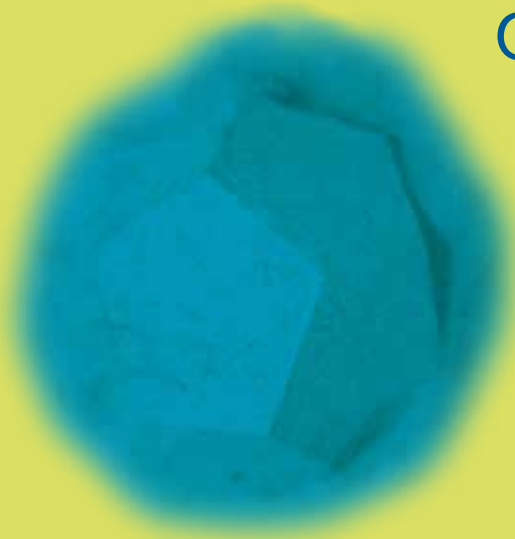


Hessische Schülerakademie 2018

OBERSTUFE



Dokumentation

22.7. – 3.8.2018

veranstaltet von:
Goethe-Universität Frankfurt am Main

Hessische Lehrkräfteakademie

Hessische Heimvolkshochschule
BURG FÜRSTENECK

Schirmherr: Kultusminister Prof. Dr. Alexander Lorz

14. Hessische Schülerakademie

Oberstufe

22. Juli – 3. August 2018

– Lehreraus- und Weiterbildung –

Dokumentation

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

Eine Veröffentlichung der

Hessischen Heimvolkshochschule

BURG FÜRSTENECK

Akademie für berufliche und
musisch-kulturelle Weiterbildung

Am Schlossgarten 3

36132 Eiterfeld

Diese Dokumentation ist erhältlich unter:

<http://www.hsaka.de>



Namensnennung - 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 **978-3-910097-33-9**. Sie ist bei einer Verwendung anzugeben.

Der Abdruck einiger Grafiken erfolgt gemäß den von den Urhebern bestimmten Lizenzbedingungen. Die Rechte an diesen Grafiken werden durch die vorliegende Lizenz nicht berührt.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Vorwort | 5 |
| 2 | Grußwort | 7 |
| 3 | Handreichung zum Lesen der Dokumentation | 9 |
| 4 | Mathematikkurs | 10 |
| 4.1 | Teilbarkeit, euklidischer Algorithmus, Kongruenzen und Restklassen | 10 |
| 4.2 | Fundamentalsatz der Arithmetik und Satz von Euklid | 12 |
| 4.3 | Komplexe Zahlen und Landau-Notation | 14 |
| 4.4 | Der Ring der Ganzen Gaußschen Zahlen | 15 |
| 4.5 | Abschätzungen zur Primzahlmenge | 17 |
| 4.6 | Die Farey-Folge | 19 |
| 4.7 | Ford-Kreise und Approximationssatz von Hurwitz | 21 |
| 4.8 | Multiplikative Zahlentheoretische Funktionen, die Dirichletfaltung und der Chinese Restsatz | 23 |
| 4.9 | Fermatzahlen, Mersenne(-prim-)zahlen und vollkommene Zahlen | 25 |
| 4.10 | Der Satz von Tschebyscheff | 27 |
| 5 | Physikkurs | 29 |
| 5.1 | Schwingungen und Wellen | 29 |
| 5.2 | Spektroskopie und Fotometrie- Anwendungsbeispiele | 31 |
| 5.3 | Schwarze Strahler | 34 |
| 5.4 | Einführung in die Quantenmechanik | 36 |
| 5.5 | Lichtstreuung an Partikeln | 38 |
| 5.6 | Lichtabsorption | 40 |
| 5.7 | Erzeugung und Anwendung von Röntgenstrahlen | 41 |
| 5.8 | Spektrometrie | 44 |
| 5.9 | Erzeugung von Licht | 47 |
| 5.10 | Leuchtdioden und Solarzellen | 49 |
| 6 | Informatikkurs | 52 |
| 6.1 | Netzwerktechnologie | 52 |
| 6.2 | Multiplayer in Unity | 54 |
| 6.3 | Collision Detection am Beispiel von First Person Shooter Games | 56 |
| 6.4 | Simulation am Beispiel von Real Time Strategy Games | 58 |
| 6.5 | Persistenz und Scaling am Beispiel von Massively Multiplayer Online Games | 61 |
| 6.6 | Visual Clarity | 63 |
| 6.7 | Partikeleffekte | 64 |
| 6.8 | Community Management | 67 |
| 6.9 | Bewertungssysteme | 69 |
| 6.10 | E-Sports | 71 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 7 | Geschichtskurs | 73 |
| 7.1 | Zur Einführung | 73 |
| 7.2 | Historische Darstellungen in aktuellen TV-Serien | 75 |
| 7.3 | Historische Narration in Videospielen | 79 |
| 7.4 | Immersionserfahrungen in historischen Videospielen | 83 |
| 7.5 | Emotionen in historischen TV-Dokumentationen | 86 |
| 7.6 | #holocaust – Emotionen jugendlicher Gedenkstätten Touristen | 90 |
| 8 | Musisch-kulturelle Kurse | 93 |
| 9 | Schüler*innen-Feedback | 96 |
| 10 | Teilnehmende | 97 |

1 Vorwort

Das Akademiejahr 2018 hatte neben den beiden Schülerakademien für die Mittelstufe und die Oberstufe noch einen weiteren Höhepunkt: das Symposium „Kulturelle Bildung auf dem Weg“ (vom 2. bis 4. März 2018, ausgerichtet von Burg Fürsteneck gemeinsam mit dem Schulentwicklungsprogramm *KulturSchule* des Hessischen Kultusministeriums und dem Weiterbildungsmaster *Kulturelle Bildung an Schulen* der Uni Marburg). Es wurde von unserem Schirmherrn, Kultusminister Prof. Dr. R. Alexander Lorz, eröffnet und hatte unter anderem das Ziel, in der Begegnung von Bildungsexpert*innen und -praktiker*innen eine Fachdebatte über „Qualitätsbedingungen in der Kulturellen Bildung am Beispiel der Schülerakademien und der Kulturschulen in Hessen“ anzustoßen.

Darüber hinaus ermöglichte die Veranstaltung aber auch jede Menge persönlicher Begegnungen mit Vertreter*innen institutioneller Partner wie auch mit Wissenschaftler*innen, Politiker*innen, Selbständigen oder Lehrkräften. Dabei wurde deutlich, dass unsere „HSAKA“ auch nach 14 Jahren noch längst nicht Normalität und schon gar nicht Selbstverständlichkeit geworden ist. Das ist gar nicht so schlecht, fordert es uns doch heraus, sich im stetigen Selbsterklären auch stets aufs Neue zu hinterfragen – und weiterzuentwickeln. Unser Blick wird geschärft für zentrale, immer noch aktuelle Fragen: Was ist die Hessische Schülerakademie, und was soll sie sein? Was sind unsere Motive und was die Ziele unserer Bemühungen?

Besonders spannend für die Oberstufenakademie ist dabei die Begegnung und der Austausch mit Lehrer*innen, engagieren wir uns durch die Einbindung von Lehramtsstudierenden doch explizit in der (Aus-)Bildung und Persönlichkeitsentwicklung zukünftiger Lehrkräfte. Dabei ist die Hessische Schülerakademie keine Schule, und soll es auch nicht sein – schon gar nicht, um mit erhobenem Zeigefinger vorzumachen, was bei exzellenten Bedingungen (sehr gute Ausstattung, hervorragendes Team, motivierte Schüler*innen) möglich wäre. Dafür ist die HSAKA viel zu sehr Akademie: Wissenschaftsorientierung, Lernen und Lehren auf Augenhöhe, Fokussierung auf Teamarbeit und soziales Miteinander, ein ganzheitliches Bildungskonzept und vor allem ein klares Leistungsbekenntnis bei völligem Verzicht auf Noten sind allesamt Charakteristika, die sich beim besten Willen nicht ohne Weiteres auf Schule übertragen ließen.

In unserer Beziehung zu den (schulischen und außerschulischen) Bildungspraktiker*innen geht also weder um Besserwisserei noch um Konkurrenz; auch wollen wir niemanden zum Kopieren eines „HSAKA-Modells“ aufrufen. Aber wir wollen aktiv und selbstbewusst den Austausch suchen, und wir erklären deutlich, dass wir es als einen Hauptzweck der Schülerakademie ansehen, einen konstruktiven Austausch über Entfaltungs- und Gestaltungsmöglichkeiten für das Lehren und Lernen im 21. Jahrhundert voranzutreiben.

In diesem Sinne legen wir auch die Dokumentation der Hessischen Schülerakademie für die Oberstufe 2018 vor: als Herausforderung für die je eigene Position, als Aufforderung zum Dialog und als Einladung zu einem Besuch. Und ganz in diesem Sinne verstehen wir auch jedes Jahr als eine Gelegenheit für uns, unser Projekt weiterzuentwickeln.

Zum Beispiel durch die Entwicklung neuer Formate für Vorbereitungsphase und kursübergreifende Teamarbeit: Das langfristige Ziel, die studentischen Betreuer*innen stärker in die Verantwortung für das Gelingen der Gesamtakademie einzubinden, wurde schon 2018 mit dem Umbau unserer Vorbereitungs-Klausurtagung auf der Burg vorangetrieben. Auch 2019 wird hier neben Teambuilding vor allem Akademieentwicklung betrieben – weil das Gelingen und die Zukunft der Hessischen Schülerakademie in der Verantwortung jeder und jedes einzelnen Beteiligten stehen.

Zum Beispiel durch mehr interdisziplinäre Kursarbeit: So wird im kommenden Jahr nicht nur die Kooperation der musisch-kulturellen Angebote weiter ausgebaut, wir dürfen uns auch auf einen Fachkurs freuen unter der Leitung eines Philosophen (Christian Müller) und einer Mathematikerin und Informatikerin (Birthe A. Höllthaler), die Philosophie im theatralen Diskurs inszenieren werden.

Zum Beispiel durch die gezielte Förderung von Nachwuchskräften für die Leitung der musisch-kulturellen Kurse: Mittelfristige Planungen und ein Poolkonzept sollen es Lehramtsstudierenden und jungen Lehrkräften leichter machen, den Zeitaufwand für Studienabschlüsse, den Vorbereitungsdienst oder längere Auslandsaufenthalte mit einem Engagement als Kursleiter*in auf der Schülerakademie unter einen Hut zu bringen.

Zum Beispiel durch langfristige Kursplanungen: Für 2020 ist bereits ein Informatikkurs mit dem bewährten Leitungsteam der vergangenen Jahre geplant, daneben auch nach vielen Jahren wieder ein musikwissenschaftlicher Fachkurs in Vorbereitung – wir hoffen, dass die Pläne für eine Kursleitung durch Heinz von Loesch (Berlin) und Saskia Quené (Basel), beide von unserem Kooperationspartner *Musische Gesellschaft*, aufgehen.

Oder durch die Stärkung von Kooperationen, zum Beispiel mit der *Akademie für Bildungsforschung und Lehrerbildung* an der Goethe-Universität in der Verzahnung mit der Lehramtsausbildung. Oder durch die Formalisierung der Stipendienvergabe aus unserem Sozialfonds, den über viele Jahre vor allem private Förderer wie der *Lions-Club Sulzbach* möglich gemacht haben. Oder durch die Stärkung des von Schüler*innen und Betreuer*innen gegründeten *Alumni- und Fördervereins* durch einen Sitz im *Kuratorium Hessische Schülerakademie*.

Und am Ende natürlich auch durch die Anpassung an geänderte gesellschaftliche und rechtliche Rahmenbedingungen: Unsere Anmeldemasken kennen nun eine dritte Geschlechtsangabe („divers“), und unsere Datenverarbeitung erfolgt inzwischen DSGVO-konform. Insbesondere letzteres hat uns einige Probleme bereitet, da die verfügbaren Musterlösungen unseren „Sonderfall“ nicht adressieren. Wir haben folglich unsere Formulare, Prozeduren, Dokumentationen und Rechtsbelehrungen aus eigener Kraft umgestaltet, um dem erhöhten Schutzbedürfnis für die personenbezogenen Daten unserer oftmals noch minderjährigen Teilnehmer*innen zu entsprechen.

Das hat nicht nur Zeit gekostet, sodass die vorliegende Dokumentation später erscheint als üblich, es verweist uns auch neuerlich darauf, wie viel Arbeit oft unsichtbar im Hintergrund geschieht, damit das Bildungsabenteuer Hessische Schülerakademie realisiert werden kann. Daher gilt all jenen Menschen, die die Oberstufenakademie 2018 und diese Dokumentation ermöglicht haben, unsere tief empfundene Dankbarkeit für ihr Engagement, ihre tatkräftige Unterstützung und ihre Begeisterungsfähigkeit.

Frankfurt am Main, im Januar 2019

Peter Gorzolla, Cynthia Hog-Angeloni und Gregor Angeloni

2 Grußwort

von Prof. Dr. Wolfgang Metzler



In diesem Jahr habe ich meine Tätigkeit als Vorsitzender des Kuratoriums der Hessischen Schülerakademien beendet. Ich freue mich, dass Claudia Wulff meine Nachfolgerin ist, die bezüglich der Mittelstufenakademie große Erfahrung gesammelt und mit Ferenc Kréti sowie Benedikt Weygandt vielfach erfolgreich zusammen gearbeitet hat. Sie hat mich gebeten, für die Dokumentation 2018 ein Grußwort zu schreiben und dabei insbesondere darauf einzugehen, wie wir die inhaltlichen und pädagogischen Prinzipien der Schülerakademien und in der Schule aufeinander beziehen können.

Diesbezüglich fange ich mit einem eigenen Beispiel an aus dem Mathematikunterricht, als ich selbst in der Mittelstufe war: Nachdem wir schon etliche Dreieckskonstruktionen behandelt hatten, kam unser Mathematiklehrer mit einer selbst nicht zurande. Wie üblich, waren drei „Stücke“ gegeben, und es sollte ein Dreieck bis auf Kongruenz gezeichnet werden. Die Stücke lagen aber so ungünstig zueinander, dass ihm das nicht gelang. Meine Idee war nun, eine weitere Seite zu berechnen, die aus den Längen dieser Stücke durch einen rationalen Ausdruck und eine Quadratwurzelbildung hervorging (Höhensatz).

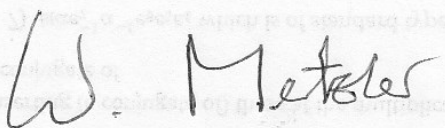
Diese Formel ließ sich dann in Geometrie rückverwandeln und der gegebenen Situation so anpassen, dass alles ganz natürlich aussah. In dem Buch von Courant und Robbins „Was ist Mathematik“ kann man nachlesen, dass rationale Verbindungen und iterierte Quadratwurzelbildung die Gesamtheit aller konstruierbaren Elemente ergeben, so dass aus der Dreiecksaufgabe sich etwas entwickeln lässt, was ich später in Lehramtsseminaren und -prüfungen häufiger thematisiert habe. Berühmte griechische Probleme wie die Unmöglichkeit der Winkeldreiteilung oder der Würfelverdopplung lassen sich damit lösen. Für mich war diese Dreiecks konstruktion ein **forschendes Lernen aus eigenem Impuls**. Sie hatte Auswirkungen bis in meine Hochschullehrtätigkeit.

Analoge für kleine Arbeitsgruppen geeignete Beispiele gibt es in Mathematik zuhauf, in verschiedenen Teildisziplinen (z. B. die Logeleien in der ZEIT); und unversehens lassen sich die Grenzen zu in der Forschung noch offenen Fragen erreichen, etwa solchen der Zahlentheorie. Die in den letzten Jahren in der Beziehung zur Informatik in den Blick geratenen Probleme werden dabei oft von Schülern und Schülerinnen zuerst wahrgenommen, da ihre Lehrer und Lehrerinnen mit Schulverwaltungsfragen ausgelastet sind. Auch die Beschränkung auf meine Fächer (Mathematik und Musik) hat sich für mich durch die Erfahrung der anderen Disziplinen in den Mittel- und Oberstufenakademien geweitet. Obwohl jeweils ein **Lernen** notwendig ist, tritt bei uns das **Forschen** nicht erst nach seinem Abschluss hinzu. Gutes Lernen geht immer bereits mit Forschen einher. Claudia Wulff hat mich gefragt, welche Rahmenbedingungen in Schulen, Lehramtsausbildung und bei unseren Schülerakademien notwendig sind für eine Übertragung solcher Arbeitshaltungen. Hier ein paar Stichworte:

1. Lehrerfortbildung ist in den letzten Jahrzehnten zu oft auf überfachliche Fragen konzentriert worden und nicht auf die Fächer, obwohl deren Studiengänge verschlankt wurden mit dem Versprechen, fachliche Weiterbildung stärker zu institutionalisieren.
2. Bei neuen fachlichen Inhalten wurden gerade die Themen für forschendes Lernen gern übersehen.
3. Die sogenannte Kompetenzorientierung der Ausbildungsgänge verführt dazu, die sorgsam Einzelbetrachtungen fachlicher und didaktischer Inhalte zu vernachlässigen.
4. Die in den Hessischen Schülerakademien trainierten Dozenten und ihr Nachwuchs benötigen ein Bewusstsein und gegenseitige Bestärkung darin, ihre Rahmenvoraussetzungen ernst zu nehmen, sie zu entwickeln, aber sie nicht falschen Trends zu opfern, welche sie zur Standardware machen würden.

Wenn diese Desiderata gelingen, hoffe ich, noch einige Dokumentationen der in Fürsteneck stattfindenden Mittel- und Oberstufenakademien mit Gewinn lesen zu können, die mich begeistern ebenso wie die Ergebnisse der diesjährigen.

Mit herzlichem Gruß an alle Leserinnen und Leser



Wolfgang (Metzler)

im September 2018

3 Handreichung zum Lesen der Dokumentation

Liebe Leser*innen,

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) 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 Teilnehmer*innen 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 Betreuer*innen für die Sitzungen im Sommer auf- und vorbereiten. Im Anschluss an die Sitzungen entstehen – wieder gemeinsam mit den Betreuer*innen – die Dokumentationsbeiträge. Folglich stellen diese keine Protokolle oder gar didaktische Anleitungen dar, sondern sind als Produkte einer länger währenden inhaltlichen Auseinandersetzung der Schüler*innen 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 Teilnehmer*innen 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 Schüler*innen über die studentischen Betreuer*innen bis zu den Kursleiter*innen führt. Dabei haben letztere Gruppen wiederum eigene Entwicklungsaufgaben zu erfüllen: Die Betreuer*innen unterstützen nicht nur den Schreibprozess ihrer Schüler*innen direkt und vor Ort, sie müssen diese Individualleistungen dann auch inhaltlich und stilistisch in das von den Kursleiter*innen 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 Mathematikurs

Das Unmögliche möglich machen – Mathematik & Origami

Die Verteilung der Primzahlen

Primzahlen faszinieren die Mathematiker schon seit vielen Jahrhunderten. Bereits Euklid wusste, dass es unendlich viele Primzahlen gibt, und er kannte bereits den Satz von der eindeutigen Primfaktor-Zerlegung, der deutlich später von Gauß formal bewiesen wurde.

Auf den ersten Blick scheinen Primzahlen eher zufällig aufzutreten; dies Phänomen wollten wir aber genauer unter die Lupe nehmen. Wir haben uns mit der Dichte der Primzahlmenge beschäftigt, und uns das Wachstumsverhalten einiger verwandter Funktionen angeschaut, wie zum Beispiel der Teileranzahlfunktion oder der Eulerschen ϕ -Funktion, die die zu einer natürlichen Zahl n teilerfremden, kleineren Zahlen abzählt.

Die Methoden, derer wir uns dabei bedienten, kommen zu einem bedeutenden Teil aus der Zahlentheorie, aber wir haben uns auch die Analysis und die Wahrscheinlichkeitstheorie zu Nutze gemacht.

In diesem Zusammenhang kamen wir auf unzählige beeindruckende neuere Erkenntnisse zu sprechen. So gibt es zum Beispiel den Satz von Erdős-Kac, der besagt, dass die Anzahl der Primfaktoren einer zufällig aus der Menge der ersten N Zahlen für große N gezogenen Zahl annähernd normalverteilt ist. Im Jahr 2004 wurde der Satz von Green-Tao bewiesen, der garantiert, dass es beliebig lange arithmetische Progressionen gibt, die nur aus Primzahlen bestehen.

Kursleitung

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

Maxim Gerspach, Mathematik-Doktorand an der ETH Zürich

4.1 Teilbarkeit, euklidischer Algorithmus, Kongruenzen und Restklassen

Schülerin: Isabel Casás Rama

Betreuer: Jonas Ellwanger

Teilbarkeit

Definition 1. Für ganze Zahlen a, b gilt: a teilt b , wenn eine ganze Zahl c existiert mit $ac = b$. Man nennt a dann einen Teiler von b .

Daraus lassen sich folgende Teilbarkeitsregeln ableiten:

1. $a|b$ und $a|c \Rightarrow a|(b+c)$

Beweis $a|b \Rightarrow \exists x$ mit $b = ax$ und $a|c \Rightarrow \exists y$ mit $c = ay$.

Daraus folgt: $b+c = ax+ay = a(x+y)$ und damit $a|(b+c)$

2. $a|b \Rightarrow a|bc$

Beweis $a|b \Rightarrow \exists n \in \mathbb{Z} : b = na \Rightarrow bc = nac = (nc)a \Rightarrow a|bc$

3. $a|n$ und $b|m \Rightarrow ab|nm$

Beweis $n = ax$ und $m = by \Rightarrow nm = axby = abxy \Rightarrow ab|nm$

Außerdem gibt es auch Teilbarkeitseigenschaften, die sich anhand der Ziffern einer Zahl ablesen lassen. Zum Beispiel ist eine Zahl durch 3 teilbar, wenn ihre Quersumme durch 3 teilbar ist.

Der größte gemeinsame Teiler Eine ganze Zahl $\neq 0$ hat endlich viele Teiler. Dadurch haben zwei ganze Zahlen a, b einen größten gemeinsamen Teiler $ggT(a, b)$. Wenn der größte gemeinsame Teiler gleich eins ist, heißen a und b teilerfremd.

Der euklidische Algorithmus Mit dem euklidischen Algorithmus kann man den ggT zweier ganzer Zahlen a und b bestimmen. Man teilt a durch b mit Rest r_1 , anschließend b durch r_1 mit Rest r_2 . Dies wird solange fortgeführt, bis bei einer Division der Rest 0 entsteht.

