und Pflanzenwelt erkundet.



Abbildung 1: Mit dabei waren (v.l.n.r): Henrik, Johanna, Alex, Max, Wolf, Maxim, Philipp, Jesse, Micha, Aylin, Kai Lars, Nele, Jan Niklas, Marcel und Kira

## 8.9 Storytelling

mit Julia Zaenker

Woher kommen Geschichten und wie merkt man sie sich? Schnell fanden wir heraus: Geschichten sind ein Teil von uns. Wenn man der eigenen Fantasie Raum lässt und nicht krampfhaft versucht, alle Details und Wortlaute wiederzugeben, muss man eigentlich gar nichts auswendig lernen. Leicht lassen sich auch komplizierte Erzählungen auf ein einfaches Grundgerüst, die sogenannten „Bones“, reduzieren. Um diese Knochen herum wird dann ausgestaltet, egal ob auf Deutsch oder Englisch. Dabei hilft es, in die Geschichtenwelt einzutauchen. Beim Erzählen der Handlung von Goethes „Erlkönig“ und „Tam o' Shanter“, einem Gedicht des schottischen Nationalheldens Robert Burns, gelang uns das mit Vertonungen, Farbe und Illustrationen.

Ein gemeinsames Grundgerüst erkannten wir auch in Zauberlehrlingsgeschichten aus ganz verschiedenen Kulturkreisen und Epochen - von der Antike bis Harry Potter. Neben Aspekten wie Mimik, Gestik und Dynamik beschäftigte uns besonders, wie man mit einem Publikum erzählt und die Umgebung einbezieht. Gerade Burg Fürsteneck bietet dafür viel Inspiration. Bereits zu Beginn der Akademie bereiteten wir zwei anonyme Zettelboxen vor, in die alle Burgbewohner Wortassoziationen zu den drei Linden auf der Burgwiese und der Torschänke einwerfen konnte.

So fanden wir eigene lyrische Zaubersprüche, mit denen sich gelernte Techniken, wie Wiederholung und Rhythmus, wunderbar ausprobieren ließen. Am internen Abschlussabend und dem Besuchernachmittag gelang es uns, das Publikum zum Mitmachen zu animieren und die durchaus magische Atmosphäre der Burg einzufangen.

### Die Torschänke

*[Ref] Rascheln, Murmeln, Klirren*

Lautes Gelächter erfüllt den Raum.

Spiele erzeugen einen lebhaften Traum.

*[Ref] Rascheln, Murmeln, Klirren*

Zum Kampf gegen die machtlose Müdigkeit  
Sind Lachkrämpfe und Gemeinschaft eine gute  
Möglichkeit.

*[Ref] Rascheln, Murmeln, Klirren*

Nach dem Ausruf von „GmbH!“  
(Es droht keine Gefahr!)

Klirren die Flaschen  
Murmeln und Lachen.

*[Ref] Rascheln, Murmeln, Klirren*

Die Torschänke  
Die drei Linden

Die drei mächtigen Linden am Burgesrand  
Verbindung zwischen Natur und  
Menschenhand.

Ein Rückzugsort für Ruhe und Frieden  
Mit ihren frohen Schattenspielen

*[Ref] Die drei Linden, um Ruhe zu finden,  
zum Slalom laufen und zum Verschnaufen.*

Abends gut zum Sterne gucken,  
Aber auch um aufzumucken  
Egal ob Tischtennis oder Volleyball  
Es ist für jeden Spaß dabei.

*[Ref] Die drei Linden, um Ruhe zu finden,  
zum Slalom laufen und zum Verschnaufen*

Der Mathematiker sieht Fraktale,  
Der Historiker Mahnmale,

Der Physiker schaut nach oben  
Und der Informatiker bleibt am Boden.

*[Ref] Die drei Linden, um Ruhe zu finden,  
zum Slalom laufen und zum Verschnaufen*

Egal wie es dir geht,  
Bei den Linden findest du deinen Weg.