Allgemeine Form:

$$\begin{aligned} a &= bq_1 + r_1 & 0 \leq r_1 < b \\ b &= r_1q_2 + r_2 & 0 \leq r_2 < r_1 \\ r_1 &= r_2q_3 + r_3 & 0 \leq r_3 < r_2 \\ \dots & & \dots \\ r_{n-2} &= r_{n-1}q_n + r_n & r_n = 0 \end{aligned}$$

Alle Teiler von a und b teilen r_1 , somit auch r_2, r_3, \dots, r_{n-1} . D. h. der entsprechende ggT bleibt von Zeile zu Zeile unverändert. Es folgt $ggT(a, b) = ggT(r_{n-1}, r_n) = ggT(r_{n-1}, 0)$. Also liefert r_{n-1} den ggT von a und b . Die Folge $b > r_1 > r_2 > \dots$ ist eine Folge von nichtnegativen, ganzen Zahlen. Daher muss es einen Abbruch des Prozesses geben, also ein n mit $r_n = 0$.

Teilbarkeit und Kongruenz; Restklassenringe

Definition 2. Seien $a, b, m \in \mathbb{Z}, m \neq 0$. Wenn $m|(a - b)$, nennt man a kongruent zu b modulo m . Bei einer Division von a und b durch m ergibt sich dann bei beiden der gleiche Rest. Andernfalls nennt man die beiden Zahlen inkongruent modulo m .

Wenn $m|(a - b)$ schreibt man: $a \equiv b(m)$ oder auch $a \equiv b \pmod{m}$. Äquivalent dazu: $\exists k \in \mathbb{N}$ mit $a = b + km$.

Die Kongruenz modulo m ist eine Äquivalenzrelation, d.h. es gilt:

Reflexivität: $a \equiv a \pmod{m}$ für jedes $a \in \mathbb{Z}$.

Symmetrie: $a \equiv b \pmod{m} \Rightarrow b \equiv a \pmod{m}$.

Transitivität: $(a \equiv b \pmod{m} \text{ und } b \equiv c \pmod{m}) \Rightarrow a \equiv c \pmod{m}$.

Restklassen und Rechnen mit Kongruenzen Bei fixiertem m teilt die Äquivalenzrelation \mathbb{Z} in Äquivalenzklassen, auch Restklassen modulo m genannt, ein. Die Menge aller Restklassen mod m , oder auch Restklassenmenge genannt, wird mit $\mathbb{Z}/m\mathbb{Z}$ bezeichnet, die Restklasse einer ganzen Zahl a mit $[a]_m$. Es gibt dann genau m Restklassen modulo m : $[0]_m, [1]_m, \dots, [m-1]_m$ und es gilt $\mathbb{Z}/m\mathbb{Z} = \{[0]_m, [1]_m, \dots, [m-1]_m\}$.

Die Restklassenmenge $\mathbb{Z}/m\mathbb{Z}$ erbt von \mathbb{Z} eine Addition, Subtraktion und Multiplikation.

Seien $a, b, c, d, m \in \mathbb{Z}, m > 1$ und $a \equiv b \pmod{m}, c \equiv d \pmod{m}$, dann gilt:

- (1) $a + c \equiv b + d \pmod{m}$,
- (2) $a - c \equiv b - d \pmod{m}$,
- (3) $ac \equiv bd \pmod{m}$.

Jedem Paar von Restklassen wird durch die Vorschriften $+$ und \cdot jeweils eine Restklasse zugeordnet, welche man als Summe bzw. Produkt der Restklassen bezeichnet. Dadurch werden Verknüpfungen $(+, \cdot)$ auf der Menge der Restklassen modulo m definiert.

Rechenregeln $(\mathbb{Z}/m\mathbb{Z}, +)$: Assoziativgesetz, Kommutativgesetz, Existenz des neutralen Elements (Nullelement) und Existenz des inversen Elements \Rightarrow abelsche Gruppe
 $(\mathbb{Z}/m\mathbb{Z}, \cdot)$: Assoziativgesetz, Kommutativgesetz, Existenz des neutralen Elements (Einselement).
 Falls m prim, dann auch Existenz des inversen Elements \Rightarrow Monoid bzw. abelsche Gruppe
 $(\mathbb{Z}/m\mathbb{Z}, +, \cdot)$: zusätzlich: Distributivgesetz \Rightarrow Ring, falls m prim \Rightarrow Körper

Die Division gelingt im Allgemeinen also nur, wenn der Modul m eine Primzahl ist. Dann kann man die Existenz des multiplikativen Inversen mit Hilfe des erweiterten euklidischen Algorithmus beweisen.

Quellen

- A. Schmidt, *Einführung in die algebraische Zahlentheorie*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007
- J. Wolfart, *Einführung in die Zahlentheorie und Algebra, 2.*, überarbeitete und erweiterte Auflage, Vieweg+Teubner Verlag / Springer Fachmedien GmbH, Wiesbaden, 2011

4.2 Fundamentalsatz der Arithmetik und Satz von Euklid

Schüler: Jonas Braun

Betreuerin: Theresa Kumpitsch

Primzahlen sind ganze Zahlen mit genau zwei natürlichen Teilern: der Eins und sich selbst. Klingt einfach, viele Fragen über Primzahlen sind jedoch noch unbeantwortet. Dabei beschäftigt sich die Mathematik mindestens schon seit der Antike mit ihnen. Die folgenden beiden Resultate gehen auf Euklid (etwa 300 v. Chr.) zurück:

Satz 1. (Fundamentalsatz der Arithmetik). *Jede natürliche Zahl n lässt sich als Produkt von endlich vielen Primzahlen darstellen. Ordnet man diese Primzahlen der Größe nach, so ist diese Darstellung sogar eindeutig.*

Satz 2. (Satz von Euklid). *Es gibt unendlich viele Primzahlen.*

Beide Aussagen lassen sich mit Hilfe eines Widerspruchsbeweises zeigen. Diese Beweisstrategie basiert auf der logischen Äquivalenz von

$$A \Rightarrow B \quad \text{und} \quad \neg(A \wedge \neg B),$$

wobei A und B Aussagen bezeichnen. Beim Widerspruchsbeweis nimmt man nun $A \wedge \neg B$ an und führt diese Annahme mit Hilfe logischer Folgerungen zum Widerspruch.

Der Beweis von Satz 1 besteht aus einer Existenz- und einer Eindeutigkeitsaussage. Für den ersten Teil nimmt man an, es gäbe natürliche Zahlen, die sich nicht in ein Produkt von Primfaktoren zerlegen lassen. Es bezeichne n die kleinste natürliche Zahl mit dieser Eigenschaft. Dabei kann es sich weder um Eins, welche als leeres Produkt dargestellt wird, noch um eine Primzahl handeln. Deswegen ist $n = ab$ für ganze Zahlen $1 < a, b < n$. Jedoch müssen diese aufgrund der Minimalität von n eine Primfaktorzerlegung besitzen: $a = p_1 \cdot \dots \cdot p_k$ und $b = q_1 \cdot \dots \cdot q_\ell$. Dann besitzt aber auch n eine Zerlegung in Primfaktoren $n = p_1 \cdot \dots \cdot p_k \cdot q_1 \cdot \dots \cdot q_\ell$, was im Widerspruch zur Annahme steht.

Für die Eindeutigkeit wird folgendes Lemma gebraucht, das eine wichtige Eigenschaft von Primzahlen beschreibt:

Lemma 1. (Lemma von Euklid). Sei p eine Primzahl und a, b ganze Zahlen. Teilt p das Produkt $a \cdot b$, so muss p bereits einen der beiden Faktoren a oder b teilen.

Zum Beweis dieses Lemmas wird das Lemma von Bézout benötigt, das wir im ersten Referat behandelt haben. Es besagt, dass es zu zwei teilerfremden Zahlen c, d natürliche Zahlen t, s gibt, sodass

$$1 = t \cdot c + s \cdot d.$$

Für den Beweis des Lemmas von Euklid nehmen wir ohne Einschränkung an, dass p den Faktor a nicht teilt. Da p eine Primzahl ist, folgt $\text{ggT}(p, a) = 1$ und wir finden mit dem Lemma von Bézout $s, t \in \mathbb{Z}$, sodass $1 = t \cdot a + s \cdot p$. Nach Multiplikation mit b folgt $b = t \cdot a \cdot b + s \cdot p \cdot b$ und damit teilt p beide Summanden und somit auch b , was zu zeigen war.

Tatsächlich wird die Eigenschaft aus dem Lemma von Euklid zur Definition des Begriffs *prim* in allgemeineren Ringen als \mathbb{Z} erhoben, siehe Referat 4.

Die Eindeutigkeitsaussage aus Satz 1 wird wieder durch einen Widerspruchsbeweis gezeigt. Angenommen, die Zahl n besitzt zwei unterschiedliche Primfaktorzerlegungen, d.h.

$$\begin{aligned} n &= p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_k \\ &= q_1 \cdot q_2 \cdot \dots \cdot q_\ell, \end{aligned}$$

wobei die Primfaktoren der Größe nach geordnet seien. Offenbar teilt die kleinste vorkommende Primzahl q_1 das Produkt $p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_k$. Nach sukzessiver Anwendung des vorherigen Lemmas folgt, dass q_1 einen der Faktoren teilen muss. Weil es sich um der Größe nach geordnete Primzahlen handelt, folgt $q_1 = p_1$. Induktiv folgt $\ell = k$ und $q_i = p_i$ für alle $i = 1, \dots, k$, also dass die Primfaktorzerlegung von n eindeutig ist.

Schließlich wollen wir noch den Satz von Euklid beweisen. Man nehme hierfür an, es gebe nur endlich viele Primzahlen und $P = \{p_1, \dots, p_k\}$ sei eine vollständige Liste aller Primzahlen. Wir betrachten die Zahl

$$N = p_1 \cdot \dots \cdot p_k + 1.$$

Da $N > 1$, besitzt N einen Primfaktor q . Es gilt also $N \equiv 0 \pmod{q}$. Jedoch gilt $N \equiv 1 \pmod{p_j}$ für alle $j = 1, \dots, k$, d.h. q kann keine der Primzahlen p_1, \dots, p_k sein und die Liste P war nicht vollständig. Widerspruch!

Obwohl die Griechen ihre Existenz und Eindeutigkeit bereits beweisen konnten, ist Primfaktorzerlegung ein interessantes Thema für den digitalen Alltag. Es ist selbst für Computer nicht möglich, eine große Zahl, z.B. in der Größenordnung 10^{300} , schnell in ihre Primfaktoren zu faktorisieren. Dies macht sich die Kryptographie, insbesondere zum Beispiel das RSA-Verfahren, zunutze. Damit tragen Primzahlen und Erkenntnisse der Zahlentheorie dazu bei, dass wir heute in der Lage sind, uns sicher im Internet zu bewegen.

Quelle

- J. Wolfart, *Einführung in die Zahlentheorie und Algebra*, 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, Vieweg+Teubner Verlag / Springer Fachmedien GmbH, Wiesbaden, 2011

4.3 Komplexe Zahlen und Landau-Notation

Schülerin: Lizanne Breitenbach

Betreuerin: Lea Bach

In meiner Präsentation habe ich die komplexen Zahlen und die Landau-Notation behandelt. Die komplexen Zahlen sind eine Erweiterung der reellen Zahlen und werden eingeführt zur Lösung von Gleichungen, die nicht innerhalb der reellen Zahlen gelöst werden können.

Hierfür wird zuerst die imaginäre Einheit i eingeführt. Sie ist die Lösung der Gleichung

$$x^2 = -1.$$

Eine komplexe Zahl wird in der algebraischen Form mit $z = a + bi$ dargestellt, wobei a und b reelle Zahlen sind. Wir nennen a den Realteil der komplexen Zahl und b ihren Imaginärteil.

Die komplexen Zahlen können in der Gaußschen Zahlenebene dargestellt werden. In ihr bildet die vertikale Achse, genannt imaginäre Achse, den Imaginärteil der Zahl ab. Die waagrechte Achse wird reelle Achse genannt, da sie den Realteil der Zahl darstellt. Die komplexe Zahl wird somit durch den Punkt $z = (a|b)$ in der Gaußschen Zahlenebene dargestellt.

Generell gelten für die komplexen Zahlen die selben Rechengesetze wie für die reellen Zahlen. Bei der Addition werden die Klammern aufgelöst und man addiert anschließend den Realteil und den Imaginärteil.

$$(a + bi) + (c + di) = (a + c) + (b + d)i$$

Bei der Multiplikation in \mathbb{C} Zahlen gilt das Distributivgesetz, wobei i^2 äquivalent zu -1 ist:

$$(a + bi) \cdot (c + di) = ac + adi + bci + bdi^2 = ac + (bc + ad)i + bd(-1) = ac - bd + (bc + ad)i$$

Zur Division wird die zu $z = a + bi$ komplex konjugierte Zahl \bar{z} eingeführt als $\bar{z} = a - bi$. Man erkennt, dass $z \cdot \bar{z}$ ein reelles Ergebnis ergibt, nämlich die Summe der quadrierten Real- und Imaginärteile:

$$z \cdot \bar{z} = (a + bi)(a - bi) = a^2 + b^2 \in \mathbb{R}$$

Diese Eigenschaft macht man sich für die Division zunutze, erweitert den Bruch $\frac{a+bi}{c+di}$ mit der komplex konjugierten Zahl des Nenners und erhält

$$\frac{a + bi}{c - di} \cdot \frac{c + di}{c + di} = \frac{a + bi}{c^2 + d^2} + \frac{c - di}{c^2 + d^2}$$

Landau-Notation

Die Landau-Notation besteht aus der Groß-„O“ Notation und der Klein-„o“ Notation. Dabei vergleicht man zwei reelle Funktionen ($f(x), g(x)$) und versucht, diese nach Größe zu sortieren.

Die „O“ Notation besagt, dass $f(x) = O(g(x))$, falls es eine Konstante $c > 0$ und ein $x_0 > 0$ gibt mit $f(x) \leq c \cdot g(x)$ für alle $x \geq x_0$.

$f(x)$ liegt also nach dem Punkt x_0 unter $c \cdot g(x)$ und übersteigt diese Funktion auch nicht mehr.

Die Klein- „o“ Notation ist ähnlich zur Groß- „O“ Notation, jedoch ist c frei wählbar und die Bedingung gilt für alle c . Somit muss es für jedes c ein eigenes x_0 geben, damit ab x_0 gilt, dass $f(x) \leq c \cdot g(x)$.

Quellen

- B. Aulbach, *Analysis I und Analysis II: Verständlich, anschaulich, kompakt; ein Lehrbuch für das Bachelorstudium*, Pro Business Verl., Berlin, 2012
- C. Diehl, M. Leupp, *Leitprogramm Komplexe Zahlen*, [https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/dual/educeth-dam/documents/Unterrichtsmaterialien/mathematik/Komplexe%20Zahlen%20\(Leitprogramm\)/Leitprogramm.pdf](https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/dual/educeth-dam/documents/Unterrichtsmaterialien/mathematik/Komplexe%20Zahlen%20(Leitprogramm)/Leitprogramm.pdf)
- I. Schiermeyer, C. Brause, *O-Notation*, http://www.mathe.tu-freiberg.de/~brause/downloads/kt/ss_13/o-notation.pdf [Zugriff: 18.12.2018]

4.4 Der Ring der Ganzen Gaußschen Zahlen

Schülerin: Lilith Amanda Isheim

Betreuerin: Theresa Kumpitsch

Ganze Gaußsche Zahlen

Bei den ganzen Gaußschen Zahlen

$$\mathbb{Z}[i] := \{a + bi \mid a, b \in \mathbb{Z}\}$$

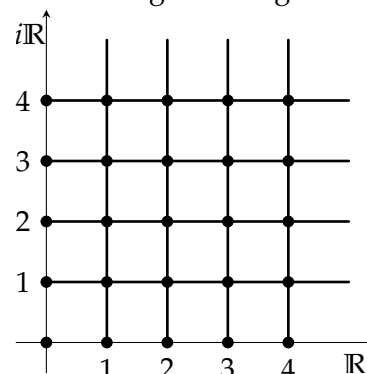
handelt es sich um eine Teilmenge der komplexen Zahlen \mathbb{C} .

Sie verhalten sich zu den komplexen Zahlen ähnlich wie die ganzen Zahlen \mathbb{Z} zu den reellen Zahlen \mathbb{R} .

Die ganzen Zahlen sind in den Ganzen Gaußschen Zahlen enthalten:

$$\mathbb{Z} = \{z = a + bi \in \mathbb{Z}[i] \mid b = 0\}$$

In der komplexen Ebene liegen die ganzen Gaußschen Zahlen auf den ganzzahligen Gitterpunkten:



Ein *Ring* $(R, +, \cdot)$ ist eine Menge R mit zwei Verknüpfungen (Addition und Multiplikation). In einem Ring gilt das Assoziativ- und Distributivgesetz – für die Addition zusätzlich das Kommutativgesetz. Bezüglich Addition gibt es ein neutrales Element, d.h. ein Element $0 \in R$, sodass $a + 0 = 0 + a = a$ für alle $a \in R$. Jedes Element $a \in R$ besitzt ein inverses Element bezüglich Addition, d.h. ein Element $b \in R$ sodass $a + b = 0$ (Notation: $b = -a$). Ist die Multiplikation zudem kommutativ und existiert ein neutrales Element bezüglich Multiplikation (Einselement), so spricht man von einem *kommutativen Ring mit Eins*.

Die Ganzen Gaußschen Zahlen bilden einen kommutativen Ring mit Eins bezüglich der üblichen komplexen Addition und Multiplikation.

Einheit, Teiler, Primelemente und Norm

Sei R ein Ring. Ein Element $a \in R$ ist eine *Einheit*, wenn es ein weiteres Element b im Ring R gibt, sodass gilt $a \cdot b = 1$. Wir notieren die Menge der Einheiten von R als R^\times . Die Einheiten im Ring der ganzen Gaußschen Zahlen sind

$$\mathbb{Z}[i]^\times = \{-i, i, -1, 1\}.$$

Ein Element $a \in R$ ist ein *Teiler* eines Elements b (Notation: $a \mid b$), wenn sich ein Element $r \in R$ finden lässt (ein Co-Teiler), sodass $b = r \cdot a$. In $\mathbb{Z}[i]$ ist beispielsweise $2 + i$ ein Teiler von 5.

Ein Element $\pi \in R$ heißt *Primelement*, wenn für alle $a, b \in R$ aus $\pi \mid a \cdot b$ folgt, dass $\pi \mid a$ oder $\pi \mid b$. Ein Element $\pi \in \mathbb{Z}[i]$ ist genau dann ein Primelement, wenn die einzigen Teiler von π die Folgenden sind:

$$T(\pi) = \{1, -1, i, -i, \pi, -\pi, i \cdot \pi, -i \cdot \pi\}.$$

Diese Äquivalenz lässt sich mit dem Lemma von Bézout zeigen, bekannt aus Vortrag 1.

Wir wollen im nächsten Schritt den euklidischen Algorithmus auf $\mathbb{Z}[i]$ übertragen. Da sich die ganzen Gaußschen Zahlen aber nicht anordnen lassen, definieren wir die *Norm*:

$$\begin{aligned} N : \mathbb{Z}[i] &\rightarrow \mathbb{N}_0 \\ z = a + bi &\mapsto |z|^2 = z \cdot \bar{z} = a^2 + b^2. \end{aligned}$$

Die Norm ist ferner multiplikativ, d.h.

$$N(\alpha \cdot \beta) = N(\alpha) \cdot N(\beta) \quad \text{für alle } \alpha, \beta \in \mathbb{Z}[i].$$

Euklidischer Algorithmus in $\mathbb{Z}[i]$

Der Ring $\mathbb{Z}[i]$ ist *euklidisch* bezüglich eben erwähnter Normfunktion. Das bedeutet: Zu $\alpha, \beta \in \mathbb{Z}[i]$ gibt es $\rho, \kappa \in \mathbb{Z}[i]$, sodass

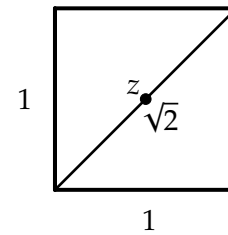
$$\alpha = \kappa \cdot \beta + \rho \quad \text{mit} \quad N(\rho) < N(\beta) \quad (\text{Division mit Rest}).$$

Dies lässt sich umformulieren: Zu einer komplexen Zahl $z = \alpha/\beta$ suchen wir eine Ganze Gaußsche Zahl $\kappa \in \mathbb{Z}[i]$, sodass

$$\left| \frac{\alpha}{\beta} - \kappa \right| < 1.$$

Anders gesagt suchen wir also den ganzzahligen Gitterpunkt mit dem minimalen Abstand zu einer komplexen Zahl. Wir gehen also von schlechtesten Fall aus, d.h. einer komplexen Zahl, die in der Mitte eines Gitterkästchens liegt. Dann ist der Abstand zu jedem Gitterpunkt gleich, nämlich $\sqrt{2}/2$. Da dies kleiner als 1 ist, ist die Behauptung gezeigt.

Es lässt sich also wie in \mathbb{Z} ein euklidischer Algorithmus definieren und sich damit der größte gemeinsame Teiler bestimmen.



Beziehung der Primelemente von $\mathbb{Z}[i]$ zu den Primzahlen

Satz 1. Jedes Primelement π in $\mathbb{Z}[i]$ teilt genau eine Primzahl p und es gilt einer der beiden folgenden Fälle:

- (a) π ist zu p assoziiert und es gilt $N(\pi) = p^2$.
- (b) $p = \pi \cdot \bar{\pi}$ und $N(\pi) = p$.

Man erkennt, dass die Primzahl p nur in Fall (a) ein Primelement in den Ganzen Gaußschen Zahlen ist.

Satz 2 (Primzerlegungsgesetz). Für eine Primzahl p in $\mathbb{Z}[i]$ gilt:

- (i) p ist Produkt zweier assoziierter Primelemente $\Leftrightarrow p = 2$;
- (ii) p ist Produkt zweier nicht-assoziierter Primelemente $\Leftrightarrow p \equiv 1 \pmod{4}$;
- (iii) p ist ein Primelement $\Leftrightarrow p \equiv 3 \pmod{4}$.

Satz 3 (Zwei-Quadrate-Satz). Für eine Primzahl $p \neq 2$ gilt:

$$p = a^2 + b^2 \quad (a, b \in \mathbb{Z}) \quad \Leftrightarrow \quad p \equiv 1 \pmod{4}.$$

Quelle

- J. Neukirch, *Algebraische Zahlentheorie*, Unveränd. Nachdr. d. 1. Aufl., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007

4.5 Abschätzungen zur Primzahlmenge

Schülerin: Julia Greilich
Betreuerin: Lea Bach

Wir wollen nun Genaueres über die Primzahlen wissen. Im Folgenden wird nicht nur die Unendlichkeit der Primzahlmenge und die Divergenz der Reihe der Reziproken der Primzahlen bewiesen, sondern außerdem werden erste Abschätzungen zur Dichte der Primzahlmenge gemacht.

Beweis für die Unendlichkeit der Primzahlmenge

An dieser Stelle benötigen wir die Hilfsfunktion $N_j(x)$, die zu einem $j \in \mathbb{N}$ die Anzahl der natürlichen Zahlen $n \leq x$ zählt, welche durch keine Primzahl p größer als p_j teilbar sind. Zur Abschätzung dieser Hilfsfunktion untersuchen wir die Zahlen n , die durch keine Primzahl p größer als p_j teilbar ist. Wir möchten wissen, wie viele Möglichkeiten es für ein solches n höchstens gibt.