### 8.10 Theaterimprovisation

mit Volker Kehl

Theaterimprovisation, eine Reise in unvorhergesehene, spontane Situationen. Alles, was auf der Bühne passiert, entsteht ungeplant. Unter dem Motto „Weniger ist mehr!... mehr oder weniger.“ bekamen die TeilnehmerInnen Einblicke in theatrale Emotionsarbeit und erfuhren in kleinen selbstgespielten Szenen, wie es ist, mal mit Stimme und mal nur mit Gestik, sowie Mimik zu wirken. Und oft entfalteten kleine Gesten eine große Wirkung. So konnte unvermittelt und spontan das einfache Hinknien beim Schuhe-zubinden zu einem freudig-tränenreichen Heiratsantrag werden. Es wurde geträumt, gestritten, gefeiert, versöhnt und vor allem viel miteinander gelacht.

Stimmen von TeilnehmerInnen:

„Während des Kurses haben wir untereinander immer mehr Rücksichtnahme und Aufmerksamkeit entwickelt.“

„Es entwickelte sich eine höhere Fehlertoleranz und Wertschätzung bei sich selbst und anderen“

„In Erinnerung bleiben fantastische wie absurde Szenen.“

„Interessant, sozial interaktiv.“

„Crazy Momente.“

## 9 Auszüge aus studentischen Abschlussberichten

*Die Auswahl der anonymisierten und gekürzten Auszüge bezieht sich in diesem Jahr vor allem auf Lernchancen und Entwicklungspotentiale für SchülerInnen und studentische BetreuerInnen, auf Gelingensbedingungen der Kursarbeit sowie auf den überfachlichen Bildungsanspruch der Akademie.*

Am besten lernen SchülerInnen, wenn sie sich selbstständig mit einem Thema auseinandersetzen. Die Akademie soll den SchülerInnen ermöglichen, ihre Horizonte zu erweitern und zu einem spürbaren Wissenszuwachs führen. Ich gab der Schülerin nur so viel Hilfestellung wie nötig, so dass sie die Aufgabe eigenständig lösen konnte. Meine Intention war es, sie zu fordern und zum selbstständigen Arbeiten zu bewegen.

Für die SchülerInnen ist die Akademie eine Möglichkeit, überdurchschnittlich hohes Interesse gepaart mit höherer Leistungsbereitschaft und Leistungsfähigkeit auszuleben. Sie werden auf die Arbeitsweise und das inhaltliche Niveau der Universität vorbereitet. Besonders wichtig hierbei ist, dass das eigene Erarbeiten hier wichtiger ist als in der Schule.

Ebenso gab die Arbeit im Kurs auch denjenigen Raum, die sonst im Klassenraum vielleicht durch Schüchternheit untergehen würden, und rief denen, die sonst eher Vorlaut mit ihrem Wissen umgehen, in Erinnerung, dass auch sie noch etwas lernen können, was ich als eine unheimlich wertvolle Erfahrung für alle Beteiligten einschätze.

Resümierend kann ich sagen, dass beide von mir betreuten SchülerInnen schon Fähigkeiten besitzen, die die meisten SchülerInnen nicht besitzen, und darauf erpicht sind, diese noch weiter zu verbessern. Die Arbeit mit den beiden hat mir einiges vermitteln können. So zum einen, wie man mit besonders wissbegierigen Schülern umgeht, und wie man es schaffen kann, immer wieder neue, schwierigere Sachverhalte zu bearbeiten mit SchülerInnen, die eine erstaunlich schnelle Auffassungsgabe besitzen.

Die enge Zusammenarbeit mit den SchülerInnen und im Team ermöglichte es, einmal ganz genau an einzelnen Arbeitsschritten zu arbeiten und Themen viel komplexer zu erarbeiten, als das in der Schule möglich ist.

Als die Doku-Beiträge von den SchülerInnen erstellt wurden, wurde mir noch einmal klar, dass inhaltliche Perfektion hier nicht erreicht werden kann und auch nicht das Ziel sein muss. Viel entscheidender war es hingegen, die SchülerInnen in ihrem Schreibprozess zu unterstützen. Viele Formulierungen waren sehr ungenau und zogen sich teilweise über viele Zeilen ohne verständlich zu sein, weswegen ich mich entschloss, ganz konsequent beim Schreibprozess dabei zu sein und Hilfe anzubieten. Die SchülerInnen hatten ein direktes Feedback während des Prozesses, und letzten Endes bietet sich die Arbeit auf der Burg auch genau für solche methodischen Kompetenzen an, die in der Schule nicht in dieser Richtung ausgeprägt werden.

Durch viele Gespräche mit den SchülerInnen und meine eigenen Beobachtungen sehe ich drei Bereiche, in denen sich meine SchülerInnen weiterentwickelt haben. Zum einen ist das ein Zuwachs im Bereich der sozialen Kompetenzen. Durch die Arbeit im Team und ein kontinuierliches Feedback sind im Verlaufe der Akademie die Absprachen besser geworden und ein weiterführendes Arbeiten war möglich. Ein weiterer Lernerfolg war im Bereich des Strukturierens und Zugänglichmachens von wissenschaftlich komplexen Themen zu verbuchen. Der letzte Lernerfolg kann eindeutig im Zusammenfügen der komplexen Theorien zu einem Gesamtnarrativ gesehen

werden. Die SuS schafften es in kurzer Zeit, unbekannte wissenschaftliche Theorien nicht nur zu verstehen und präsentieren, sondern auch in Zusammenhang mit anderen Theorien zu bringen.

In unserem Fachkurs behandelten wir sehr anspruchsvolle, wissenschaftliche Themen. Eine Herausforderung hierbei war die Anwendung von eher abstrakt gehaltenen Aspekten auf ein besser zugängliches Beispiel. Hierbei fiel mir auf, dass die SchülerInnen sehr viele kreative Ideen hatten, wie man die Themen in einer verständlichen Weise präsentieren kann. Die Begeisterung und Elan, die dahinter steckten, nahm ich als sehr positiv wahr. Allerdings bemerkte ich, dass viele SchülerInnen Probleme damit hatten, ihre Ideen und Gedanken zu strukturieren. Hier konnte ich meine eigenen Erfahrungen gut einbringen und lernte noch einige Methoden dazu.

Die Akademie ist eine Erfahrung, bei welcher man nicht nur viel über das Lehren, sondern auch über das Lernen, über seine SchülerInnen und sich selbst lernen kann.

Gerade in der Zusammenarbeit mit den SchülerInnen lagen für uns die meisten Herausforderungen, da es nun galt, das inhaltlich Erarbeitete in eine Form zu bringen, die es den Anderen im Kurs gut vermitteln würde. Für mich brachte dies also nun die Herausforderung mit sich, als jemand, der selbst noch in der Ausbildung als Lehrer ist, zwei SchülerInnen zu vermitteln, wie diese ihr Thema vermitteln könnten, ohne ihnen dabei zu sehr meine Ideen aufzuzwingen. Das war teilweise einfach nicht möglich und die Unterstützung von allen Seiten half mir dabei, das Beste daraus zu machen und zu akzeptieren, dass beim Erlernen völlig neuer Kompetenzen eben nicht alles von vorneherein funktionieren kann.

Nur in den seltensten Fällen hat man als Lehrkraft das Privileg, mit solch intelligenten, engagierten und leistungsbereiten SchülerInnen zu arbeiten. Dies bedeutet jedoch auch, dass die Ansprüche und Anforderungen an die SchülerInnen und an sich als angehende Lehrkraft besonders hoch sind.