Aufgrund der eindeutigen Primfaktorzerlegung gibt es Exponenten $d_1, \dots, d_j \in \mathbb{N}$ mit

$$n = p_1^{d_1} p_2^{d_2} p_3^{d_3} \dots p_j^{d_j}$$

Jetzt fassen wir alle quadratischen Teiler von n zusammen und nennen ihr Produkt q^2 , das Produkt aller nicht quadratischen Teiler nennen wir m . Es gilt $n = mq^2$ und wir bekommen durch Abschätzen der Möglichkeiten für m und q^2

$$N(x) \leq 2^j \sqrt{x}$$

Per Widerspruch beweisen wir nun erneut, dass die Primzahlmenge unendlich ist. Dazu nehmen wir an, es gebe nur $j \in \mathbb{N}$ Primzahlen p_1, \dots, p_j . Zu diesem j ist $N_j(x) = x$ für alle x . Formen wir dies nun um, kommen wir auf $x \leq 2^{2j}$, was jedoch ein Widerspruch ist, da wir immer eine ganze Zahl x größer als 2^{2j} finden können. Somit folgern wir, dass die Primzahlmenge unendlich ist.

Beweis für die Divergenz der Reihe der Reziproken der Primzahlen

Eine Reihe ist eine Folge, deren Folgenglieder aufsummiert werden. Eine Reihe konvergiert, wenn die Folge ihrer Partialsummen konvergiert.

Dass die Reihe der Kehrwerte der Primzahlen divergiert, wollen wir wieder durch einen Widerspruchsbeweis zeigen: Wenn die Reihe konvergiert, muss es eine natürliche Zahl j geben, sodass gilt

$$\frac{1}{p_{j+1}} + \frac{1}{p_{j+2}} + \frac{1}{p_{j+3}} + \frac{1}{p_{j+4}} + \dots \leq \frac{1}{2}$$

Nun kommen wir wieder zu unserer Hilfsfunktion $N(x)$ zurück und betrachten diesmal $x - N(x)$, also die Anzahl der $n \leq x$, die durch mindestens eines der $p_{j+1}, p_{j+2}, p_{j+3} \dots$ teilbar sind. Da die Anzahl der $n \leq x$, die durch eine Primzahl $p \in \mathbb{N}$ teilbar ist, höchstens $\frac{x}{p}$ sein kann, ergibt das

$$x - N(x) \leq \frac{x}{p_{j+1}} + \frac{x}{p_{j+2}} + \frac{x}{p_{j+3}} + \frac{x}{p_{j+4}} + \dots \leq \frac{x}{2}$$

Nun kommen wir wieder zurück zur Ungleichung $N(x) < 2^j \sqrt{x}$. Formen wir diese Ungleichung nun um, kommen wir auf

$$x < 2^{2j+2}$$

Das jedoch ist wiederum ein Widerspruch, da wir zu jedem $j \in \mathbb{N}$ eine Zahl $x > 2^{2j+2}$ finden, so wie im ersten Beweis auch. $x < 2^{2j+2}$ würde bedeuten, dass die natürlichen Zahlen beschränkt sind. Somit haben wir bewiesen, dass die Reihe nicht konvergieren kann, sondern dass sie somit divergieren muss.

Abschätzung der Funktion $\pi(x)$

$\pi(x)$ zählt die Anzahl der Primzahlen bis zur Zahl x . Für die Abschätzung wählen wir zu unserer Hilfsfunktion $j = \pi(x)$ so, dass j die Anzahl der Primzahlen bis zur Zahl x ist. Dann ist die $(j+1)$ -te Primzahl $p_{j+1} > x$ und $N(x) = x$.

Nun benutzen wir wieder unsere Abschätzung aus dem Beweis von Euklids zweitem Satz und setzen unser gewähltes j ein. Wir erhalten

$$x = N(x) \leq 2^{\pi(x)} \sqrt{x}$$

Mit einigen Umformungen folgt

$$\pi(x) \geq \frac{\ln x}{2 \ln 2}$$

Damit haben wir eine untere Schranke von $\pi(x)$, also eine untere Schranke der Anzahl der Primzahlen bis zu einer Zahl x .

Abschätzung von p_n

Wir wählen in der Ungleichung

$$\frac{\ln x}{2 \ln 2} \leq \pi(x)$$

$x = p_n$, p_n ist die n -te Primzahl. Dann ist $\pi(x) = \pi(p_n) = n$. Mit weiteren Umformungen erhalten wir

$$p_n \leq 4^n$$

Wir haben es nun also geschafft, eine erste Abschätzung zur Primzahlmenge zu machen, wenn auch Ausprobieren mit Zahlenbeispielen ergibt, dass sie leider noch nicht sehr genau ist.

Quellen

- G. H. Hardy, E. M. Wright, *An introduction to the theory of numbers*, Sixth edition, Oxford University Press, Oxford, New York und Auckland, **2008**
- B. Aulbach, *Analysis I und Analysis II: Verständlich, anschaulich, kompakt; ein Lehrbuch für das Bachelorstudium*, Pro Business Verl., Berlin, **2012**

4.6 Die Farey-Folge

Schülerin: Hannah Corbaz

Betreuer: Max Wiegand

Für eine feste natürliche Zahl n ist das n -te Folgenglied F_n der Farey-Folge, eine der Größe nach geordnete Sequenz, die aus allen vollständig gekürzten Brüchen mit Nenner $\leq n$ im Intervall $[0, 1]$ besteht.

Beispiel: $F_5 = \{\frac{0}{1}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{2}{5}, \frac{1}{2}, \frac{3}{5}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{4}{5}, \frac{1}{1}\}$

Wir wollen die Farey-Folge konstruieren:

Nachbarbrüche

Definition: Wir definieren für $a, c \in \mathbb{Z}$ und $b, d \in \mathbb{N}$ Nachbarbrüche $\frac{a}{b} < \frac{c}{d}$, als Brüche für die $\frac{c}{d} - \frac{a}{b} = \frac{bc-ad}{bd} = \frac{1}{bd}$ gilt, d.h. $bc - ad = 1$.

Für Nachbarbrüche $\frac{a}{b} < \frac{c}{d}$ können wir $\frac{c}{d} = \frac{1+ad}{b+d}$ schreiben. Da $d \in \mathbb{N}$ beliebig groß gewählt werden kann, kann man daraus folgern, dass es unendlich viele Nachbarbrüche zu jedem vollständig gekürzten Bruch gibt. Wir haben im Kurs bewiesen, dass der folgende Satz gilt:

Satz 1: Zwischen Nachbarbrüchen können nur Brüche mit höherem Nenner liegen.

Medianten

Definition: $\frac{a+c}{b+d}$ heißt *Mediante* zu den Brüchen $\frac{a}{b}$ und $\frac{c}{d}$.

Beachte, dass die Mediante zwischen $\frac{a}{b}$ und $\frac{c}{d}$ liegt.

Satz 2: Wenn $\frac{a}{b} < \frac{c}{d}$ Nachbarbrüche sind, dann ist ihre Mediante $\frac{a+c}{b+d}$ auch ein Nachbarbruch zu den Ausgangsbrüchen.

Beweis: $\frac{a+c}{b+d} - \frac{a}{b} = \frac{ab+bc-ab-ad}{b(b+d)} = \frac{bc-ad}{b(b+d)} = \frac{1}{b(b+d)}$. Analog: $\frac{c}{d} - \frac{a+c}{b+d} = \frac{1}{d(b+d)}$.

Satz 3: Wenn der Bruch $\frac{m}{n}$ zwischen $\frac{a}{b}$ und $\frac{c}{d}$ liegt und ein Nachbarbruch zu ihnen ist, so ist er deren gekürzte Mediante.

Beweis: Gilt $\frac{a}{b} < \frac{m}{n}$ und $\frac{m}{n} < \frac{c}{d}$, dann folgt $bm - an = 1$ und $cn - dm = 1$. Setzt man die linken Seiten gleich, erhält man $\frac{m}{n} = \frac{a+c}{b+d}$.

Definition: Wir definieren die *spezielle* Mediantenreihe M_n , indem wir bei den Randbrüchen $\frac{0}{1}$ und $\frac{1}{1}$ beginnend iterativ die Medianten der Nachbarbrüche aus dem vorherigen Schritt bilden, deren Nenner n nicht überschreiten.

Satz 4: Es gilt $M_n = F_n$.

Beweis: Wir beweisen durch vollständige Induktion, dass M_n alle vollständig gekürzten Brüche in $[0, 1]$ mit Nenner $\leq n$ enthält.

Induktionsanfang: Der Satz gilt für $M_1 = (\frac{0}{1}, \frac{1}{1})$

Induktionsannahme: Der Satz gelte für ein beliebiges, aber festes, n : Das Folgenglied M_n enthält alle Brüche in $[0, 1]$.

Induktionsschritt: $M_n \Rightarrow M_{n+1}$:

Wir betrachten zunächst benachbarte Brüche, deren Nennersumme $n + 1$ ist. Die Mediante aus ihnen wird gebildet.

$$\frac{a}{b} < \frac{c}{d} \in M_n; \quad \frac{a}{b} < \frac{a+c}{b+d} < \frac{c}{d} \notin M_{n+1}; \quad b+d = n+1$$

Aus Satz 1 folgt, dass zwischen $\frac{a}{b}$ und $\frac{c}{d}$ keine kleineren Nenner als b, d existieren. Deshalb können zwischen $\frac{a}{b}$ und $\frac{c}{d}$ keine Brüche mit Nenner $\leq n$ liegen. Betrachtet man jeweils deren Medianten, muss deren Nenner $> n + 1$ sein. Als Nächstes betrachten wir die restlichen Brüche mit Nennersumme $> n + 1$.

$$\frac{a}{b} < \frac{c}{d} \in M_n; \quad \frac{a}{b} < \frac{a+c}{b+d} < \frac{c}{d} \notin M_{n+1}; \quad b+d > n+1.$$

Analog zum ersten Fall gilt, dass zwischen der Mediante und dem Ausgangsbruch nur Nenner $> n + 1$ liegen.

Daraus können wir folgern, dass zwischen den Brüchen der Reihe nur Brüche mit Nenner $> n$ liegen, d.h. es existieren keine weiteren Brüche mit Nenner $\leq n$, die nicht in M_n enthalten sind.

Approximation von reellen Zahlen

Eine Eigenschaft der Farey-Folge ist, dass man mit Hilfe ihrer Elemente reelle Zahlen approximieren kann. Einer der Sätze dazu ist der Approximationssatz von Dirichlet.

Satz: Zu einer festen reellen Zahl α und einer beliebigen rationalen Zahl $Q \geq 3$ gibt es teilerfremde ganze Zahlen p und $q < Q$ mit

$$\left| \alpha - \frac{p}{q} \right| \leq \frac{1}{qQ}.$$

Ist α irrational, dann existieren unendlich viele gekürzte Brüche $\frac{p}{q}$ mit

$$\left| \alpha - \frac{p}{q} \right| < \frac{1}{q^2}.$$

Quellen

- N. Oswald, J. Steuding, *Elementare Zahlentheorie: Ein sanfter Einstieg in die höhere Mathematik*, Springer Spektrum, Berlin u. a., **2015**
- H. Humberger in *Beiträge zum Mathematikunterricht 2005: Vorträge auf der 39. Tagung für Didaktik der Mathematik*, (Hrsg.: G. Graumann), Franzbecker, Hildesheim, **2005**, S. 259–262
- H. Kunik, *Farey-Sequenzen*, <http://www-ian.math.uni-magdeburg.de/home/kunik/farey.pdf> [Zugriff: 18.12.2018]
- G. H. Hardy, E. M. Wright, *An introduction to the theory of numbers*, Sixth edition, Oxford University Press, Oxford, New York und Auckland, **2008**

4.7 Ford-Kreise und Approximationssatz von Hurwitz

Schülerin: Stella Teschler
Betreuer: Jonas Ellwanger

Ford-Kreise

Ford-Kreise sind eine geometrische Visualisierung der Farey-Folge.

Definition 1. Im Einheitsintervall $[0, 1]$ in der euklidischen Ebene \mathbb{R}^2 ist der Ford-Kreis zu $\frac{a}{b} \in F_n$ definiert als:

$$C\left(\frac{a}{b}\right) = \left\{ (x, y) \in \mathbb{R}^2 : \left(x - \frac{a}{b}\right)^2 + \left(y - \frac{1}{2b^2}\right)^2 = \left(\frac{1}{2b^2}\right)^2 \right\}.$$

Kreise lassen sich durch quadratische Gleichungen folgender Gestalt ausdrücken:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2,$$

wobei die Menge der Lösungen (x, y) einen Kreis vom Radius r um den Mittelpunkt (x_0, y_0) beschreibt.

Ein Ford-Kreis ist dann ein Kreis mit Radius $\frac{1}{2b^2}$ um den Mittelpunkt $\left(\frac{a}{b}, \frac{1}{2b^2}\right)$.

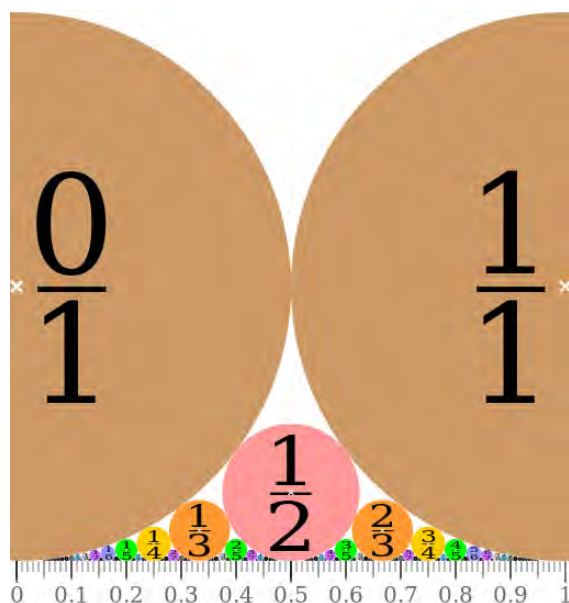


Abb. 1: Ford-Kreise

Satz 1. Zwei Ford-Kreise berühren sich genau dann, wenn die zugehörigen Farey-Brüche in einem F_n benachbart sind, ansonsten sind sie disjunkt.

Beweisskizze: Man zeigt, dass die Summe der Radien genau dann gleich dem Abstand der Mittelpunkte ist, wenn die beiden Farey-Brüche benachbart sind. (Abbildung 2) \square

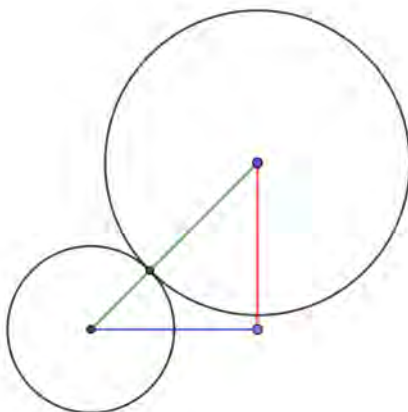


Abb. 2: Berührende Ford-Kreise

Ausgehend von den Farey-Folgen kann man eine irrationale Zahl $\alpha \in [0, 1]$ durch den Schnitt der Geraden $x = \alpha$ mit Ford-Kreisen in der euklidischen Ebene approximieren. Die Näherungsbrüche sind dabei die x-Koordinaten der Mittelpunkte der geschnittenen Kreise.

Approximationssatz von Hurwitz

Mit dem Approximationssatz von Hurwitz lässt sich die maximale Abweichung, die man bei der Approximation einer irrationalen Zahl durch rationale Zahlen mit Hilfe der Farey-Folgen gemacht hat, bestimmen. Er gibt eine obere Schranke für den Fehler, der durch die Approximation entstanden ist, an.

Der Approximationssatz von Hurwitz ist eine Verschärfung des Approximationssatzes von Dirichlet.

Satz 2. Satz von Hurwitz: Ist $\alpha \in \mathbb{R}$ irrational, so gibt es unendlich viele rationale Zahlen $\frac{a}{b}$, sodass

$$\left| \alpha - \frac{a}{b} \right| < \frac{1}{\sqrt{5}b^2}.$$

Die Konstante $\sqrt{5}$ ist hierbei bestmöglich: Wird $\sqrt{5}$ durch eine größere Konstante ersetzt, so gibt es im Falle $\alpha = \frac{1}{2} \cdot (\sqrt{5} + 1)$ nur noch endlich viele a, b , die obiger Ungleichung genügen. α beschreibt hierbei den Goldenen Schnitt.

Quellen

- N. Oswald, J. Steuding, *Elementare Zahlentheorie: Ein sanfter Einstieg in die höhere Mathematik*, Springer Spektrum, Berlin u. a., 2015
- J. Werner, *Merkwürdige Mathematik*, <http://num.math.uni-goettingen.de/werner/schmanker1.pdf> [Zugriff: 30.07.2018]
- M. Drmota, *Zahlentheorie*, <https://www.dmg.tuwien.ac.at/drmota/zahlentheorieskriptum.pdf> [Zugriff: 30.07.2018]

4.8 Multiplikative Zahlentheoretische Funktionen, die Dirichletfaltung und der Chinesische Restsatz

Schülerin: Marie Korbmacher

Betreuer: Nicolas Müller

Der Chinesische Restsatz

Theorem 1. Seien m_1, \dots, m_n paarweise teilerfremde natürliche Zahlen und seien $a_1, \dots, a_n \in \mathbb{Z}$. Dann gibt es eine ganze Zahl x_0 , die die folgenden Kongruenzen erfüllt:

$$\begin{aligned} x_0 &\equiv a_1 \pmod{m_1} \\ x_0 &\equiv a_2 \pmod{m_2} \\ &\vdots \\ x_0 &\equiv a_n \pmod{m_n}. \end{aligned}$$

Sei $M = m_1 \cdot \dots \cdot m_n$. Dann sind die Zahlen $x_0 + kM$ für $k \in \mathbb{Z}$ genau alle Lösungen.

Multiplikative Zahlentheoretische Funktionen

Definition 1. Eine Funktion $f : \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{C}$ heißt multiplikative zahlentheoretische Funktion, falls $f(1) = 1$ und $f(nm) = f(n) \cdot f(m)$ für $n, m \in \mathbb{N}$ mit $\text{ggT}(n, m) = 1$ ist.

Die Eulersche φ -Funktion

Bei den zahlentheoretischen Funktionen haben wir uns vor allem mit der Eulerschen φ -Funktion beschäftigt. Die Eulersche φ -Funktion weist jeder natürlichen Zahl n die Anzahl der zu n teilerfremden natürlichen Zahlen zu, die $\leq n$ sind.

Die φ -Funktion hat zwei wichtige Eigenschaften:

1. Für Primzahlpotenzen gilt $\varphi(p^v) = p^v - p^{v-1}$
2. Die Eulersche φ -Funktion ist eine multiplikative zahlentheoretische Funktion, das heißt für alle teilerfremden Zahlen $n, m \in \mathbb{N}$ gilt: $\varphi(mn) = \varphi(m) \cdot \varphi(n)$

Aus dem Lemma von Bézout aus Vortrag 1 folgt, dass $\varphi(n)$ der Mächtigkeit der Einheitengruppe von $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$ entspricht. Die Multiplikativität der Eulerschen φ -Funktion folgt aus folgendem Korollar des Chinesischen Restsatzes:

Korollar 1. Seien m_1, \dots, m_n paarweise teilerfremde ganze Zahlen. Dann sind die folgenden Funktionen Bijektionen:

$$\begin{aligned} \mathbb{Z}/m_1 \cdots m_n \mathbb{Z} &\rightarrow \mathbb{Z}/m_1 \mathbb{Z} \times \cdots \times \mathbb{Z}/m_n \mathbb{Z} \\ [x]_{m_1 \cdots m_n} &\mapsto ([x]_{m_1}, \dots, [x]_{m_n}), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\mathbb{Z}/m_1 \cdots m_n \mathbb{Z})^* &\rightarrow (\mathbb{Z}/m_1 \mathbb{Z})^* \times \cdots \times (\mathbb{Z}/m_n \mathbb{Z})^* \\ [x]_{m_1 \cdots m_n} &\mapsto ([x]_{m_1}, \dots, [x]_{m_n}) \end{aligned}$$

Die Teilerfunktion

Definition 2. Die Teilerfunktion σ_k ist eine Funktion, die einer natürlichen Zahl die Summe ihrer Teiler erhoben zu einer gewissen Potenz zuordnet:

$$\sigma_k(n) = \sum_{d|n} d^k.$$

Die Teilerfunktion ist multiplikativ, das heißt für teilerfremde Zahlen n, m gilt:

$$\sigma_k(nm) = \sigma_k(n) \cdot \sigma_k(m)$$

Die Dirichlet-Faltung

Definition 3. Für zwei multiplikative zahlentheoretische Funktionen ist die Dirichlet-Faltung definiert durch:

$$(f * g)(n) = \sum_{d|n} f(d) g\left(\frac{n}{d}\right)$$

Die Summe wird hierbei immer nur über die natürlichen Teiler von n durchgeführt.

Theorem 2. Die Dirichlet-Faltung von zwei multiplikativen zahlentheoretischen Funktionen ist wieder multiplikativ.

Wir haben zum Beispiel

$$(1 * I^k)(n) = \sum_{d|n} d^k = \sigma_k(n)$$

wobei $I(n) = n$ die Identität ist. So haben wir mit Hilfe der Dirichlet-Faltung die erwähnte Teilerfunktion gebildet.

Quellen

- J. Wolfart, *Einführung in die Zahlentheorie und Algebra, 2.*, überarbeitete und erweiterte Auflage, Vieweg+Teubner Verlag / Springer Fachmedien GmbH, Wiesbaden, 2011

4.9 Fermatzahlen, Mersenne(-prim-)zahlen und vollkommene Zahlen

Schüler: Per Andres Pohlmann

Betreuer: Max Wiegand

Fermatzahlen

Eine Fermatzahl ist eine Zahl der Form:

$$F_n = 2^{2^n} + 1$$

mit $n \in \mathbb{N}_0$.

Diese sind nach ihrem Entdecker, dem französischen Mathematiker und Juristen Pierre de Fermat (*1607, +1665), benannt, welcher vermutete, dass alle Fermatzahlen prim wären. Der Gedanke hinter dieser Vermutung ist, dass eine Zahl der Form

$$a^n + 1$$

mit $a, n \in \mathbb{N}_0, a \geq 2$

nur dann eine Primzahl sein kann, wenn diese eine Fermatzahl ist. Bisher sind fünf Fermatzahlen, die prim sind, bekannt. Einige weitere nicht prime Fermatzahlen wurden schon teilweise oder vollständig faktorisiert, womit sich diese Vermutung als falsch erweist.

Des Weiteren lässt sich mit den Fermatzahlen der Satz von Euklid beweisen, der besagt, dass die Primzahlmenge \mathbb{P} unendlich ist. Der Beweis basiert auf dem Fakt, dass zwei beliebige, aber voneinander verschiedene, Fermatzahlen keinen gemeinsamen Teiler haben. Somit erhalten wir für jede der unendlich vielen Fermatzahlen jeweils mindestens eine weitere Primzahl.