Mein Fazit zur HSAKA-O ist ein sehr positives. Die Akademie kann bei der Selbstfindung unterstützen, bei der Gewinnung von Sozialkompetenzen helfen und die Integration in eine Gruppe leisten. Die Arbeitsatmosphäre ist sowohl für SchülerInnen als auch BetreuerInnen ideal, da ein progressives und positives Lernklima herrscht.

Schnell wurde aber auch klar, dass die positiven Erfahrungen auf der Burg ganz klar mit der engen Zusammenarbeit im Team und mit den SchülerInnen zusammenhängen. Nie in meinem Leben habe ich so viele verschiedene Menschen mit teilweise extrem unterschiedlichen Interessen in zwei Wochen kennengelernt. Innerhalb des Kurses lässt sich diese positive Erfahrung in der Zusammenarbeit mit den unterschiedlichsten Personen nur fortführen. In der Plenumsarbeit hatte ich nie das Gefühl, dass Äußerungen mancher mehr oder weniger wertgeschätzt wurden.

Besonders positiv fiel mir die Unterstützung sowohl durch die anderen BetreuerInnen als auch durch die Kursleitung auf.

Nachdem die Sitzung gehalten war, brachte es auch großen Spaß und eigene Lernerfahrungen, die anderen BetreuerInnen bei ihrer Arbeit zu unterstützen, und ich komme nicht umhin zu sagen, dass das Arbeitsklima im Kurs kaum hätte besser sein können.

Integration auch schwieriger Fälle führe ich auf das didaktisch besonders ausgereifte Konzept der Akademieleitung zurück. Hierbei wird strikt darauf geachtet, dass keine Ausgrenzung stattfindet, was auch von allen Seiten ausgeführt wird.

Die Gruppendynamik im Kurs empfand ich generell als gut. Die Zusammenstellung der Kursteilnehmer war sehr heterogen. Die vielen praktischen Aufgaben in allen Vorträgen wurden sichtlich sehr gut aufgenommen. So viel Partizipation der nicht-vortragenden Schüler hatte ich so in vergangenen Akademien nicht erlebt. Fragen wurden von den Vortragenden positiv aufgenommen und gemeinsam im Kurs beantwortet.

Die Schülerin brachte eine bereits fast fertige Power-Point-Präsentation mit, obwohl die Vorträge nur ca. eine Minute lang sein sollten. Sie schien sich bereits intensiv mit den Materialien, die ich ihr zur Verfügung gestellt hatte, auseinandergesetzt zu haben.

In den Kursen sollen weiterführende Inhalte besprochen werden, um gemeinsam den Wissensschatz und das Können aller Teilnehmenden weiter zu erhöhen. Diese weiterführenden Inhalte werden typischerweise in Form eines Diskurses besprochen, in welchem die Diskussion auf Augenhöhe zwischen SchülerInnen und Lehrenden eine zentrale Rolle spielt. Die neuen Lerninhalte sollen gemeinsam entdeckt werden, und nicht durch „Vorlesen“ der Inhalte beigebracht.

Die ganzheitliche Bildung stellt insofern einen wichtigen Anspruch im Konzept der HSAKA dar, als dass sie eine Erweiterung der Handlungs- und Lernorientierung der Fachkurse darstellt und die gewöhnlich bevorzugten und geförderten kognitiv-intellektuellen Aspekte auch um affektiv-emotionale und körperliche Aspekte erweitern soll. Die persönlichen Erfahrungen während der Sommerakademie können diese hoch gesteckten Ansprüche bestätigen. Die für SchülerInnen verpflichtende Wahl von zwei Kursen des musisch-kulturellen Programms führt dazu, dass sie ihre Komfortzone verlassen müssen und sich auf Gebiete begeben, die sie außerhalb der Sommerakademie wohl eher meiden würden. Stellvertretend für dieses Phänomen kann ich meine eigenen Erfahrungen hervorheben. . .

Die SchülerInnen hatten durch die zahlreichen Angebote die Möglichkeit, verschiedene Kompetenzen auszubilden. Es war eine gute Mischung von Angeboten, bei denen die SchülerInnen sowohl bekannten Hobbies als auch neuen nachgehen konnten. Dies war positiv im Bereich der Entwicklung der personalen Kompetenz zu sehen: Viele SchülerInnen mussten ihr Selbstbild und ihre Einstellungen noch einmal überdenken, und ich bemerkte bei vielen einen regelrechten „Selbstbewusstseins-Boom“.

Gerne hätte ich mal in einen anderen Fachkurs reingeschaut, aber das war dadurch, dass diese parallel zueinander liegen und durch die sonstige Auslastung im eigenen Kurs nicht möglich. Andererseits stelle ich es mir auch sehr aufwendig vor, die einzelnen Kurse, deren Inhalte sowieso schon sehr komplex sind, in diesen kurzen zwei Wochen auch noch inhaltlich eng miteinander zu verknüpfen. Es wäre dennoch schön, wenn zumindest ein kleiner Einblick in die Arbeit der anderen Kurse möglich wäre, abgesehen von den bereits vorhandenen Präsentationen am Anfang und am Ende der Akademie.

... finde ich bei dem geballten personellen Potential, seien es kompetente KursleiterInnen, bemühte StudentInnen und interessierte SchülerInnen, und dem Niveau, auf dem sich die Sommerakademie bewegt, die Bestrebungen zum interdisziplinären Arbeiten bei weitem nicht ausreichend. Mir ist durchaus bewusst, dass dies eine inhaltliche Kooperation der Fachkurse bedürfte und dass dies im Rahmen der zeitlichen, nervlichen und strukturellen Gegebenheiten nicht möglich ist. Dennoch, wer sich der Interdisziplinarität verschreibt, der darf an seiner Umsetzung gerne noch feilen.

Donnerstag, 17. August 2017

# Lernen und lehren auf Augenhöhe

Akademie für Oberstufenschülerinnen und -schüler auf Burg Fürsteneck

## FÜRSTENECK

„Happy“- dieses bekannte Lied von Pharrall Williams passte an diesem Tag perfekt zu der Atmosphäre auf Burg Fürsteneck. 45 hochbegabte Schülerinnen und Schüler sangen es mit ihren Betreuern auf der Empore des Burgsaals. Damit eröffneten sie ihre Präsentation, die den Abschluss einer zwölfjährigen Schülerakademie bildete. Die Schüler vermittelten dem Publikum ein Gänsehautgefühl.

Von ELENA JAHN

Gemeinsam mit 17 Lehramtsstudentinnen und -studenten sowie zwei Professoren der Goethe-Universität Frankfurt arbeiteten die Schüler an verschiedenen Projekten. Für die angehenden Pädagogen ist dies eine gute Gelegenheit, ihre fachlichen Fähigkeiten gerade in der Begabtenförderung zu erweitern und Unterrichtskonzepte auszuprobieren.

Die Akademie für berufliche und musisch-kulturelle Weiterbildung bot zum 13. Mal hochbegabten Oberstufenschülerinnen und -schülern aus ganz Hessen die Möglichkeit, miteinander zu lernen und Spaß zu haben (siehe Webverweis). Ihnen werden Räume geboten, ihr logisches Denken und ihre Kreativität auszu-



Das Publikum lässt sich von der guten Stimmung im Saal mitreißen.

Foto: Elena Jahn

Zweck unterscheiden Historikerinnen und Historiker zwischen Geschichte und Vergangenheit?“, war eine der Fragen, die der Geschichtskurs im Rahmen der Akademie diskutierte. Die Informatiker entwickelten ein unendliches Computerspiel namens „SUBJECT 008“, bei dem die Kursteilnehmer alle Phasen vom ersten Entwurf bis hin zum spielbaren Produkt entwickelt haben. Aber nicht nur fachspezifische

Dinge standen auf dem Programm: Im musisch-kulturellen Teil gestalteten sie mit Gesang und Instrumenten Musikbeiträge. Auch einen aus dem 18. Jahrhundert stammenden Kontraltanz führten die Schüler dem Publikum vor.