Mersenne(-prim-)zahlen

Eine Mersennezahl ist eine Zahl der Form:

$$M_n = 2^n - 1$$

mit $n \in \mathbb{N}$.

Diese Zahlen sind nach ihrem Entdecker Marin Mersenne (*1588, †1648), einem weiteren französischen Mathematiker, Theologen und Musiktheoretiker, benannt. Falls eine Mersennezahl prim ist, wird sie als Mersenneprimzahl bezeichnet. Für diese gilt

$$M_p = 2^p - 1$$

mit $p \in \mathbb{P}$.

Aktuell sind 50 Mersenneprimzahlen bekannt, welche die größten uns Menschen bekannten Primzahlen bilden. Die Größte von ihnen ist $M_{77232917}$ mit mehr als 23 Millionen Ziffern.

Die Mersenne(-prim-)zahlen bringen auch noch viele nicht bewiesene Vermutungen mit sich. Unter anderem die Unendlichkeit der Menge der Mersenneprimzahlen ist bisher weder bewiesen noch widerlegt.

Vollkommene Zahlen

Eine Zahl wird als vollkommen bezeichnet, wenn die Teilersumme (alle Teiler einer Zahl zusammenaddiert), das Doppelte der zu untersuchenden Zahl ergibt:

$$\sigma_1(n) = \sum_{d|n} d = 2n$$

Diese Funktion ist eine multiplikative zahlentheoretische Funktion, da $\sigma_1(1) = 1$ und $\sigma_1(nm) = \sigma_1(n) \cdot \sigma_1(m)$ für teilerfremde n, m gilt.

Eine Zahl $n = 2^m u$, $m, u \in \mathbb{N}$, $2 \nmid u$ ist dann vollkommen, wenn u eine Mersenneprimzahl $2^{m+1} - 1$ ist. Aufgrund der Multiplikativität lässt sich nun die Teilersumme von 2^m und u einzeln betrachten:

$$\sigma_1(2^m) = 2^{m+1} - 1, \quad \sigma_1(u) = \sigma_1(2^{m+1} - 1) \geq 2^{m+1}.$$

Die Ungleichung wird dabei zur Gleichheit für den Fall, dass $2^{m+1} - 1$ prim ist, da in diesem Fall die einzigen Teiler 1 und $2^{m+1} - 1$ sind. Somit folgt, dass zu jeder Mersenneprimzahl M_p genau eine vollkommene Zahl gehört.

Für die Umkehrung sei $n = 2^m u$ vollkommen mit $2 \nmid u$. Somit folgt

$$2n = 2 \cdot 2^m u = 2^{m+1} u = \sigma_1(n) = (2^{m+1} - 1) \cdot \sigma_1(u)$$

mit $(2^{m+1} - 1) | u$.

Durch die Multiplikativität der Teilersummenfunktion wird u in seine Primpotenzen p^s zerlegt, wobei $\frac{p^s}{\sigma_1(p^s)}$ mit wachsendem s monoton fällt. Daraus folgt die erste Ungleichung, bei welcher Gleichheit für $u = 2^{m+1} - 1$ auftritt:

$$\frac{u}{\sigma_1(u)} \leq \frac{2^{m+1} - 1}{\sigma_1(2^{m+1} - 1)} \leq \frac{2^{m+1} - 1}{2^{m+1}}$$

Für Gleichheit in der zweiten Ungleichung muss $2^{m+1} - 1$ prim sein, da sonst $\sigma_1(2^{m+1} - 1) > 2^{m+1}$. Somit ist auch die Umkehrung des Beweises gezeigt. Somit ist auch gezeigt, dass für jede vollkommene Zahl $n = 2^m u$ die Zahl u eine Mersenneprimzahl sein muss. Dieser Beweis ist insofern für die elementare Zahlentheorie wichtig, da mit dem Beweis der Unendlichkeit der vollkommenen Zahlen oder der Mersenneprimzahlen auch die Unendlichkeit der Anderen bewiesen wird.

Quellen

- J. Wolfart, *Einführung in die Zahlentheorie und Algebra*, 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, Vieweg+Teubner Verlag / Springer Fachmedien GmbH, Wiesbaden, 2011
- G. H. Hardy, E. M. Wright, *An introduction to the theory of numbers*, Sixth edition, Oxford University Press, Oxford, New York und Auckland, 2008

4.10 Der Satz von Tschebyscheff

Schülerin: Malak Ali

Betreuer: Nicolas Müller

Definition 1. Für $x \in \mathbb{R}$ sei $\pi(x)$ die Anzahl der Primzahlen $\leq x$.

Der Satz von Tschebyscheff schätzt $\pi(x)$ sowohl nach oben als auch nach unten ab. Der Satz lautet:

Theorem 1. Für $n \in \mathbb{N}$ mit $n \geq 4$ gilt

$$\frac{1}{4} \frac{n}{\log n} \leq \pi(n) \leq 6 \frac{n}{\log n}.$$

Tschebyscheff war ein russischer Mathematiker. Mit diesem Satz wollte er zeigen, dass die Anzahl der Primzahlen bis zur Zahl n nahe bei der Funktion $\frac{n}{\log n}$ liegt. Im Folgenden möchten wir die linke Ungleichung beweisen, also zeigen, wie er auf $\frac{1}{4} \frac{n}{\log n}$ gekommen ist. Der Beweis ist in mehrere Schritte gegliedert. Viele Zwischenschritte wurden aus Platzgründen weggelassen.

Schritt 1: Die folgende Ungleichung kann per Induktion bewiesen werden:

$$2^n < \binom{2n}{n}. \quad (1)$$

Schritt 2: Für eine Zahl n und eine Primzahl p schreiben wir $v_p(n)$ für die Multiplizität von p in der Primfaktorzerlegung von n .

Man kann berechnen, dass für $n!$ gilt:

$$v_p(n!) = \sum_{m \geq 1} \left[\frac{n}{p^m} \right] = \sum_{m=1}^{\left[\frac{\log n}{\log p} \right]} \left[\frac{n}{p^m} \right]. \quad (2)$$

Schritt 3: Durch Logarithmieren und Einsetzen von $\binom{2n}{n} = \frac{(2n)!}{(n!)^2}$ erhält man aus Gleichung (1):

$$n \log 2 < \log(2n)! - 2 \log n!$$

Schritt 4: Da in der Primfaktorzerlegung von $(2n)!$ alle Primfaktoren $\leq 2n$ sind, können wir schreiben:

$$(2n)! = \prod_{\substack{p \leq 2n \\ p \text{ prim}}} p^{k_p},$$

$$n! = \prod_{\substack{p \leq 2n \\ p \text{ prim}}} p^{l_p}.$$

wobei k_p die Multiplizität von p in $(2n)!$ ist und l_p die Multiplizität von p in $n!$. Aus (2) folgt

$$k_p = v_p((2n)!) = \sum_{m \geq 1} \left\lfloor \frac{2n}{p^m} \right\rfloor,$$

$$l_p = v_p(n!) = \sum_{m \geq 1} \left\lfloor \frac{n}{p^m} \right\rfloor.$$

Schritt 5: Wir berechnen nun

$$\log(2n)! - 2 \log n! = \sum_{\substack{p \leq 2n \\ p \text{ prim}}} k_p \log(p) - 2 \sum_{\substack{p \leq 2n \\ p \text{ prim}}} l_p \log(p).$$

Hierbei verwenden wir, dass der Logarithmus ein Produkt in eine Summe verwandelt.

Schritt 6: Wir setzen die Ausdrücke für k_p und l_p in die Rechnung ein und erhalten:

$$\log(2n)! - 2 \log n! = \sum_{\substack{p \leq 2n \\ p \text{ prim}}} \sum_{m=1}^{\left\lfloor \frac{\log 2n}{\log p} \right\rfloor} \left(\left\lfloor \frac{2n}{p^m} \right\rfloor - 2 \left\lfloor \frac{n}{p^m} \right\rfloor \right) \log p.$$

Schritt 7: Die Glieder der inneren Summe sind 0 oder 1, denn allgemein gilt

$$[2x] - 2[x] = \begin{cases} 0 & \text{wenn } x - [x] < \frac{1}{2}, \\ 1 & \text{wenn } x - [x] \geq \frac{1}{2}. \end{cases}$$

Da $\left\lfloor \frac{2n}{p^m} \right\rfloor - 2 \left\lfloor \frac{n}{p^m} \right\rfloor$ entweder 0 oder 1 ist, können wir schreiben:

$$n \log 2 < \sum_{\substack{p \leq 2n \\ p \text{ prim}}} \left\lfloor \frac{\log 2n}{\log p} \right\rfloor \log p \leq \pi(2n) \log(2n).$$

Schritt 8: Für gerade n folgt daraus schon die linke Ungleichung des Satzes, denn

$$\pi(2n) > \frac{n \log 2}{\log 2n} > \frac{1}{4} \frac{2n}{\log 2n},$$

wegen $\log 2 > \frac{1}{2}$. Daraus folgt auch für ungerade Argumente wegen $\frac{n \log 2}{2n+1} > \frac{1}{4}$ für $n \geq 2$, dass:

$$\pi(2n+1) > \frac{n \log 2}{\log 2n} > \frac{1}{4} \frac{2n+1}{\log(2n+1)}.$$

Quelle

- J. Wolfart, *Einführung in die Zahlentheorie und Algebra, 2.*, überarbeitete und erweiterte Auflage, Vieweg+Teubner Verlag / Springer Fachmedien GmbH, Wiesbaden, 2011

5 Physikkurs

Bei Licht betrachtet

Von den physikalischen Grundlagen des Lichts bis zu Anwendungen in der Physik, Chemie, Biologie und Medizin

Licht ist nur ein kleiner Ausschnitt aus dem großen Bereich der elektromagnetischen Wellen, die wir von Radiowellen über Mikrowellen und optischer Strahlung bis zu Röntgen- und Gammastrahlen nutzen. Die physikalische Beschreibung ist dieselbe: elektromagnetische Wellen oder Lichtteilchen „Photonen“, die sich mit hoher Geschwindigkeit ausbreiten. Die Wechselwirkung mit Materie hängt von der Energie der Photonen ab: Während Röntgen- oder Gammastrahlung chemische Bindungen „knacken“ kann und damit Materie zerstört, wird Infrarotstrahlung als „Wärme“ empfunden und sichtbares Licht in allen möglichen Formen ist für das Leben unerlässlich.

Sichtbares Licht nutzen wir im Alltag zur Beleuchtung, ultraviolettes Licht wird zur Entkeimung von Trinkwasser oder im Sonnenstudio verwendet, Infrarotlicht nutzen wir z. B. als Wärmestrahlung und für die Analytik, und Röntgenstrahlung in der Medizin oder in der Forschung.

Wir befassen uns im Kurs mit den Grundlagen elektromagnetischer Wellen, ihrer Erzeugung, ihrer Ausbreitung und ihrer Wechselwirkung mit Materie sowie ihrer Detektion. Mit einem Röntgengerät untersuchen wir die unterschiedliche Schwächung von Röntgenstrahlung durch Materie. Mit einigen optischen Geräten bauen wir ein Spektralphotometer für den sichtbaren Spektralbereich, mit dem wir Alltagsmaterialien wie beispielsweise Lebensmittel, Kosmetika, Bestandteile von Pflanzen untersuchen können.

Kursleitung

Dr. Wolf Aßmus, Professor für Physik

Dr. Werner Mäntele, Professor für Biophysik

beide an der Goethe-Universität Frankfurt am Main

Soweit nicht anders vermerkt, sind Abbildungen und Grafiken von der Autorin oder dem Autor selbst erstellt und Spektren selbst gemessen.

5.1 Schwingungen und Wellen

Schülerin: Ricarda Mettlach

Betreuer: Jan Fotakis

Da sich Licht als Welle ausbreitet, ist ein gutes Verständnis ihrer Eigenschaften notwendig, um dessen Verhalten zu verstehen und zu nutzen, etwa zur Vermessung verschiedenster Objekte. Im Folgenden werden mit Hilfe der Wellenwanne einige wellentypische Effekte veranschaulicht. Aber zuerst einmal: Was ist eine Welle?

Wellen

Wird ein Schwinger, auch Oszillator genannt, aus seiner Ruhelage ausgelenkt, beginnt dieser zu schwingen. Wenn mehrere solcher Oszillatoren gekoppelt sind, breitet sich die Auslenkung im Raum aus. Dies bezeichnet man als Welle. Die Welle ist also die periodische, räumliche Ausbreitung der Störung einer orts- und zeitabhängigen physikalischen Größe. Die Ausbreitungsgeometrie variiert hier je nach Wellentyp. Es gibt unter anderem ebene, lineare, Kreis- und Kugelwellen. Eine andere mögliche Unterteilung ist die in Longitudinal- und Transversalwellen; hierbei verlaufen die Schwingungsvektoren entweder (anti-)parallel (z.B.: Schall) oder orthogonal (z.B.: Licht) zur Ausbreitungsrichtung. Lichtwellen bestehen aus einem magnetischen und einem elektrischen Feld, die orthogonal zueinander und zur Ausbreitungsrichtung stehen. Sie sind somit Transversalwellen und können polarisiert werden. Um eine Welle zu polarisieren, filtert man alle Schwingungsvektoren, die parallel oder antiparallel zur Polarisationsrichtung verlaufen, mit Hilfe eines Polarisators heraus.

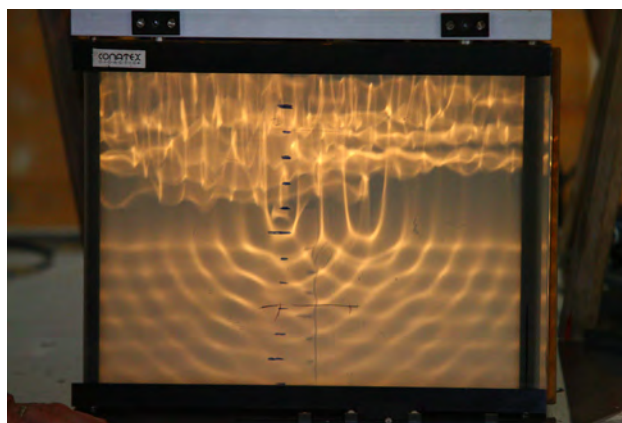


Abb. 1: Interferenzmuster Doppelspalt [Urheber: Alexander Dick]

Reflexion und Beugung in der Wellenwanne

Die Wellenwanne ist eine Apparatur, mit der man Wellen in Wasser erzeugen und diese mit Hilfe einer Lichtquelle auf einen Schirm projizieren kann. Stellt man nun ein für die Wellen unüberwindbares Hindernis in die Wellenwanne, kann man ihre Reflexion an dem Hindernis beobachten. Hierbei sind der Winkel, mit dem die Welle auf das Hindernis trifft, und der sogenannte Reflexionswinkel identisch. Verschiebt man das Hindernis so, dass ein Teil der Welle ungehindert passieren kann, beobachtet man, dass sich diese Wellen, anders als es (Licht-)Strahlen tun würden, auch in den geometrischen Schatten des Hindernisses hinein ausbreiten. Dieses als Beugung bezeichnete Phänomen lässt sich an Hand des Huygensschen Prinzips erklären. Christiaan Huygens beschrieb erstmals Wellen als Überlagerung vieler kugelförmiger Elementarwellen. Nach dem Huygensschen Prinzip kann somit aus jedem Punkt einer Wellenfront eine sekundäre Elementarwelle entstehen. Trifft die Wasserwelle auf das Hindernis, entstehen an der Kante Elementarwellen, wodurch sie sich in den Schatten hinein ausbreiten kann.

Fügt man ein zweites Hindernis hinzu, erhält man einen Einzelpalt. Ist dieser schmäler als eine Wellenlänge entsteht, (in guter Näherung) eine einzige Kreiswelle. Fügt man einen zweiten Spalt hinzu, beobachtet man zwei kohärente, also gleichschwingende, Kreiswellen, die sich überlagern

(siehe Abb. 1). Diese Überlagerung wird als Interferenz bezeichnet. Treffen zwei Wellenberge oder zwei Wellentäler aufeinander, addieren sie sich zu einem höheren/tieferen Wellenberg/-tal. Man spricht von konstruktiver Interferenz. Damit sich die beiden Wellen auslöschen, also destruktiv interferieren, müssen ein Wellenberg und ein Wellental aufeinandertreffen. Ein solches aus konstruktiver und destruktiver Interferenz zweier Kreiswellen resultierendes Interferenzmuster ist in Abb.1 gut hinter dem Doppelspalt zu erkennen.

Die beschriebenen Phänomene und daraus resultierende Gesetzmäßigkeiten kann man auf alle Arten von Wellen übertragen. Im diesjährigen Physikkurs haben wir diese Effekte bei Licht an Hand von einigen Experimenten beobachtet und gesehen, wie man sie technisch nutzen kann.

Quellen

- [1] P. A. Tipler u. a., *Physik: Für Wissenschaftler und Ingenieure*, 7. Aufl. 2015, Springer, Berlin, Heidelberg, 2015
- [2] W. Demtröder, *Experimentalphysik 1: Mechanik und Wärme*, 8. Auflage, Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 2018
- [3] S. Brandt, H. D. Dahmen, *Schwingungen und Wellen: Phänomene in Mechanik und Elektrodynamik*, Springer Spektrum, Wiesbaden, 2016
- [4] D. Meschede, *Gerthsen Physik*, 25. Aufl., Springer Spektrum, Berlin, 2015
- [5] C. Bräutigam, *Analysis III Seminar: Herleitung der Wellengleichung und Diskussion der schwingenden Saite*, 2013

5.2 Spektroskopie und Fotometrie- Anwendungsbeispiele

Schülerin: Thalia Lohfink

Betreuer: Jesse Jones

Spektroskopie wird wie folgt definiert: „Spektroskopie ist die Wissenschaft über die Wechselwirkung zwischen Licht und Materie.“. Sie ermöglicht die Charakterisierung von Atomen, Ionen und Molekülen. ^[1]

Bei der Spektroskopie wird oft Licht einer bestimmten Wellenlänge auf die Probe in einer Küvette gestrahlt. Daraufhin absorbieren die Elektronen Licht und werden in ein höheres Energieniveau angeregt. Durch diese Absorption nimmt die Intensität des Lichtes ab und mit Hilfe des Detektors wird die Abschwächung des Lichtes bestimmt. ^[2]

Dieser Vorgang wird für jede Wellenlänge kontinuierlich durchgeführt. Es entsteht ein Absorptionsspektrum, anschließend können verschiedenste Aussagen über das Probenmaterial auf mikroskopischer Ebene getroffen werden. Für die Berechnung der Abschwächung der Intensität des Lichts wird das Lambert-Beer'sche

Gesetz verwendet. Es lautet

$$\log \frac{I}{I_0} = -\epsilon \cdot c \cdot d$$

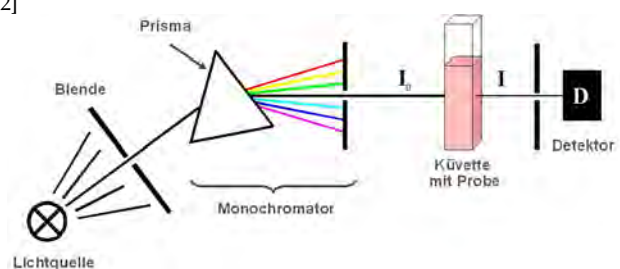


Abb. 1: Aufbau eines Spektrometers

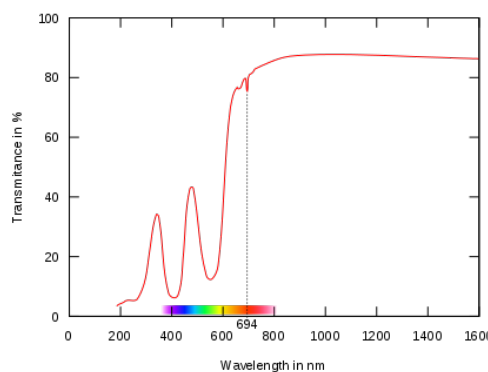
Das Absorptionsvermögen $\frac{I}{I_0}$ gibt das logarithmische Verhältnis bei der gegebenen Wellenlänge vor und nach der Küvette an. Das Lambert-Beer'sche Gesetz besagt, dass die Intensität der Strahlung beim Durchgang durch eine absorbierende Substanz abnimmt. [3]

Um ein Spektrum zu erzeugen, kann man mit einem Prisma oder mit einem Gitter arbeiten. Wenn Licht auf ein Prisma trifft, so wird es gebrochen und das Licht wird in seine Wellenlängen aufgefächert. Wird ein Gitter verwendet, so tritt am Gitter die Beugung des Lichts auf und das gebeugte Licht überlagert sich. Dadurch entstehen farbige Interferenzstreifen und diese bilden in ihrer Gesamtheit ein Spektrum. [4]

Anwendungsbeispiele

Die Fotometrie bezeichnet Messverfahren im Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes mit Hilfe eines Fotometers. Sie wird zur Analyse von verschiedenen farbigen und löslichen Substanzen eingesetzt, wie z.B. in der Lebensmittelanalytik um den Kupfergehalt in Trinkwasser zu bestimmen.

Die Fotometrie kann auch in der Astronomie verwendet werden. Die Breitbandfotometrie misst die Stärke der Strahlung über einen weiten Wellenlängenbereich. Hiermit lassen sich die Parameter, wie die Materialzusammensetzung oder die Fluchtgeschwindigkeit eines Sterns, gut bestimmen. Bei der Schmalbandfotometrie wird im Bereich einzelner Spektrallinien gemessen werden, um deren Intensitäten zu bestimmen, z.B. bei planetarischem Nebel. [5]



Die UV/VIS-Spektroskopie ist eine elektronenspektroskopische Methode, in der die Absorption von sichtbarem-/UV-Licht durch zum Beispiel organische Moleküle gemessen wird. Man erhält aus diesen Messungen Informationen über die elektronischen Anregungen in organischen Molekülen. Ein weiteres Anwendungsbeispiel ist die Infrarot-Spektroskopie. Bei dieser wird mit Licht der Wellenlänge 780-1000 nm gemessen. Sie nutzt die Molekülschwingungsanalyse zur Strukturaufklärung und zur Stoffzusammensetzungsberechnung. [6]

Abb. 2: Spektrum eines 1 cm dicken Rubin-Kristalls [7]

Experimente

Ein Experiment, das wir durchführten, war die Analyse von Chlorophyll mit einem Transmissionsphotometer, im Wellenlängenbereich 400-800 nm. Chlorophyll absorbiert fast vollständig die Farben blau und rot, weshalb nur grünes Licht hindurch kommt und die Blätter grün erscheinen. Durch die Analyse soll geklärt werden, welche Farbe das Chlorophyll tatsächlich hat. Dafür mussten, in unserem Fall, die Blätter mit den enthaltenen Molekülen in gelöster

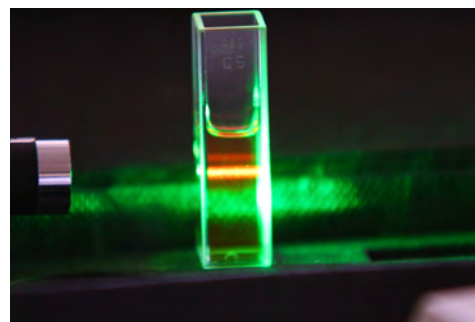


Abb. 3: Fluoreszenz von Chlorophyll im roten Wellenlängenbereich [8]

Form in einem Aceton-Wasser-Gemisch vorliegen. Daraufhin wurde eine Küvette mit der Nanopartikelösung und eine weitere Küvette mit einer Blindprobe, die das Lösungsmittel enthielt,

befüllt. Die Küvetten werden in das Spektrometer gestellt, das Spektrometer wird geschlossen und das Spektroskopieprogramm wird gestartet. Der Computer registriert dann das Transmissionspektrum, das ausgewertet werden kann. Dieses zeigt ein Minimum bei rotem und blauem Licht im Bereich von 650-700 nm und 430-490 nm. Das bedeutet, dass das Chlorophyll, welches wir analysiert haben, Chlorophyll a und b ist. Dies, da das Minimum im roten und blauem Bereich bedeutet, dass dieses Licht nicht transmittiert bzw. absorbiert wurde. Nachfolgend ein Vergleich zu einem Referenzspektrum und unserem aufgenommenen Spektrum. Das Referenzspektrum ist ein Absorptionsspektrum und unser aufgenommenes Spektrum ist ein Transmissionsspektrum. Es ist gut zu erkennen, dass sich die beiden Spektren zu eins aufaddieren würden.