Ihre Freizeit gestaltete sich durch zahlreiche Gemeinschaftsspiele, Lagerfeuerabende und den Weiterbau einer selbstgemachten Burg aus Holz und Pappe, die die Burg Für-

steneck darstellen soll. Der Leiter der Heimvolkshochschule Burg Fürsteneck, Hartmut Piekatz, betonte, dass die Lebensfreude junger Menschen an sich einer Veranstaltung immer wieder spürbar sei. Auch der Zusammenhalt zwischen Schülern, Studenten und Professoren trage zu einer guten Gemeinschaft bei, in der man sich auf Augenhöhe begegne.

WEB [hsaka.de](http://hsaka.de)

## 10 Teilnehmende

### Leitung und musisch-kulturelles Angebot

Angeloni	Gregor	Leitungsassistentz & Physik
Aßmus	Wolf	Physik & Naturkunde
Bank	Franziska	Leitungsassistentz & Bühnenbild & Malen, Zeichnen und Gestalten
Baumann-Metzler	Ingrid	English Theatre
Dick	Alexander	Physik & Fotografie
Gorzolla	Peter	Akademieleitung & Geschichte
Hog-Angeloni	Cynthia	Akademieleitung & Mathematik
Kehl	Volker	Theaterimprovisation
Kling	Rüdiger	Instrumentalmusik & Mathematik
Kumpitsch	Theresa	Mathematik
Metzler	Wolfgang	Instrumentalmusik
Mlynek	Andreas	Musikalische Improvisation
Ochsendorf	Lisa	Chor
Schiffner	Daniel	Informatik
Wiegand	Birthe Anne	Informatik
Wirth	Julia	Geschichte
Zaenker	Julia	Kontratanz

### Studentisches Team in den Fachkursen

Ebert	Benedikt	Informatik	Lang	Tobias	Geschichte
Gerspach	Maxim	Mathematik	Lang	Fiona	Geschichte
Gleditzsch	Moritz	Geschichte	Quandt	Nina	Geschichte
Groh	Saskia	Mathematik	Ritzke	Kai-Lars	Mathematik
Güdelhöfer	Hannes	Informatik	Strauss	Leon	Informatik
Holz	Mischa	Informatik	Wellershaus	Julian	Geschichte
Huth	Julia	Mathematik	Wiegand	Hilmar	Informatik
Jones	Jesse	Physik			

### Schülerinnen und Schüler

Geschichte		Informatik		Mathematik		Physik	
Damrath	Julia	Buchner	Valentin	Bach	Lea	Bennedik	Marcel
Dierlamm	Nele	Buhl	Tamina	Corbaz	Hannah	Bormann	Jan Niklas
Ernst	Marco	Chen	Tobias	Demuth Kilian	Wiegand	Fabritz	Till
Gabenstatter	Miriam Lara	Decker	Elisabeth	Hoppmann	Vincent	Farr	Sonja
Greilich	Sarah	Janzer	Alexandra	Ihab	Einour	Knauff	Kira Pascale
Janho	Natascha	Kirschbaum	Mark Julian	Kormann	Julia	Pfalzgraf	Shannon
Karatas	Aylin	Kraus	Hannah	Medhat	Miriam	Schmidt	Johanna
Meyreiß	Alea	Mentzer	Henrik	Neumann	Svenja	Seiffert	Philipp
Peiser	Luchino	Naka	Yuya	Philipps	Zoé	Weiland	Antonia
Schwarz	Louisa	Schwarz	Theresa	Pohlmann	Per Andres	Wiegand	Paula
Walter	Erik	Wiegand	Eva	Schiefele	Julia Celine		
		Zaharescu	Diana	Wiegand	Max		



# Wir danken unseren Förderern

HESSEN



Hessisches  
Kultusministerium



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

HESSEN



Hessische  
Lehrkräfteakademie