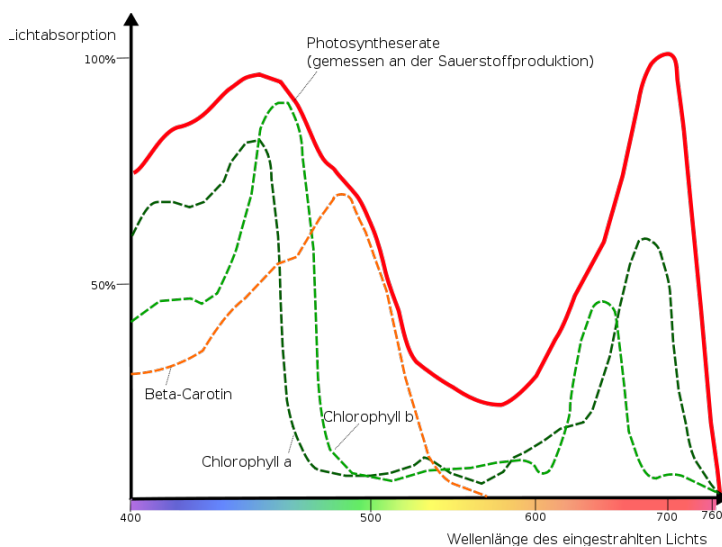


Abb. 4: Absorptionsspektrum von Chlorophyll [9]

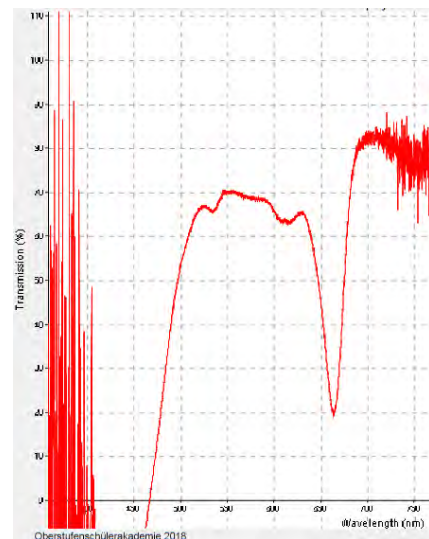


Abb. 5: Transmissionsspektrum von Chlorophyll

Quellen

- [1] www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/13/vlu/spektroskopie/grundlagen/einfuehrung.vlu.html (zuletzt aufgerufen am 28.07.2018)
- [2] www.nora.lucycity.de/index.php/charakterisierung-nebenmenue/uv-vis-spektroskopie (zuletzt aufgerufen am 28.07.2018)
- [3] https://de.wikipedia.org/wiki/Lambert-Beersches_Gesetz (zuletzt aufgerufen am 28.07.2018)
- [4] <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/spektren> (zuletzt aufgerufen am 28.07.2018)
- [5] <https://de.wikipedia.org/wiki/Photometrie> (zuletzt aufgerufen am 28.07.2018)
- [6] <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/chemie-abitur/artikel/spektroskopische-analysemethoden-uv-vis-spektroskopie-und> (zuletzt abgerufen am 28.07.2018)
- [7] <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3754830> (zuletzt abg. am 28.07.2018) freigegeben unter CC-BY SA 4.0; Urheber:FDominec (<https://commons.wikimedia.org/wiki/User:FDominec>)
- [8] Urheber: Alexander Dick
- [9] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lichtabsorbtion_eines_buchenblattes.svg (zuletzt abgerufen am 28.07.2018) Nutzung gemeinfrei; Urheber:Lanzi

5.3 Schwarze Strahler

Schüler: Benjamin Fluck

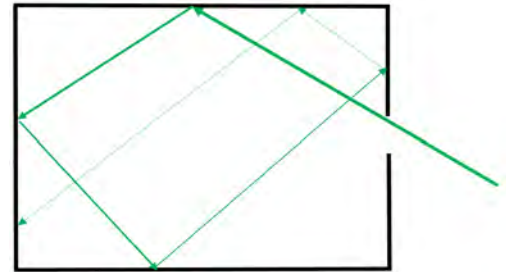
Betreuer: Jan Fotakis

Ein Körper, der eine Temperatur von größer 0 Kelvin hat, strahlt Energie in Form von Wärmestrahlung ab. Diese Wärmestrahlung ist nichts anderes als elektromagnetische Wellen im Wellenlängenbereich $0.1 \mu\text{m}$ bis $1000 \mu\text{m}$, die sich mit der Geschwindigkeit c (Lichtgeschwindigkeit) ausbreiten. Das sichtbare Licht hat Wellenlängen zwischen $0.4 \mu\text{m}$ (violett) und $0.7 \mu\text{m}$ (rot).

Ist ein Körper im thermischen Gleichgewicht mit seiner Umgebung, so emittiert dieser, falls er sich nicht zusätzlich in direkten Kontakt mit anderen Körpern befindet, genauso viel Energie in Form von Strahlung, wie er absorbiert. Daraus folgt: Je besser eine Fläche Strahlung absorbiert, desto besser muss sie auch strahlen, um das thermische Gleichgewicht aufrecht zu erhalten, um nicht immer wärmer zu werden und vice versa. Wir führen, um das Absorptionsvermögen einer Fläche zu beschreiben, daher den Absorptionsgrad $\epsilon(\nu)$ ein, der zwischen 0 und 1 liegt und angibt, wie gut ein Körper auftreffende Wärmestrahlung absorbiert. Er ist von der Frequenz ν der Strahlung abhängig. Wir stellen uns nun eine Fläche vor, die für alle Frequenzen einen Absorptionsgrad von $\epsilon(\nu) = 1$ besitzt, diese nennen wir einen idealen schwarzen Strahler. Die emittierte Leistung P einer Fläche lässt sich nun durch den Absorptionsgrad der Fläche und die abgestrahlte Leistung eines idealen schwarzen Strahlers P_s ausdrücken:

$$P = \epsilon(\nu) \cdot P_s \quad (\text{Kirchhoff'sches Strahlungsgesetz})$$

Zur Beschreibung eines idealen schwarzen Strahlers bedienen wir uns des Modells eines Hohlraums mit einem sehr kleinen Loch, der die Bedingung $\epsilon(\nu) = 1$ erfüllt. Das Licht fällt durch das kleine Loch in den Hohlraum und wird dort an den Wänden immer wieder teilweise absorbiert, sodass am Ende kaum noch etwas wieder aus dem Loch herauskommt.



Wir wollen nun das Spektrum der Schwarzkörperstrahlung beschreiben. Die spektrale Energiedichte $\rho(\nu, T)$, in den Einheiten Energie pro Kubikmeter, ist nicht nur von der Frequenz, sondern zusätzlich auch noch von der Temperatur abhängig.

Abb. 1: Illustration eines schwarzen Körpers

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts stand die Physik vor einem schwierigen Problem. Es schien, als sei die Physik abgeschlossen, doch es blieben Phänomene unerklärt, die durch die klassische Physik nicht erklärt werden konnten. Das Spektrum der schwarzen Strahlung ist ein Beispiel hierfür, an dessen Erklärung einige Physiker mit klassischen Methoden der Verzweiflung nahe kamen. Max Planck jedoch gelang es schließlich durch seine Quantenhypothese, die Physik zu revolutionieren, und er legte den Grundstein der Quantenphysik. Sein Ansatz war es, die Photonenenergie zu quanteln. Ein Photon trägt demnach die Energie $E = h \cdot \nu$, wobei die Hilfskonstante h das Planck'sche Wirkungsquantum mit dem Wert $6,626 \cdot 10^{-34} \text{Js}$ ist. Es ergibt sich ein Gesetz, durch das die spektrale Energiedichte eines schwarzen Strahlers beschrieben wird, das sogenannte Planck'sche Strahlungsgesetz:

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

Bereits vorher hatten mehrere Physiker versucht, das Spektrum der Schwarzkörper-Strahlung zu beschreiben. Das Rayleigh-Jeans Gesetz

$$\rho(\nu, T)d\nu \approx \frac{8\pi h\nu^2}{c^3}kT d\nu$$

beschreibt das Spektrum für kleine Frequenzen sehr gut, versagt jedoch bei großen Frequenzen völlig und die spektrale Energiedichte divergiert (Ultra-Violett-Katastrophe).

Auch das Wien'sche Strahlungsgesetz beschreibt das Spektrum der Schwarzkörper-Strahlung mit Methoden der klassischen Physik

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

Für große Frequenzen stimmt das Wien'sche Strahlungsgesetz mit dem Planck'schen überein. Für kleine Frequenzen versagt es ebenfalls.

Mit Hilfe des Planck'schen Strahlungsgesetzes lässt sich auch ganz einfach das Maximum ν_m der Strahlungsdichte errechnen:

$$\nu_m = \frac{2,82k}{h}T = 5,88 \cdot 10^{10}T \left[\frac{Hz}{K} \right]$$

Es ergibt sich ein einfacher Zusammenhang zwischen der Position des Maximus ν_m und der Temperatur des schwarzen Körpers. Die Sonne zum Beispiel emittiert die maximale Energiedichte bei einer Frequenz von $\nu_m = 3,4 \cdot 10^{14}Hz$. Es ergibt sich nach Umformen und Einsetzen eine Oberflächentemperatur der Sonne von etwa 5782K.

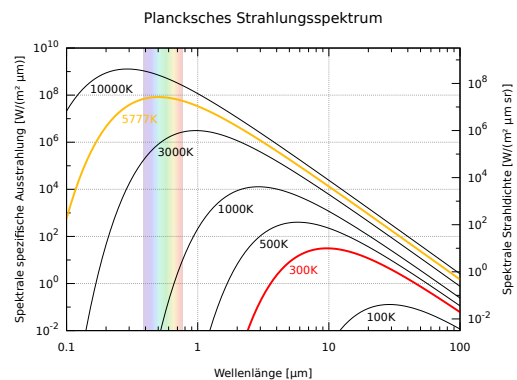


Abb. 2: Graphische Auftragung des Planck'schen Strahlungsgesetzes [3]

Nun wollen wir auch noch die gesamte abgestrahlte Leistung über das gesamte Spektrum eines schwarzen Strahlers berechnen. Das Stefan-Boltzmann-Gesetz besagt, dass für die gesamte abgestrahlte Leistung eines schwarzen Strahlers mit Oberfläche A und Temperatur T gilt:

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

σ ist hierbei die Stefan-Boltzmann-Konstante mit dem Wert $5,67 \cdot 10^{-8}W/m^2K^4$

Die praktische Anwendung des Planck'schen Strahlungsgesetzes findet sich in der Pyrometrie. Mit Pyrometern können auf einfachstem Wege Temperaturen gemessen werden. Eine Strahlungsquelle S wird durch eine Linse dort abgebildet, wo sich der Draht einer Glühlampe befindet. Die Stromstärke der Glühlampe wird daraufhin durch den Widerstand R so reguliert, dass der Glühdraht vor dem strahlenden Hintergrund verschwindet. Da bei höherer Stromstärke auch die Temperatur aufgrund des elektrischen Widerstands steigt, lässt sich einer bestimmten Stromstärke eine Temperatur zuordnen.

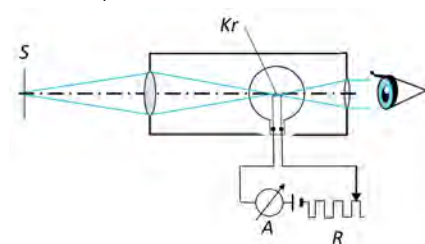


Abb. 3: Aufbau eines Pyrometers

Quellen

- [1] D. Meschede, *Gerthsen Physik*, 25. Aufl., Springer Spektrum, Berlin, 2015
- [2] H. Herwig, *Wärmeübertragung: Ein nahezu allgegenwärtiges Phänomen*, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2017
- [3] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BlackbodySpectrum_loglog_de.svg (zuletzt abgerufen am 31.07.2018) freigegeben unter CC-BY SA 4.0; Urheber: Prog (<https://commons.wikimedia.org/wiki/User:Prog>)

5.4 Einführung in die Quantenmechanik

Schülerin: Emma Dierlamm

Betreuer: Jan Fotakis

Im Jahre 1913 entwickelte der Physiker Niels Bohr das Atommodell von Rutherford weiter, welches aussagt, dass sich die negativ geladenen Elektronen in einer Hülle um den positiv geladenen Kern bewegen, um die Erkenntnis, dass sich die Elektronen nur auf erlaubten Bahnen auf einen spezifischen Energieniveau um den Atomkern bewegen. Dafür stellt Bohr folgende Postulate auf:

- Im Atom existieren stabile Bahnen, auf denen sich Elektronen bewegen, ohne Energie abzugeben.
- Der Bahndrehimpuls L eines Elektrons ist ein ganzzahliges Vielfaches von $\hbar = h/2\pi$
- Jeder erlaubten Elektronenbahn entspricht eine bestimmte Energie E der Elektronen. Wechselt ein Elektron die Bahn, so ist die Energie des emittierten bzw. absorbierten Photons gleich der Energiedifferenz der Bahnen.

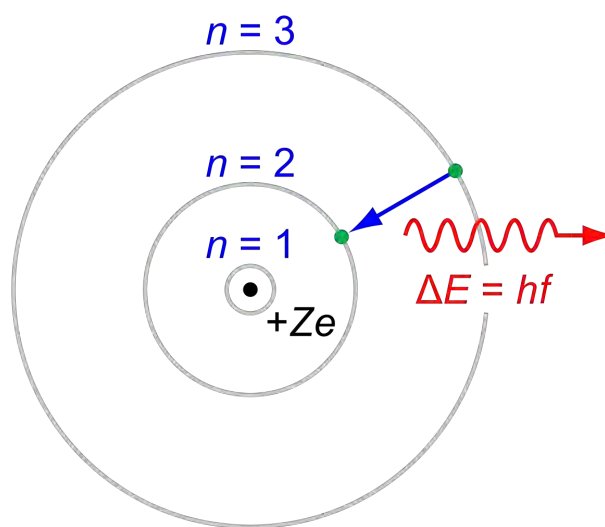


Abb. 1: Aufbau eines Atoms nach Niels Bohr [6]

$$\Delta E = h \cdot f$$

Im Jahre 1922 bekam Albert Einstein den Nobelpreis für seine Deutung des *Photoelektrischen Effekts*, welche neben dem *Welle-Teilchen-Dualismus* und der Entdeckung der diskreten Natur von Licht der Startschuss für die Quantentheorie war. Einstein verwendete Plancks Quantenhypothese (siehe vorheriger Beitrag), um zu erkennen, dass Licht einen Teilchencharakter besitzt. Einstein nannte diese Lichtteilchen Photonen, nach dem griechischen Wort „phos“ für Licht.

Beim Photoeffekt werden Elektronen durch Lichteinstrahlung auf ein metallisches Target entweder aus ihrer Bahn in der Atomhülle herausgelöst (äußerer Photoeffekt) oder lediglich auf ein höheres Energieniveau angehoben, wobei sie doch bald wieder auf ihr altes Niveau relaxieren und

dabei ein Photon mit einer bestimmten Frequenz emittieren (innerer Photoeffekt). Ersteres spielt eine wichtige Rolle in der Materialforschung, da die sogenannte Photoelektronenspektroskopie darauf beruht. Der innere Photoeffekt bildet die Basis der Photovoltaik-Technologie. Interessant ist nun, dass bei dem Photoeffekt die Photonenenergie ausschließlich von der Frequenz bzw. Energie abhängt, nicht von der Intensität der Strahlung. Dies ist die Quantenhypothese nach Planck.

Dieser Ansatz ist deshalb so revolutionär, da er einerseits nicht mit der klassischen Physik beschrieben werden kann, und andererseits den Teilchencharakter von Licht nahelegt, wobei man bisher Licht für eine Welle gehalten hat. Sollen wir uns nun Licht als Teilchen oder Welle vorstellen? Es besitzt sowohl Wellen- als auch Teilcheneigenschaften.

Für die Teilchennatur spricht der Compton-Effekt (nach Arthur Holly Compton, 1922). Dieser beschreibt den elastischen Stoß eines Photons mit einem ruhenden Elektron. Dabei gibt das Photon einen Teil seiner Energie an das Elektron ab, welches in Folge dessen einen Impuls besitzt. Das Photon wird ebenfalls abgelenkt und bewegt sich in eine andere Richtung weiter als das Elektron. Da Energie nicht erzeugt oder vernichtet werden kann (Energieerhaltung), verringert sich nach der Quantenhypothese die Frequenz bzw. erhöht sich die Wellenlänge des Photons. In sogenannten Compton-Teleskopen (auch Compton-Kameras genannt) misst man Energie und Richtung des gestreuten Photons sowie Energie und Richtung des Elektrons. So können Energie, Ursprungsrichtung und unter Umständen die Polarisation des einfallenden Photons bestimmt werden. In Zukunft erhofft man sich ein hochwertigeres bildgebendes Verfahren bei Tumoruntersuchungen durch den Compton-Effekt möglich zu machen.

Allerdings gibt es auch Experimente, die den Wellencharakter von Licht nahelegen (Interferenz bzw. Beugung). Ist Licht nun eine Welle oder ein Teilchen? Eine Hypothese dazu lieferte Louis de Broglie 1924 in seiner Doktorarbeit, wofür er auch den Nobelpreis erhielt: Licht besitzt beide Eigenschaften! Nach dem sogenannten Wellen-Teilchen-Dualismus besitzen Quantenobjekte sowohl einen Wellen- als auch einen Teilchencharakter. Jedem Körper mit einem Impuls kann auch eine entsprechende Wellenlänge zugeordnet werden. De Broglie nahm an, dass die beiden Gleichungen $E = m \cdot c^2$ und $W = h \cdot f$ immer erfüllt sein müssen. Erstere Gleichung zeugt vom Teilchen- und letztere vom Wellencharakter. Dies führt zum Ausdruck der sogenannten De-Broglie-Wellenlänge. Jeder Körper besitzt diese Wellenlänge, allerdings ist diese bei makroskopischen Körpern so klein, dass sie schlichtweg vernachlässigbar ist. Jedoch besitzen Quantenobjekte so große De-Broglie-Wellenlängen, sodass Quanteneffekte in Prozessen, dieses Objekt betreffend, nicht mehr vernachlässigbar sind.

1927 entdeckte der Physiker Werner Heisenberg die sogenannte *Heisenbergsche Unschärferelation*. Aus der makroskopischen Welt kennen wir, dass Impuls und Ort eines Objektes stets gleichzeitig und beliebig genau gemessen werden können. Jedoch gilt dies nicht für Quantenobjekte. Nach Heisenberg gibt es eine Messgrenze, die verhindert, dass wir Impuls und Ort eines Quantenobjektes gleichzeitig exakt messen können. Ist eines der beiden sehr genau gemessen, so folgt aus der Relation, dass die Messung der anderen Größe sehr „unscharf“ – statistisch stark fehlerbehaftet – ist. Diese Grenze ist nicht technischer Natur, sondern fundamentaler und kann somit nicht umgangen werden. Allgemein ist zu sagen, dass ohne quantenmechanische Erkenntnisse, so wie die diskrete Natur von Licht, nicht nur die Spektroskopie, sondern unser ganzes modernes Leben mit all seinen Innovationen nicht möglich wäre.

Quellen

- [1] W. Demtröder, *Experimentalphysik 1: Mechanik und Wärme*, 8. Auflage, Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, **2018**
- [2] M. D. Lechner, *Einführung in die Quantenchemie: Aufbau der Atome und Moleküle, Spektroskopie*, Springer Spektrum, Berlin und Heidelberg, **2017**
- [3] W. W. Osterhage, *Studium Generale Quantenphysik: Ein Rundflug von der Unschärferelation bis zu Schrödingers Katze*, Springer Spektrum, Berlin, **2014**
- [4] <https://www.leifiphysik.de/quantenphysik/quantenobjekt-elektron/unschaeferrelati on> (24.06.2018)
- [5] <https://www.physik.hu-berlin.de/de/nano/lehre/WS10-11/experimental2/skript12> (09.07.2018)
- [6] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bohr_atom_model.svg (zuletzt abg. 09.02.2019) freigegeben unter CC BY-SA 3.0; Urheber: JabberWok (<https://en.wikipedia.org/wiki/User:JabberWok>)

5.5 Lichtstreuung an Partikeln

Schüler: Karl Erlemann

Betreuer: Jesse Jones

Lichtstreuung bedeutet Ablenkung von Lichtwellen an Teilchen in einem Medium. Dabei wird ein Photon diffus reflektiert. Der blaue Himmel und das Rot der Abendsonne sind Phänomene der Lichtstreuung.

Licht ist dem Welle-Teilchen Dualismus unterworfen, das heißt, es verhält sich wie Welle und Teilchen. Testet man in einem Experiment den Wellencharakter des Lichts, ist Licht eine Welle, testet man den Teilchencharakter, ist Licht ein Teilchen. Licht ist eine Welle, bei welcher ein elektrisches und ein magnetisches Feld gegeneinander schwingen. Photonen, die Lichtteilchen, besitzen keine Ruhemasse, müssen deshalb immer in Bewegung sein.

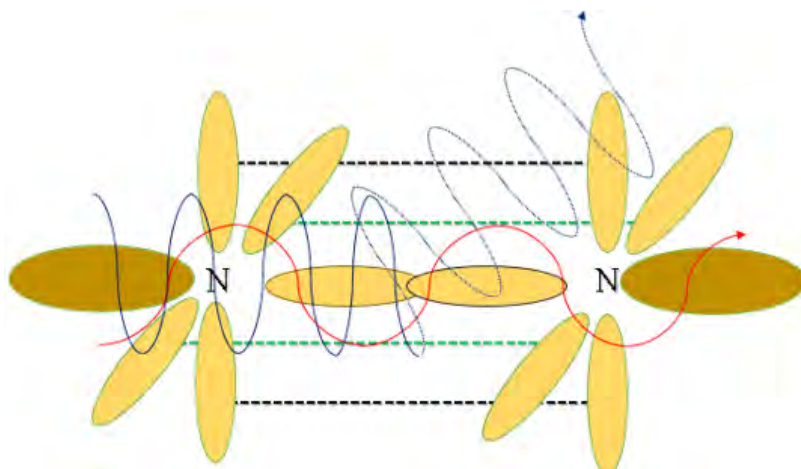


Abb. 1: Stickstoff-Molekül mit passierender Lichtwelle

Lichtstreuung ist eine Veränderung der Ausbreitungsrichtung des Lichts durch Zusammenstoß mit einem Teilchen, auch Target genannt. Am Beispiel des Himmelblaus sind diese Target-Teilchen Stickstoff- bzw. Sauerstoffmoleküle (N_2 , O_2). Wenn Photonen auf diese Moleküle treffen, werden sie von diesen gestreut. Die Stärke dieser Streuung hängt von der Frequenz zur vierten Potenz

des auftreffenden Lichts ab. Rotes Licht hat eine Wellenlänge von ca. 700 nm, während blau eine Wellenlänge von ca. 400 nm hat. Da Frequenz und Wellenlänge invers voneinander abhängig sind, kann man schließen, dass blaues Licht sehr viel stärker in der Atmosphäre gestreut wird als rotes Licht.

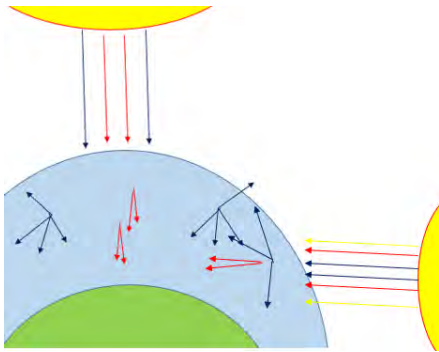


Abb. 2: Streuung an der Atmosphäre

Das Photon trifft ein Elektron in einem der Orbitale, regt dieses Elektron energetisch an, sodass dieses in einen höheren Energiezustand gehoben wird. Dieser Prozess ist ein Absorptionsprozess mit einem virtuellen Zustand. Das Elektron verweilt für etwa 10^{-17} s in diesem Zustand und sinkt anschließend, unter Abgabe eines Photons, wieder nahe an den Grundzustand.

Das dabei entstandene Photon hat annähernd dieselbe Energie und damit Frequenz wie das ursprüngliche Photon, jedoch die Richtung hat sich geändert. Dies hat u.a. zwei Konsequenzen

für Färbung des Himmels: erstens wirkt der Himmel aufgrund der stärker gestreuten blauen Frequenzen blau.

Ohne Lichtstreuung wäre der Himmel farblos; er wirkt blau, weil der blaue Teil mehr als der restliche Anteil des Lichts von der Atmosphäre gestreut wird. Zweitens erscheint die Sonne aufgrund des fehlenden blauen Lichts in einem wärmeren, gelb-orangenem Licht. Ohne die bläulichen Frequenzen, die vorher durch die Atmosphäre aus dem Sonnenlicht herausgestreut wurden, kommt die Komplementärfarbe von blau, orange, stärker zur Geltung. Diese Erscheinung wird intensiver, je weiter der Weg des Lichtes durch unsere Atmosphäre ist. Dementsprechend erscheint die Sonne abends rot, da die blauen und grünen Frequenzen zum größten Teil weggestreut wurden; so kommt hauptsächlich noch das rote Licht an.

Diesen Effekt kann man in einem sog. „Milchkeil“ simulieren. Ein Milchkeil ist ein nach oben spitz zulaufendes Gefäß quadratischer Grundfläche, welches mit Wasser und wenigen Tropfen Milch gefüllt wird. Die gelösten Fetteilchen sind die Streuzentren, Wasser streut vernachlässigbar wenig und ist somit auch ein gutes Medium für diesen Versuch. Wenn man nun an einer Seite einen thermischen Strahler anlegt und das durchtretende Licht beobachtet, stellt man fest, dass das Licht mit zunehmender Dicke des Keils immer größere Anteile roten Lichts besitzt. Licht kleinerer Wellenlänge, und damit größerer Frequenz, wird gestreut, dies ist auch an der Seite des Keils erkennbar.

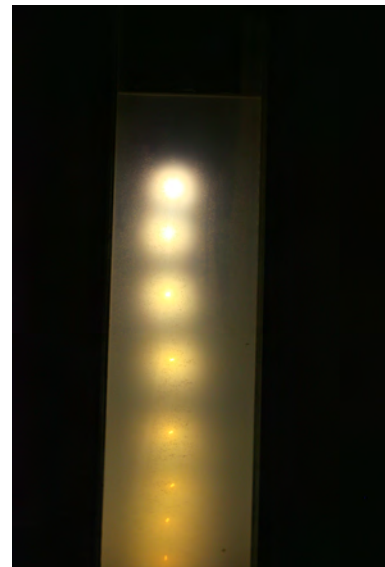


Abb. 3: Milchkeil [Foto: Alexander Dick]

Quellen

- [1] <https://www.weltderphysik.de/thema/hinter-den-dingen/warum-ist-milch-weiss/>
 [2] <https://www.spektrum.de/frage/warum-ist-der-himmel-blau/1223163>

5.6 Lichtabsorption

Schülerin: Johanna Schmidt

Betreuer: Wolf Assmus

Um Lichtabsorption zu verstehen, ist es essentiell, die quantenphysikalischen Grundlagen zu kennen.

Trifft ein Energiequant auf ein Atom, sind unterschiedliche Interaktionen möglich. Zum einen gibt es Streuungen, wie die klassische Streuung und die (Anti-)Stokes-Raman-Streuung. Zum anderen kann ein Photon durch eine Resonanzabsorption (Abb.1) vollständig absorbiert werden, wodurch das Atom angeregt wird. Das Elektron geht durch Energieabsorption in einen energetisch höheren Zustand über. Dieser Zustand hält in der Regel 10^{-8} s an. Liegen metastabile Zustände vor, kann dieser Zustand mehrere Minuten anhalten.

Ein angeregtes Atom gelangt u.a. durch spontane oder stimulierte Emission in den Grundzustand zurück. Geschieht der Zerfall über verschiedene Übergangszustände, entsteht charakteristische Strahlung, welche als Fluoreszenz erkennbar wird. Passiert dies von einem metastabilen Zustand zeitverzögert, wird von Phosphoreszenz gesprochen.

Der Photo-Effekt (Abb.2) bedeutet die vollständige Absorption eines Photons, wobei ein Elektron emittiert werden kann und somit das Atom ionisiert vorliegt. Durch den Compton-Effekt (Abb.3) wird ein Energiequant mit sehr hoher Energie an einem (freien) Elektron gestreut. Zusammengefasst sind die Möglichkeiten der Interaktion Resonanzabsorption (Abb.1), Photo-Effekt (Abb.2) und Compton-Effekt (Abb.3).

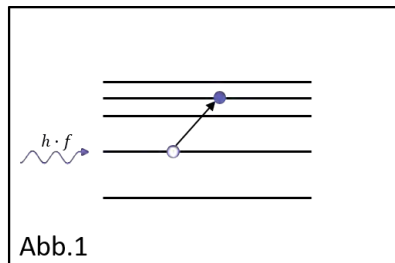


Abb.1

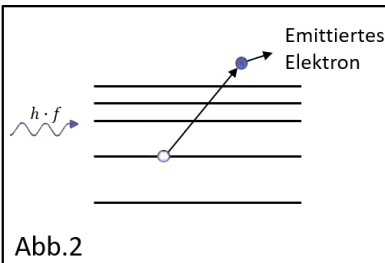


Abb.2

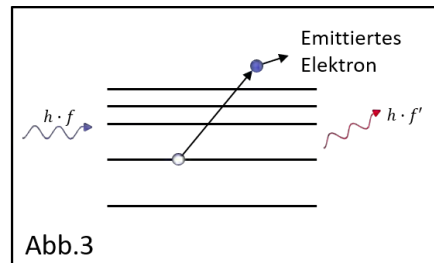


Abb.3

Die Absorption eines monochromatischen Strahlenbündels innerhalb einer definierten Dicke eines homogenen Materials kann mit dem Gesetz von Lambert-Beer berechnet werden:

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-\kappa_n(\lambda) \cdot c \cdot x}$$

In folgender Herleitung werden Reflexion und Streuung vernachlässigt. In Abb.4 ist der Versuchsaufbau dargestellt. Wie dort gezeigt, stellt I_0 die Anfangsintensität des monochromatischen Strahlenbündels dar und $I(x)$ die Intensität des Strahlenbündels an der Stelle x . Wird eine infinitesimal dünne Schicht dx addiert, ist die Intensität an dieser Stelle $I(x + dx)$. Die Änderung der Intensität ist folglich durch $-dI \sim I(x) \cdot dx$ gegeben, oder mit Einbezug des, material- und wellenlängenabhängigen, natürlichen Extinktionskoeffizient $-dI = a_n \cdot I(x) \cdot dx$. Somit ergibt sich für die gesamte durchgelassene Intensität $I(x)$ in der Schichtdicke d , nach Integration, $I(x) = I_0 \cdot e^{-a_n \cdot x}$.

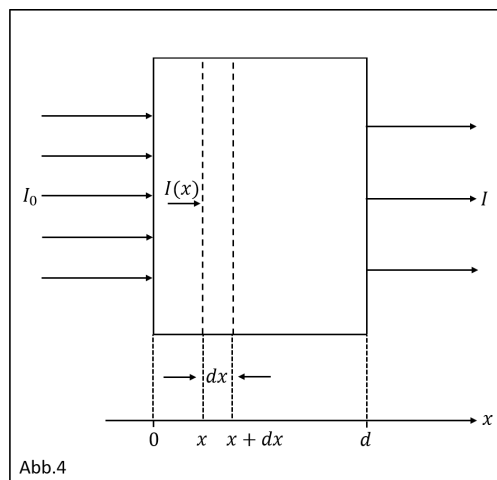
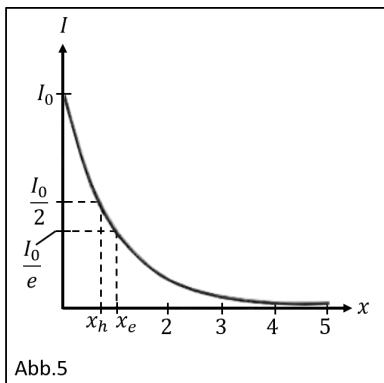


Abb.4



Um die Herleitung vervollständigen zu können, ist es essentiell die Absorption mit der Konzentration in Verbindung zu bringen, da die zuvor beschriebenen quantenphysikalischen Ereignisse in hohem Maße von dieser abhängen. Dies geschieht durch die Definition $a_n(\lambda, c) = \kappa_n(\lambda) \cdot c$. Wird dieser Term eingesetzt, entsteht die Formel des Lambert-Beer-Gesetz

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-a_n(\lambda) \cdot c \cdot x}$$

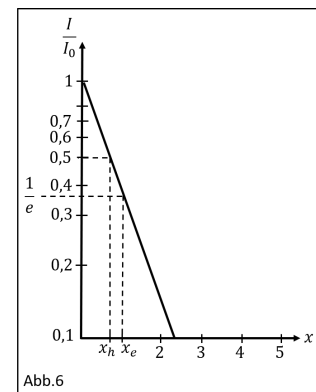
dessen exponentieller Verlauf in Abb.5 gezeigt ist.

Oft wird statt der (Rest-)Intensität des Lichtes an der Stelle d die Durchlässigkeit, oder Transmission T , (in Prozent) der Ausgangsintensität angegeben, sodass der Wert zwischen Null und Eins liegt.

$$T = \text{durchgelassene Intensität} / \text{Anfangsintensität} = I/I_0$$

Die Halbwertsdicke x_H ist der Wert für x , an der die Intensität nur noch die Hälfte der Anfangsintensität beträgt $I(x_H) = \frac{1}{2}I_0$. Setzt man $x = x_H$ in das Lambert-Beer Gesetz ein, folgt $x_H = \frac{\ln 2}{a_n}$.

Wird diese Funktion in halblogarithmischer Darstellung aufgetragen, entsteht eine Gerade, deren Steigung den Extinktionskoeffizienten darstellt (Abb.6).



Die beschriebenen physikalischen Grundlagen sowie das Gesetz von Lambert-Beer sind unter anderem elementar für das Verständnis der Spektroskopie, da die Absorptions- und Emissionsspektren nachvollziehbar werden und eine Einschätzung der Korrektheit der Daten möglich wird.

Quellen

- [1] U. Haas, *Physik: Für Pharmazeuten, Mediziner und Studierende mit Physik als Nebenfach*, 7., neu bearb. und erw. Aufl., Wiss. Verl.-Ges, Stuttgart, 2012
- [2] A. Trautwein u. a., *Physik für Mediziner, Biologen, Pharmazeuten*, 4., neu bearb. Aufl., de Gruyter, Berlin, 1987
- [3] P. A. Tipler u. a., *Physik: Für Wissenschaftler und Ingenieure*, 7. Aufl. 2015, Springer, Berlin, Heidelberg, 2015

5.7 Erzeugung und Anwendung von Röntgenstrahlen

Schülerin: Nora Mohamed Amer
 Betreuer: Alexander Dick

Die Röntgenstrahlen sind 1895 von Conrad Röntgen zufällig entdeckt worden, als er mit Kathodenstrahlen experimentiert hat. Für die Entdeckung bekam er den Nobelpreis 1901. Im Folgenden wird u.a. die Erzeugung und die Anwendung von Röntgenstrahlen erläutert.

Röntgenstrahlen sind elektromagnetische Wellen. Bei einer Wellenlänge von 10 nm beginnt das Spektrum der Röntgenstrahlen und reicht bis zu ca. 5 pm. Der Wellenlängenbereich der Röntgenstrahlen liegt somit zwischen den UV- und den Gamma-Strahlen. Röntgenstrahlen wirken durch ihre hohe Energie ionisierend und können daher Krebs verursachen.

Erzeugung Mit einer Röntgenröhre (Abb. 1) kann man Röntgenstrahlen erzeugen. Die Röntgenröhre besteht aus einer Kathode und einer Anode in einem evakuierten Glasgefäß, an die eine hohe Beschleunigungsspannung angelegt wird. Mit einer an der Kathode angelegten Heizspannung werden Elektronen freigesetzt (Glühemission), die zur Anode beschleunigt werden und dort zwei Arten von Röntgenstrahlen erzeugen.

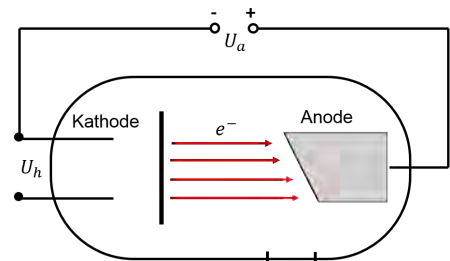


Abb. 1: Röntgenröhre [Grafik: Johanna Schmidt]

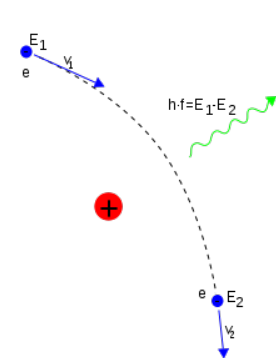


Abb. 2: Bremsstrahlung [5]

Bremsstrahlung

Ein Elektron wird von seiner Laufbahn abgelenkt (Abb. 2) und verrichtet Arbeit. Die Verlustenergie emittiert es in Form von Röntgenstrahlen. Das Duane-Huntsche Gesetz stellt die Abhängigkeit zwischen der Grenzwellenlänge und der Beschleunigungsspannung dar.

$$U \cdot e = h\nu_0 = h \cdot \frac{c}{\lambda_0}$$

$$\Rightarrow \lambda_0 = \frac{h \cdot c}{U \cdot e}$$

- U: Beschleunigungsspannung
- e: Elementarladung
- h: Plancksches Wirkungsquantum
- c: Lichtgeschwindigkeit
- ν_0 : Grenzfrequenz (höchste Frequenz)
- λ_0 : Grenzwellenlänge (kleinste Wellenlänge)

Charakteristische Röntgenstrahlen

Ein Elektron dringt in ein Atom ein und trifft auf ein Elektron in der Schale. Beide Elektronen verlassen das Atom. Anschließend springt ein Elektron aus einer höheren Schale in die Lücke (Bsp. Abb. 3), dabei wird die Energiedifferenz in Form von Röntgenstrahlen emittiert. Das Moseley-Gesetz stellt die Abhängigkeit zwischen der Energie der Strahlung und der Ordnungszahl des Anodenmaterials dar.

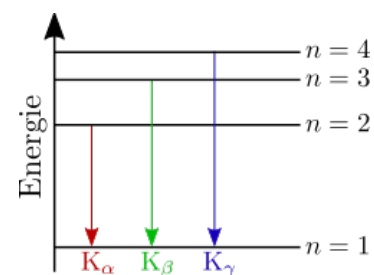


Abb. 3: Die innersten vier Energieniveaus, skizziert nach dem Bohrschen Atommodell [6]

$$E = R_\infty \cdot h \cdot c \cdot (Z - a)^2 \cdot \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

- R_∞ : Rydeberg Konstante
- h: Plancksches Wirkungsquantum
- c: Lichtgeschwindigkeit im Vakuum
- Z: Ordnungszahl des Anodenmaterials
- a: Abschirmzahl

- der **Großbuchstabe** beschreibt die Schale, auf die das Elektron springt
- der **kleine griechische Buchstabe** beschreibt, von der wievielten Schale darüber das Elektron gesprungen ist
Bsp.: K_β

Detektion von Röntgenstrahlung

Röntgenstrahlen kann man auf zwei Arten detektieren:

1. Film-Foliensystem
2. Digitale Detektion

Film-Foliensystem Auf einer Emulsionsschicht aus Silberbromidkristallen befindet sich ein Leuchtstoff, der Röntgenstrahlung in sichtbares Licht wandelt. Das Licht führt in der AgBr-Schicht zur Schwärzung, ein Bild entsteht wie bei der klassischen Photographie.

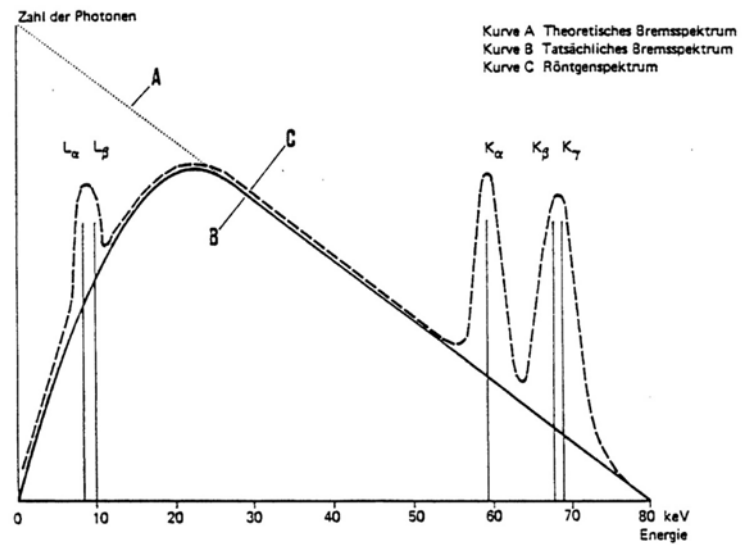


Abb. 4: Röntgenspektrum [4]

Digitale Detektion Röntgenstrahlen werden auf einen Detektor gestrahlt und setzen dabei Elektronen im Sensor frei. Diese werden detektiert.

Absorption von Röntgenstrahlen

Das Lambert-Beersche Gesetz zeigt die Schwächung der Strahlungsintensität bei der Absorption der Strahlung.

$$I(x) = I_0 \cdot e^{\mu \cdot x}$$

I_0 : Anfangsintensität bei $x = 0$

μ : Material und energieabhängiger Schwächungskoeffizient

exponentielle Abschwächung

Mechanismen der Schwächung von Röntgenstrahlung

Rayleighstreuung Die elastische Streuung „verteilt“ die gerichtete Strahlung in verschiedenen Richtungen, was zur Schwächung der Strahlung in Vorwärtsrichtung führt.

Photoeffekt Dabei gibt ein Photon seine gesamte Energie durch Ionisation ab. Ein Elektron nimmt den Großteil der Energie auf, gibt ihn in weiteren Ionisationsprozessen wieder ab.

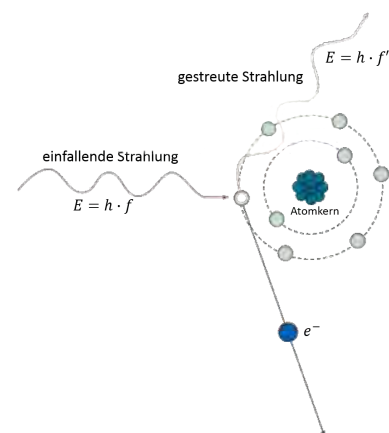


Abb. 5: Streuung eines Elektron [4]

Comptonstreuung (Abb. 4) Ein Photon trifft auf ein an einen Atomkern gebundenes Elektron, dabei wird ein Teil der Photonenenergie auf das Elektron übertragen. Das Elektron fliegt aus dem Atom, dabei wird das Photon gestreut und fliegt mit geringer Energie in einer neuen Richtung.

Quellen

- [1] <https://www.mni.thm.de/info-page/radiologie/grundlagen/roentgendetektoren>
- [2] https://ap.physik.uni-konstanz.de/AP-public/Anleitungen/Roentgenstrahlung_Phy.pdf
- [3] <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/6049>
- [4] O. Klein, *Praktikumshandbuch Physik für Mediziner*, 1., neue Ausg, BioPhysMed, Kiefersfelden, 2011

Bildquellen

- [5] <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bremsstrahlung.svg> (zuletzt abg. am 10.02.2019), Nutzung gemeinfrei; Urheber: Journey234
- [6] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Skizze_Energieniveaus.svg (zuletzt abg. am 10.02.2019), Nutzung frei; Urheber: Robamler

5.8 Spektrometrie

Schülerin: Svetlana Teschler

Betreuer: Jesse Jones

Die Spektrometrie ist ein Teilbereich der Physik. Sie ist definiert als „die Lehre von der Erzeugung, Aufzeichnung, Analyse und Interpretation von Spektren elektromagnetischer Strahlung; i.e.S. ist die Spektrometrie eine Sammelbezeichnung für verschiedene Untersuchungsmethoden zur Charakterisierung von Atomen oder Molekülen“ und Festkörpern, „indem man deren Wechselwirkung mit elektromagnetischer Strahlung aufzeichnet und auswertet“. ^[1]

Die Spektrometrie wird in verschiedene Bereiche unterteilt, u.a. nach dem Spektralbereich, der Art der Wechselwirkung oder der Art der untersuchten Probe. ^[2]

Verwendet wird sie v.a. zur Identifizierung und Charakterisierung von unbekanntem Substanzen, d.h. zur Feststellung der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung von Systemen. Sie erlaubt außerdem Analysen hinsichtlich Zustandsparametern wie Druck, Temperatur und Ionisationsgrad. ^[3]

Die entsprechende Methode ist die Spektralanalyse. Sie dient der Analyse und Auswertung der charakteristischen Spektren und liefert so Informationen über untersuchte Systeme. ^[4]

Die Spektralanalyse ist eine der empfindlichsten Nachweismethoden der analytischen Chemie. In der Astronomie ermöglicht sie Aussagen über physikalische Bedingungen und chemische Eigenschaften von Himmelskörpern. ^{[5][6]}

Alle natürlichen Lichtquellen und Stoffe, die Licht durchlaufen hat, senden bei verschiedenen Wellenlängen Strahlung aus. Gase als Beispiel emittieren Strahlung entsprechend ihrer Glüh-temperatur, ihrem Druck, ihrer Dichte und ihrer chemischen Zusammensetzung. Der Druck p beispielsweise in einer Gasentladungslampe ist dann aus der (Glüh-)Temperatur T ableitbar, sofern das Volumen V bekannt ist. Für das ideale Gas besteht unter der Bedingung einer abgeschlossenen Gasmenge der folgende Zusammenhang: ^[7]

$$pV = nRT$$

n ist hierbei die Molzahl und R die fundamentale Gaskonstante.

Die Gesamtheit der emittierten Spektralanteile heißt charakteristisches Spektrum. Freie Atome emittieren nur wenige diskrete Wellenlängen. Große Moleküle weisen dagegen Gruppen von vielen eng benachbarten Spektrallinien (Banden) auf. ^[4]

Durch Analyse eines Spektrums kann man deshalb Rückschlüsse auf die chemische Zusammensetzung von (unbekannten) Stoffen ziehen, die Licht emittieren oder absorbieren. Untersuchungen von Spektren erfolgen mit Spektralapparaten. Das zu untersuchende Licht wird zerlegt und die Spektrallinien ausgemessen. Anhand von Vergleichsspektren kann man somit Aussagen über die jeweilige Substanz treffen. ^[8]

Man unterscheidet zwischen Emissions- und Absorptionsspektren. Emissionsspektren entstehen durch Licht, das von der Probe als Lichtquelle emittiert wird. Absorptionsspektren entstehen, wenn sich die Probe zwischen Lichtquelle und Detektor befindet, denn es werden diejenigen Teile des Spektrums absorbiert, die die durchstrahlte Probe selbst aussenden würde, würde sie leuchten. ^[8]

Genauer betrachtet entstehen Spektren bzw. Spektrallinien, durch den Übergang von Elektronen zwischen diskreten Energieniveaus eines Atoms oder Moleküls. ^[9]

Nach dem Bohr'schen Atommodell können sich Elektronen nur auf bestimmten diskreten Bahnen bewegen, diese Bahnen entsprechen jeweils einem Energieniveau. Wenn also eine Probe angestrahlt wird, wird ein Elektron angeregt und springt in eine höhere Schale, die Energie der entsprechenden Wellenlänge wird absorbiert. Innerhalb einer Zerfallszeit springt das Elektron zurück, wobei Energie frei und Strahlung emittiert wird. ^{[9][10]}

Fraunhofer'sche Linien als Spezialfall der Spektrallinien sind Absorptionslinien und als schwarze Linien im ansonsten kontinuierlichen Spektrum der Sonne zu sehen. Die Sonne sendet ein kontinuierliches Spektrum aus. Dieses Licht geht ungehindert durch den Weltraum. In den kühlen Gasschichten der Erdatmosphäre werden Gasatome der Atmosphäre angeregt, diese Absorptionsenergie fehlt im Spektrum. ^[8]

Die spektrale Zerlegung von Licht unterschiedlicher Wellenlänge erfolgt entweder durch ein Beugungsgitter oder ein Dispersionsprisma in einem Spektralapparat. ^[4]

Ein Prismenspektrometer ist ein Gerät zur Untersuchung der spektralen Intensitätsverteilung elektromagnetischer Strahlung, bei dem die spektrale Zerlegung des Lichtes durch Brechung an einem Prisma oder auch Prismensystem erfolgt. ^{[11][12][13]}

Ein Prismenspektrometer besteht in der Regel aus einer Beleuchtungseinheit, einem Spektralteil und einem Empfänger-Registrierteil. Der Spektralteil setzt sich zusammen aus einem Eingangskollimator bestehend aus Eintrittsöffnung und -objektiv, einem Austrittsobjektiv und -öffnung sowie dem dazwischen liegenden wellenlängenselektiven Element, in diesem Fall ein Prisma. ^[13] Bevor das Licht auf das Prisma trifft, wird der aufgeweitete Strahl der Strahlungsquelle am Kollimator in einen parallelen Strahl gebündelt, d.h. die divergenten Lichtstrahlen der Strahlungsquelle werden parallel gerichtet. Beim Durchgang durch das Prisma, also dem Durchgang durch zwei Grenzflächen, wird das Licht zweimal gebrochen. ^[12] Gemäß dem Fermat'schen Prinzip nehmen Strahlen hierbei den Weg extremaler, meist minimaler Laufzeit bzw. Länge. ^[14]

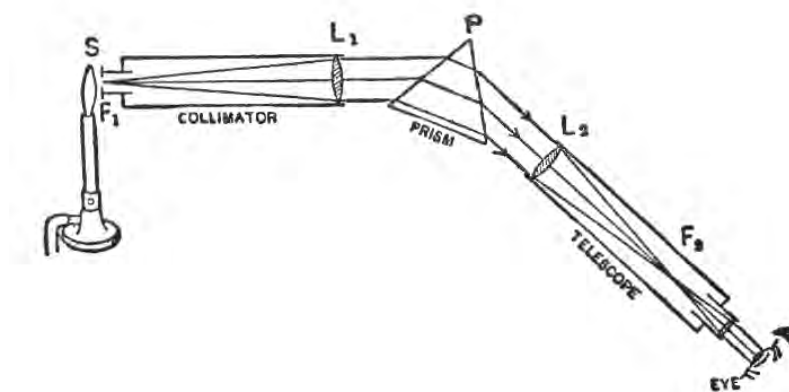


Abb. 1: Brechung der Lichtstrahlen in einem Prisma [19]

Diese Brechung, auch Refraktion genannt, wird durch das Snellius'sche Brechungsgesetz

$$n' \sin(\epsilon') = n \sin(\epsilon)$$

beschrieben. Die medienabhängige Phasengeschwindigkeit geht als Brechungsindex

$$n = \frac{c_0}{C}$$

in das Brechungsgesetz ein. ^{[16][17]} Die verschiedenen Wellenlängen werden dabei um verschiedene Winkel gebrochen, da der Brechungsindex von der Wellenlänge abhängig ist (Dispersion), wodurch es bei weißem Licht im Prisma zu einer Aufspaltung in die Spektralfarben kommt. ^[12]

Quellen

- [1] Brockhaus Enzyklopädie, 21. Auflage, Band 25/30, Seite 722, F.A. Brockhaus GmbH, Leipzig
- [2] <https://www.spektrum.de/lexikon/chemie/spektroskopie/8598>
- [3] <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/spektroskopie/13557>
- [4] http://dodo.fb06.fh-muenchen.de/maier/PraktikumPh4/Anleitungen/SPE_WS1314.pdf
- [5] Duden, Basiswissen Schule - Physik, Abitur: Das Standardwerk für Abiturienten, 4., aktualisierte Aufl., (Hrsg.: L. Meyer), Dudenverl., Berlin, 2015
- [6] <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/spektralanalyse/13534>
- [7] <https://www.frustfrei-lernen.de/thermodynamik/druck-temperatur-zusammenhang.html>
- [8] <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/spektren>
- [9] <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/artikel/bohresches-atommodell>
- [10] <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/energieniveau/4337>
- [11] <https://www.spektrum.de/lexikon/optik/prismenspektrometer/2667>
- [12] <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/prismenspektrometer/11648>
- [13] <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/spektralapparat/13535>
- [14] <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/fermatsches-prinzip/4877>
- [15] <https://slideplayer.org/slide/1273492/3/images/14/Brechung+des+Lichtes+Brechung+an+ebenen+Grenzfl%C3%A4chen+Brechungsindex+c.jpg>
- [16] https://www.wikiwand.com/de/Snelliusches_Brechungsgesetz
- [17] https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Snelliusches_Brechungsgesetz

Bildquellen

- [19] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NSRW_Spectroscope1.png (zuletzt abgerufen am 10.02.2019), Nutzung gemeinfrei

5.9 Erzeugung von Licht

Schüler: Jan Henning
 Betreuer: Alexander Dick

Es gibt viele unterschiedliche Möglichkeiten, Licht zu erzeugen. Je nachdem, was man untersuchen möchte, muss man die richtige auswählen, um die spezifischen Eigenschaften des Lichts zu nutzen.

Thermische Strahler Jeder Gegenstand um uns herum ist ein thermischer Strahler. Das bedeutet, dass jeder Körper Strahlung mit einem bestimmten Strahlungsspektrum aussendet. Dieses Spektrum ist abhängig von seiner Temperatur. Ist diese hoch genug, liegt die ausgesandte Strahlung im Bereich des sichtbaren Lichts. Dadurch, dass das Spektrum eines thermischen Strahlers kontinuierlich ist, ist die Angabe der Wellenlänge des Strahlungsmaximums als Indiz für die Farbe der Lichtquelle eher irreführend, da sich die einzelnen Wellenlängen überlagern und so bei einem Maximum von z.B. 520 nm der Eindruck von weißem Licht entsteht. Bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen ist das emittierte Licht rötlich, je heißer der Strahler wird, desto größer ist der blaue emittierte Anteil. Doch mit dem kontinuierlichen Spektrum ergibt sich auch ein großes Problem: Glühlampen als (ehemalig) weitverbreiteter thermischer Strahler aus unserer Umgebung sind extrem ineffizient, da der Großteil des ausgesandten Lichts sich im für uns nicht sichtbaren infraroten Bereich befindet, sodass sich die Glühlampe besser als Heizung denn als Lichtquelle verwenden ließe. Ein weiteres Beispiel für einen thermischen Strahler ist ein erhitzter Platinzylinder, dessen kontinuierliches Spektrum in Abb. 1 gut zu erkennen ist.

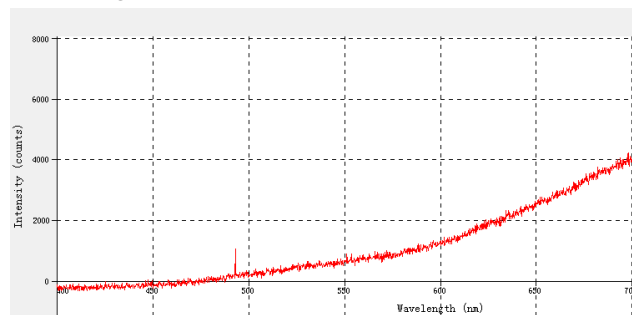


Abb. 1: Spektrum eines erhitzten Platinzylinders

Gasentladungslampen Das Spektrum von Gasentladungslampen dagegen basiert nicht auf der Temperatur des Stoffes, sondern auf der Anregung der Gasmoleküle durch Stöße von anderen Teilchen. Um eine Gasentladungslampe zu betreiben, muss man das Gas in ihr durch Bildung von Ionen leitfähig machen. In jedem Gas werden zwar einige Gasmoleküle durch Stöße ionisiert, diese Ionen rekombinieren aber mit Ladungsträgern entgegengesetzten Vorzeichens und gehen so wieder für die Leitung verloren. Wird ein elektrisches Feld an das Gas angelegt, so bewegen sich positive Ionen in Richtung Kathode, Elektronen in Richtung Anode. Durch diese Ladungstrennung wird die Rekombination erschwert, die Anzahl von Ionen und damit der Strom in der Ionisationskammer erhöhen sich. Es bildet sich zunächst ein Sättigungsstrom, der durch die Nachlieferung von Elektronen an der Kathode gespeist wird. Erhöht man die an der Ionisationskammer anliegende Spannung weiter, so finden dort Stoßionisationslawinen statt. Dabei entsteht durch den Zusammenstoß zweier Gasteilchen ein Ion. Dieses trifft dann auf ein weiteres Gasteilchen, das ebenfalls ionisiert wird und das dann wieder zur Ionisation bereitsteht, sodass eine theoretisch unendlich anschwellende Lawine aus Stoßionisierungen entsteht. Dadurch verselbstständigt sich die Entladung in der Lampe, das Gas leitet Strom und es kommt zur Glimmentladung, die beispielsweise in Leuchtstoffröhren Verwendung findet.

Um die Gasteilchen zu ionisieren, ist eine bestimmte Ionisierungsenergie nötig. Die Gasteilchen müssen also vorher durch das elektrische Feld soweit beschleunigt werden, dass sie diese Ionisierungsenergie als kinetische Energie aufgenommen haben. Treffen sich zwei Gasteilchen, die noch nicht schnell genug sind, um sich gegenseitig zu ionisieren, so werden ihre Elektronen nicht aus den Gasteilchen heraus gelöst, sondern lediglich angeregt. Kehren diese aus dem angeregten Zustand in den Grundzustand zurück, so senden sie ein Photon aus, dessen Energie der Differenz des

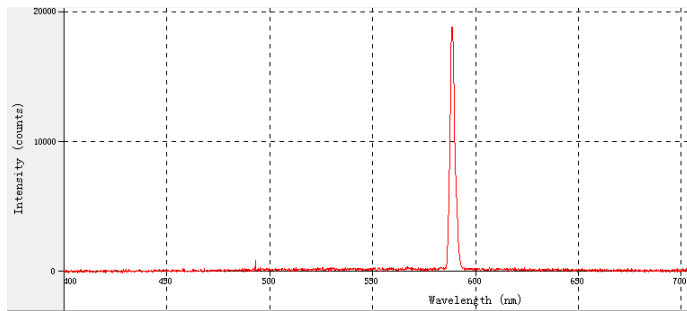


Abb. 2: Charakteristische Leuchtspektrum des gelben Natriumlichts

Anregungs- und Grundzustands des Elektrons entspricht. Die Differenz ist vom Element abhängig, deshalb besitzt auch jedes Gas ein charakteristisches Leuchtspektrum bzw. eine charakteristische Leuchtfarbe. In Abb. 2 ist das charakteristische Leuchtspektrum des gelben Natriumlichts mit seinem Doppelpeak bei 598 nm zu sehen. Die beiden Peaks liegen dabei so nah beieinander, dass sie zu einem einzigen Peak verschmelzen.

Sehr weit verbreitet sind Leuchtstoffröhren, in denen gasförmiges Quecksilber zum Leuchten angeregt wird. Doch das Leuchtspektrum des Quecksilbers beinhaltet auch einen Peak im ultravioletten Bereich. Strahlung dieser Wellenlänge ist energiereich genug, um z.B. Bindungen in Molekülen im Körper zu zerstören. Daraus resultiert auch der Sonnenbrand, der sich einstellt, wenn man die Haut zu viel Sonneneinstrahlung aussetzt. Diese Wellenlänge darf natürlich nicht von im Haushalt gebräuchlichen Lampen ausgestrahlt werden, sodass ein spezieller Leuchtstoff notwendig ist, um die ultraviolette Strahlung zu absorbieren. Die absorbierte Energie emittiert

der Leuchtstoff anschließend als Photon mit einer größeren Wellenlänge, sodass ein weißer Leuchteindruck entsteht. Durch Messung des Spektrums kann man sehen, dass sich dieses dennoch stark vom Spektrum des ebenfalls weißen Sonnenlichtes unterscheidet. Um das Sonnenlicht nachzuempfinden, kann man in Tageslichtlampen verschiedene Leuchtstoffe mischen, um ein möglichst kontinuierliches Spektrum zu erzeugen. Den Vergleich zwischen Tageslichtlampe und wirklichem Sonnenlicht zeigen Abb. 3 und Abb. 4. Man kann das kontinuierliche Spektrum der Sonne mit Maximum bei ca. 500 nm und das ausgefranste Spektrum mit einigen verteilten Peaks der Tageslichtlampe erkennen.

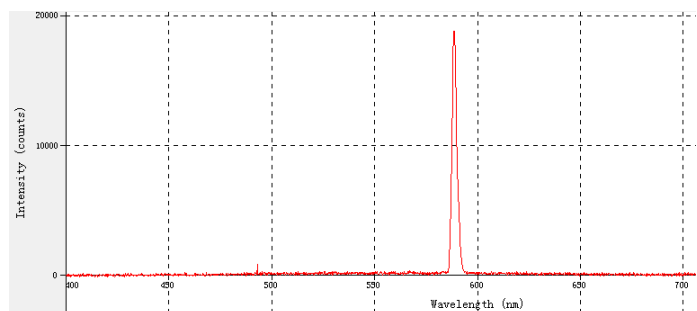


Abb. 3: Spektrum einer Tageslichtlampe

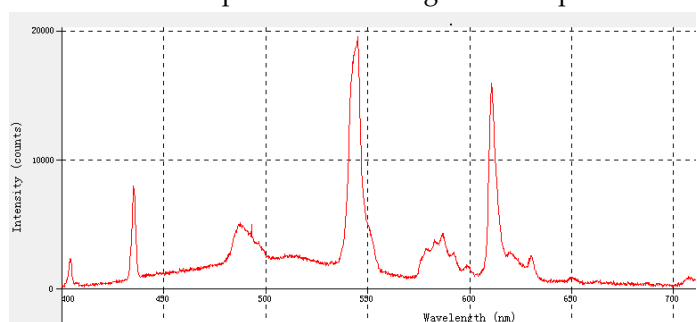


Abb. 4: Spektrum des Sonnenlichts

Laser Laser bestehen hauptsächlich aus einem Medium, einer Elektronenpumpe und einem Resonator. Der Resonator besteht aus zwei Spiegeln, von denen einer minimal lichtdurchlässig ist, der andere reflektiert nahezu alles Licht, das auf ihn fällt. Das wichtigste Kriterium für das Medium ist, dass in ihm eine Besetzungsinversion möglich sein muss. Dazu muss das Medium mehrere mögliche Energieniveaus besitzen. Eine Besetzungsinversion ist erreicht, wenn sich mehr Elektronen des Mediums im höheren Anregungszustand befinden als im niedrigeren. Dadurch kann das Medium das Lichtfeld verstärken, statt es zu absorbieren. Aufgabe der Elektronenpumpe ist es beispielsweise, durch Lichteinstrahlung Energie in das Medium „hineinzupumpen“ und so die Besetzungsinversion aufrechtzuerhalten.

Der Vorteil des Lasers besteht darin, dass die Lichtaussendung nicht ausschließlich durch spontane Emission von Licht geschieht, sondern auch durch stimulierte Emission. Das bedeutet, dass das angeregte Elektron von seinem Zustand erst in eine niedrigere Anregungsstufe fällt, wenn ein Photon auf das Molekül trifft. Das Molekül sendet nun ein Photon aus, das die gleichen Eigenschaften besitzt wie das erste Photon, man sagt, die Photonen sind kohärent. Diese beiden Photonen werden vom Resonator reflektiert und können auf ihrem Weg durch das Medium weitere kohärente Photonen erzeugen. Dadurch bilden sich immer längere Wellenzüge, die schließlich auf der leicht durchlässigen Seite des Resonators auskoppeln und die wir als Laserstrahl kennen. Aus den langen kohärenten Wellenzügen ergeben sich die vielfältigen nützlichen Eigenschaften von Lasern wie z.B. die geringe Divergenz des Laserstrahls, ihre hohe Bündelungsfähigkeit sowie die Kohärenz des Lichts. Zudem ist das Spektrum des von Lasern ausgesandten Lichts häufig monochromatisch und wie bei Gasentladungslampen abhängig vom als Medium verwendeten Stoff.

Quellen

- [1] P. A. Tipler u. a., *Physik: Für Wissenschaftler und Ingenieure*, 7. Aufl. 2015, Springer, Berlin, Heidelberg, 2015
- [2] D. Meschede, *Gerthsen Physik*, 25. Aufl., Springer Spektrum, Berlin, 2015

5.10 Leuchtdioden und Solarzellen

Schüler: Phillip Seiffert
Betreuer: Alexander Dick

Jeder Festkörper besitzt Energiebänder, in denen sich die Elektronenzustände befinden. Man unterscheidet zwischen dem energetisch tief liegenden Valenzband und dem darüber liegenden Leitungsband.

Bei einem **Isolator** ist das Leitungsband leer und das Valenzband voll. Ein voll besetztes Band kann wegen des Pauli-Prinzips nicht zur Leitfähigkeit beitragen. Da der energetische Abstand zwischen Valenz- und Leitungsband groß ist, können Elektronen nicht vom Valenzband ins Leitungsband angeregt werden.

Bei einem **Metall** überlappen beide Bänder; deshalb können sich die Elektronen ohne Aktivierung bewegen: Das Metall ist leitfähig.

Bei einem **Halbleiter** liegen beide Bänder so dicht beieinander, dass Elektronen durch Licht oder Wärme vom Valenzband ins Leitungsband angeregt werden können. Der Halbleiter wird dadurch leitfähig. Die Ladungsträger im Leitungsband sind Elektronen, im Valenzband Elektronenlöcher, die positiven Ladungsträgern entsprechen. In Halbleiterkristalle Fremdatome einzusetzen, die ein Elektron mehr oder weniger haben als die Halbleiteratome, in die sie eingestreut werden, bezeichnet man als Dotierung. Je nachdem, ob das Dotierungsatom ein Elektron mehr oder weniger hat, spricht man von n- oder p-Dotierung – p-Dotierung, weil das Valenzband des dotierten Materials dadurch positiver wird, und n-Dotierung, weil das Valenzband des dotierten Materials dadurch negativer wird. Der wohl gängigste, weil sehr rein herzustellende Halbleiter ist Silizium. Um ihn positiv zu dotieren, nutzt man Aluminium, Gallium oder Bor, die eine Gruppe niedriger sind. Um ihn negativ zu dotieren, nutzt man Phosphor, Arsen oder Antimon. Die in einem Material überwiegende Art von Ladungsträgern nennt man Majoritätsladungsträger, die andere Minoritätsladungsträger. In p-dotierten Halbleitern sind die Löcher Majoritätsladungsträger und umgekehrt.

Halbleiterdioden sind Halbleiterbauteile, die in einer Hälfte n- und in der anderen p-dotiert sind. Durch das Konzentrationsgefälle von Ladungsträgern zwischen beiden Hälften diffundieren die Majoritätsladungsträger beider Hälften hin zur anderen Seite, wo sie mit deren Majoritätsladungsträgern rekombinieren. Dadurch werden die Dotierungsatome beider Seiten geladen, die der n-dotierten Seite positiv und die der p-dotierten negativ. Es entsteht ein elektrisches Feld, die Antidiffusionsspannung, das Ladungsträger in entgegengesetzter Richtung der Diffusion bewegt. Antidiffusionsspannung und Diffusion sind zwei einander stetig ausgleichende Prozesse, derentwegen die Ladungsträger in der Mitte der Diode zusammengedrängt werden. Diese bezeichnet man als Raumladungszone, die Bereiche links und rechts davon als Verarmungszone, da sie einen Ladungsträgermangel aufweisen. Innerhalb der Raumladungszone befinden sich die positiven Ladungsträger auf der n-dotierten und die negativen auf der p-dotierten Seite, denn die Diffusion ist stärker als die Antidiffusionsspannung.

Legt man an die beiden Seiten einer Halbleiterdiode eine Spannung an, leitet sie nur in eine Richtung, die sogenannte Durchlassrichtung. Dazu schließt man die Anode der Stromquelle an die n-dotierte Seite des Halbleiters. Schließt man dagegen die Kathode an die p-dotierte Seite, müssen die leitenden Ladungsträger die gesamte Verarmungszone entgegen der Abstoßung und Anziehung, die durch die Ladungsträger der Raumladungszone entsteht, durchqueren. Hierzu haben sie einen hohen Potenzialwall zu überwinden, dessen Energie der Elementarladung mal der Antidiffusionsspannung entspricht.

$$E = \Phi W \cdot e$$

E : Energie, ΦW : Antidiffusionsspannung; e : Elementarladung.

Unterhalb der Durchbruchsspannung fließt kein Strom, oberhalb kommt es zu einem Durchbruch, also einer Massenanregung von Ladungsträgern durch Überhitzung oder andere Faktoren. Dadurch sinkt das Verhältnis von Majoritäts- zu Minoritätsladungsträgern, so dass die Raumladungszone sich ausdehnt und die Halbleiterdiodeneigenschaften des Bauteils abnehmen. Meist zerstört ein solcher Durchbruch aber die Diode.

Überbrückt man die beiden Enden der Raumladungszone mit einem Stromkreis, können durch Lichteinfall in der Raumladungszone entstehende Ladungsträger entsprechend der Anziehung in den jeweils anders geladenen Teil der Raumladungszone diffundieren. Was normalerweise dem Gleichgewicht von Antidiffusionsspannung und Diffusion widerspricht, ist durch den Stromkreis möglich, da die in den „falschen“ Teil der Raumladungszone gewanderten Ladungsträger über diesen in den Teil, in dem sie gebildet wurden, zurückfließen und dort wieder rekombinieren können. So entsteht ein Strom vom positiven zum negativen Teil der Raumladungszone. Ein solcherart genutztes Halbleiterbauelement bezeichnet man als Photodiode. Diese werden auch in Solarzellen eingesetzt.

Das umgekehrte Prinzip wird für Leuchtdioden verwendet; hier wird einfach eine Halbleiterdiode in Durchlassrichtung betrieben, die ein Halbleitermaterial verwendet, das bei Abregung Energie in Form von Photonen abgibt. Die Elektronen durchqueren von der Anode aus den n-dotierten Teil der Verarmungszone. Statt aber entgegen des raumladungszoneninternen elektrischen Felds die Raumladungszone zu durchqueren, rekombinieren sie mit Löchern des n-dotierten Teils der Raumladungszone, und ein Elektron des p-dotierten Teil der Raumladungszone fließt weiter zur Kathode. Ladungsträger der Raumladungszone werden durch die Anregung von neuen Ladungsträgerpaaren wieder ersetzt, und so emittieren Leuchtdioden durchgehend Licht.

Um Leuchtdioden zu erzeugen, die verschiedene Farben anzeigen können, verbaut man verschiedenfarbene Dioden in einer Hülle, die sich eine gemeinsame Kathode teilen und durch unterschiedliche Anoden anzusteuern sind. Möglich sind auch zwei Dioden, die sich ihre Anschlüsse teilen und parallel in unterschiedlicher Richtung geschaltet sind; je nach Betriebsrichtung leuchtet entweder die eine oder die andere. Gängigstes Halbleitermaterial für den Bau von Leuchtdioden ist Galliumarsenid. Die Farbe des emittierten Lichtes hängt von dem Abstand zwischen Valenz- und Leitungsband ab.

Quellen

- [1] P. A. Tipler u. a., *Physik: Für Wissenschaftler und Ingenieure*, 7. Aufl. 2015, Springer, Berlin, Heidelberg, 2015
- [2] D. Meschede, *Gerthsen Physik*, 25. Aufl., Springer Spektrum, Berlin, 2015

6 Informatikkurs

Multiplayer – Geteiltes Spiel ist doppeltes Spiel

Multiplayer-Spiele gehören heute zu den bekanntesten und meistgespielten Computerspielen überhaupt. Von der Feierabend-Partie im eigenen Wohnzimmer bis zum hoch bezahlten E-Sport-Finale gibt es dabei ein Spiel für fast jeden Geschmack. Um diese Faszination selbst zu erleben, haben wir im Informatikkurs gemeinsam ein Multiplayer-Spiel entworfen und erstellt. Außerdem haben wir untersucht, was die besonders beliebten Spiele ausmacht.

Obwohl es keine computergesteuerten Gegner gibt, mussten in unserem Projekt natürlich die spielbaren Charaktere und die Umgebung ansprechend gestaltet werden. Dies umfasste das Design der Level, Komponieren der Musik sowie das Malen von Hintergründen, Charakteren und Gegenständen.

Eine der Kernaufgaben der Programmierung war die Verbindung der Spieler über ein Netzwerk. Dabei mussten Informationen und Abläufe synchronisiert werden, und wir haben ganz unterschiedliche Probleme gelöst, die sich innerhalb eines verteilten Systems ergeben.

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 dem Unity-Tool *Collab* verwaltet.

Kursleitung

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

Birthe Höllthaler, M.Sc. Informatik, Goethe-Universität Frankfurt am Main

Leon Strauss, Chief Technology Officer bei einem Software-Unternehmen in Frankfurt am Main

Sämtliche digitalen Bild- und Textquellen wurden zuletzt am 31.07.2018 auf den entsprechend angegebenen Websites aufgerufen.

6.1 Netzwerktechnologie

Noah Kirschmann
Betreuer: Mischa Holz

Wir greifen heute täglich über das Internet auf Daten zu – auf Nachrichten, Korrespondenzen, Spiele und vieles mehr. Doch damit Daten zwischen verschiedenen Computersystemen verlässlich ausgetauscht werden können, braucht es gemeinsame Sprachen, sogenannte *Protokolle*.

Im Allgemeinen werden Daten in *Datenpaketen* übertragen. Sie besitzen einen *Header*, der Metadaten enthält, zum Beispiel welche Daten im Datenteil des Pakets sind und was das Ziel des Datenpakets ist. Im *Transmission Control Protocol/Internet Protocol-Modell (TCP/IP)* wird die Übertragung in vier Schichten aufgeteilt, von denen jede einen eigenen Header hat. Jede Schicht bietet eine Verbindungs- und damit Transportmöglichkeit, welche die darüberliegenden Schichten dann verwenden.

Die unterste Schicht ist das *Link Layer*. Es ermöglicht eine direkte Verbindung von zwei Geräten über ein meist physikalisches Medium. Beispiel hierfür ist das WLAN (IEEE 802.11), in welchem eine direkte kabellose Verbindung von einem Gerät zu einem Router aufgebaut wird. Der Header enthält unter anderem Informationen wie die Hardware-Adresse des Empfängers und eine Prüfsumme, um Fehler bei der Übertragung des Headers zu ermitteln. Das Link Layer ermöglicht so nur direkte Punkt-zu-Punkt-Verbindungen, was natürlich nicht ausreicht, um ein weltweites Computernetzwerk wie das Internet aufzubauen.

Das *Internet Layer* nutzt nun diese Punkt-zu-Punkt-Verbindungen, um Kommunikation über mehrere Punkte (sogenannte *Hops*) zu ermöglichen. Dafür wird jedem Gerät eine globale Adresse zugeordnet, durch die das endgültige Ziel eines Paketes bestimmt werden kann. So muss jeder Computer das Paket nur über eine direkte Verbindung an einen Nachbarn senden, und das Datenpaket kommt irgendwann am Ziel an. Jeder Punkt muss dabei die Entscheidung treffen, wie das Paket genau weitergegeben werden soll. Dafür gibt es verschiedenste Algorithmen, die zum Beispiel versuchen, nur besonders kostengünstige Verbindungen zu benutzen. Das Internet Layer ermöglicht so das *Routing* von Paketen, garantiert jedoch keine vollständige Übertragung. Datenpakete können verloren gehen oder in einer anderen Reihenfolge ankommen.

Das *Transport Layer* benutzt dieses Routing, um mehr Garantien für den Transport von Daten zu geben, falls für die Anwendung erforderlich. Dazu kann gehören, dass überprüft wird, ob Datenpakete vollständig und in der richtigen Reihenfolge angekommen sind. Falls nicht, werden sie neu übertragen und/oder sortiert. Das TCP-Protokoll baut zum Beispiel eine Verbindung zwischen zwei Teilnehmern auf. Für diese Verbindung garantiert das Protokoll, dass alle Daten in richtiger Reihenfolge und ohne Fehler ankommen oder ansonsten die Verbindung abgebrochen wird. Dies hat allerdings zur Folge, dass bei Paketverlust eine hohe Verzögerung entsteht, da Pakete gegebenenfalls mehrmals gesendet werden müssen.

Bestimmte Internetanwendungen benötigen eigene Datenformate mit eigenen Metadaten und Headern. Im TCP/IP-Modell wird dies in der vierten und letzten Schicht, dem *Application Layer*, beschrieben. Hier sind Standards für verschiedene Anwendungen definiert. Ein Beispiel ist *HTTP*, was für die Übertragung von Webseiten entwickelt wurde. Dieses Protokoll enthält im Header unter anderem auch noch Informationen wie den Browser des Zugreifenden, wodurch optimierte Webseiten an verschiedene Geräte gesendet werden können.

Diese Protokolle ermöglichen gemeinsam, dass die Entwickler von Internetanwendungen annehmen können, dass jeder Computer auf der gesamten Welt direkt mit jedem anderen Computer verbunden ist, dass es keine Übertragungsprobleme gibt und dass jedes an das Internet angeschlossene Gerät die gleiche Sprache spricht.

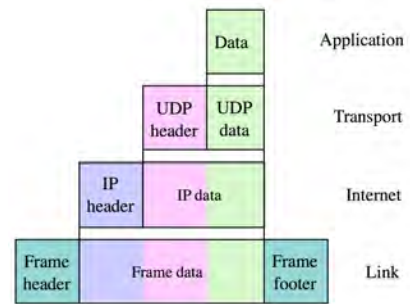


Abb. 1: Funktion der Layer im TCP/IP-Modell; Quelle: [5]

Aufgaben während der Akademiezeit

Meine Hauptaufgabe während der Akademie war die Implementation der Menüs und der damit verbundenen Logik, um Spiele zu eröffnen, zu starten und zu beenden.

Anfangs musste ich mich erst einmal in die Netzwerkfunktionen von Unity einlesen, um herauszufinden, wie wir diese nutzen können, um unsere Spieldaten über das Netzwerk synchronisieren können. Sobald die grundlegenden Netzwerkmodule implementiert waren, fing ich an, die Hauptmenüs zu überarbeiten. Ziel hierbei war, dass jeder Spieler einen eigenen Spielernamen und eine Karte, auf der gespielt wird, wählen kann. Außerdem mussten alle Level angepasst und mit den notwendigen Netzwerkkomponenten ausgestattet werden. Für diese Änderungen habe ich eng mit dem Meta-Team zusammengearbeitet, da dieses Team die Hoheit über die Level hatte.

Ich arbeitete außerhalb dieser Aufgaben permanent mit dem Gamemechanics-Team zusammen. Immer wenn neue Mechaniken implementiert wurden, kümmerte ich mich darum, diese mit dem Netzwerk zu verbinden und korrekt zu synchronisieren.

Insgesamt war es sehr bereichernd, gemeinsam in einem größeren Team an einem Videospiel zu arbeiten. Die Entwicklung in einem solchen Team unterscheidet sich stark von der Entwicklung alleine. Im Team entstehen zusätzliche Probleme dadurch, dass jeder an etwas anderem arbeitet, aber doch alles ineinandergreifen muss. Um diese Herausforderung zu meistern, waren viele Absprachen und viel Organisation erforderlich.

Quellen

1. <https://www.rfc-editor.org/info/rfc791>
2. <https://www.rfc-editor.org/info/rfc768>
3. <https://www.rfc-editor.org/info/rfc793>
4. <https://www.rfc-editor.org/info/rfc1180>
5. By en>User:Cburnett original work, colorization by en>User:Kbrose; Original artwork by en>User:Cburnett, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1546338>

6.2 Multiplayer in Unity

Tobias Chen
Betreuer: Mischa Holz

Bei der Entwicklung eines Multiplayer-/Mehrspieler-Computerspiels müssen besondere Hürden gemeistert werden, die bei einem reinen Einzelspielerspiel gar nicht erst auftreten. Unter anderem muss das Entwicklerteam dafür sorgen, dass alle Mitspieler ein vergleichbares Spielgefühl erfahren und keine Partei bevor- oder benachteiligt wird.

Eine der Maßnahmen dafür ist das Aufteilen des Spiels in Vorgänge auf dem *Server* und dem *Client*. Der Server ist derjenige Computer, der Kontrolle über die Simulation des Spiels hat. Als Client bezeichnet man den Computer eines einzelnen Spielers, der eine Verbindung zum Server aufbauen muss, um an dem Spiel teilnehmen zu können. Der Client nimmt die Eingaben seines

Nutzers auf und sendet sie an den Server, wo diese verarbeitet und entsprechend beantwortet werden. Für den Nutzer generiert der Client sofortiges Feedback auf die Eingabe, etwa Grafik, Ton oder Controller-Vibration, und bei Antwort des Servers setzt er Änderungen in der Spielwelt um. Diese können natürlich auch Ergebnis der Eingaben anderer Spieler sein. Auch bei mehreren Clients findet allerdings keine direkte Kommunikation zwischen den Clients statt – der Server gibt sämtliche Statusupdates als gesammelte Änderungen in der Spielwelt an jeden einzelnen Client zurück. Da die relevanten Berechnungen für alle Clients gleichermaßen auf dem Server laufen, wird ein möglichst faires Spielerlebnis gewährleistet. Allerdings ergeben sich aus dieser Vorgehensweise auch neue Problemquellen.

Die Zeit, die zwischen der Eingabe eines Spielers und der Reaktion durch die Spielwelt vergeht, bezeichnet man als *Lag*. Zwei wichtige Faktoren, die in Mehrspieler-Spielen Lag erzeugen, sind die *Latenz* – die Zeit, die Daten brauchen, um vom Client zum Server und zurück transportiert zu werden – und die Verarbeitungsdauer der entsprechenden Daten auf dem Server. Je nach Spiel kann ein hoher Lag das Spielgefühl nachhaltig beeinträchtigen.

Lag lässt sich im Allgemeinen nicht ganz eliminieren, da eine gewisse Transport- und Verarbeitungszeit immer benötigt wird. Ein Verfahren, um den Lag möglichst gering zu halten, ist, das Spiel sowohl auf dem Server als auch auf jedem Client einzeln zu simulieren. Die Simulationen werden regelmäßig miteinander abgeglichen und auf den Clients in die des Servers überführt, sollten sie auseinanderlaufen. Dieses Vorgehen vervielfacht zwar die insgesamt benötigte Rechenzeit, durch die lokale Simulation kann jedoch die Eingabe jedes Spielers zu sofortigen Reaktionen führen. Wichtig hierbei ist, dass der Server jede Veränderung in der Spielwelt lange genug für alle Beteiligten speichert, auch wenn verschieden schnelle Computersysteme und Verbindungen verwendet werden. Dies ist zum Beispiel entscheidend, wenn auf ein bewegendes Ziel geschossen wird: Selbst wenn der Spieler auf seinem Client genau gezielt hat, kann sich das Ziel auf dem Server bereits aus dem Fadenkreuz des Spielers herausbewegt haben. In diesem Fall muss der Server also wissen, an welcher Stelle sich das Ziel zum Zeitpunkt der Eingabe befunden hat. Der Zeitpunkt der Eingabe wird ermittelt durch die momentane Serverzeit, abzüglich der geschätzten Latenz und der *Interpolationsdauer* des Clients.

Interpolation von Seite des Clients wird benötigt, um die Bewegungen und Aktionen aller Spieler und Objekte flüssig zu halten, auch wenn die lokale Simulation vom Server abweicht und daher korrigiert werden muss. Außerdem ist die Menge der Daten, die vom Server gesendet werden, durch Bandbreite der Leitung und die Rechenleistung des Servers limitiert. Würde die Spielwelt jedes Mal sprunghaft aktualisiert, wenn neue Daten vom Server kommen, würde der Spieler also ein Stottern wahrnehmen. Datenverlust beim Transport ist auch nie ganz auszuschließen und verschlimmert diesen Effekt weiter. Aus diesem Grund zeigt der Client nicht direkt die neuesten Daten an, sondern präsentiert den Spielzustand, der genau um eine Interpolationsdauer zurückliegt. Der Client kann dann im Fall von Datenverlust den Buffer aus wenigen „fehlenden“ Updates nutzen, um die Änderungen zwischen dem gezeigten und zuletzt angekommenen Statusupdate zu interpolieren. Ein einzelnes fehlendes Paket kann so problemlos überspielt werden, und der Server verrechnet die zusätzliche künstliche Verzögerung einfach bei der Trefferüberprüfung.

Zusätzlich können, wenn mehrere Updates fehlen, Bewegungen und Animationen extrapoliert werden. Es wird also neben der Position und Ausrichtung auch die Bewegungsgeschwindigkeit übertragen, und der Client schätzt, an welcher Stelle sich die anderen Parteien befinden.

Die von uns benutzte Spiele-Engine Unity unterstützt alle der hier besprochenen Konzepte. Sie verfügt über ein Netzwerkmodul, welches es mit minimalem Aufwand erlaubt, eine Client-gehostete Mehrspielerumgebung aufzusetzen, bei welcher ein Client als Server bestimmt wird. Objekte und Spielfiguren, welche im Netzwerk synchronisiert werden sollen, müssen lediglich als solche markiert werden. Daraufhin versendet Unity die entsprechenden Daten an alle verbundenen Clients und sorgt dafür, dass zwischen ihnen interpoliert wird.

Aufgaben während der Akademiezeit

Meine Aufgaben lagen primär im Schreiben des Netzwerkcodes. Ich war dafür verantwortlich, dass alle Spieler synchron gehalten werden, nur die eigenen Fähigkeiten nutzen können und sich auf allen Geräten identisch verhalten. Ich habe viel mit den anderen Mitgliedern des Projekts zusammengearbeitet und sie auch bei ihren eigenen Problemstellungen unterstützt. Dabei war es mein persönliches Ziel, mein Wissen und meine Erfahrungen aus den Vorjahren weiterzugeben und zu erweitern. In der verbleibenden Zeit habe ich mich mit den Kernmechaniken unseres Spieles (Laufen, Springen, Schießen) auseinandergesetzt und kleinere Systeme mitentwickelt. Dabei ging es mir vor allem darum, ein möglichst schnelles Spiel auf die Beine zu stellen, das sich noch sauber steuern lässt und für erfahrene Spieler Möglichkeiten bietet, ihre Fähigkeiten unter Beweis zu stellen.

Wie auch in den letzten Jahren war ich enorm von der Einsatzbereitschaft und Teammoral der gesamten Gruppe beeindruckt. Sowohl Schüler als auch Betreuer haben freiwillig bis spät in die Nacht und weitab von jeder Kurszeit noch gearbeitet, um innerhalb der sehr begrenzten Akademiezeit fertig zu werden. Durch unseren Einsatz ist uns es uns voll und ganz gelungen, ein tolles Spiel fertigzustellen, und ich bin enorm stolz, Teil dieses Projekts, dieses Kurses und dieser Akademie gewesen zu sein.

Quellen

1. <https://docs.unity3d.com/Manual/UNetOverview.html>
2. https://developer.valvesoftware.com/wiki/Source_Multiplayer_Networking
3. <http://denkirson.proboards.com/thread/5972/networking-lag-compensation-hit-detection>

6.3 Collision Detection am Beispiel von First Person Shooter Games

Theresa Schwarz

Betreuer: Hilmar Wiegand

First Person Shooter, kurz FPS, gehören zur Kategorie der Action-Games. Der Spieler spielt seinen Charakter aus der Egoperspektive, weswegen Spiele aus diesem Genre oft auch *Ego-Shooter* genannt werden.

Der allererste First-Person-Shooter war *Maze-War* (Steve Colley, Greg Thompson und andere), welches um das Jahr 1973 herum entwickelt und veröffentlicht wurde. Zum Durchbruch verhalf dem Genre allerdings erst *Doom (id Software)*, welches in 1993 erschien. In beiden Spielen läuft der Charakter durch eine dreidimensional aussehende Welt, obwohl die Bewegungs- und Schussebene aufgrund technischer Limitation noch zweidimensional implementiert worden ist.

Eine der zentralen Herausforderungen der FPS ist die *Kollisionsfindung* (*Collision Detection*). Dabei will man überprüfen, ob zwei Objekte – zum Beispiel Charaktere, Teile der Umwelt oder Geschosse – kollidieren, sich also überlappen würden. Wird eine Kollision festgestellt, wird für gewöhnlich die Bewegung eines Objektes eingeschränkt (man läuft *gegen* eine Wand statt *hindurch*) oder es werden Effekte ausgelöst (der Spieler verliert Lebenspunkte durch Kollision mit einem Geschoss).

Es wäre dabei viel zu aufwendig, jeden einzelnen Pixel mit jedem anderen zu jedem Zeitpunkt auf Kollision zu testen. Zur Vereinfachung bei komplexen Formen nähert man also die Körper durch simplere Formen wie Kreise und Rechtecke (zweidimensional) bzw. Kugeln und Quader (dreidimensional) an, sogenannte *Bounding Boxes*. Die Kollision dieser Bounding Boxes ist einfacher zu berechnen.

Für Kugeln und Kreise muss lediglich der Abstand der Mittelpunkte verglichen werden. Ist dieser Abstand kleiner als die Summe der Radii, kollidieren die Objekte.

Für Rechtecke und Quader kann zum Beispiel der *Axis-Aligned Bounding Box-Algorithmus* (AABB-Algorithmus) verwendet werden. Hierbei werden jeweils die X-, Y- und gegebenenfalls Z-Koordinaten der Eckpunkte der Rechtecke bzw. Quader verglichen (vgl. Abb. 1). Dies ist sehr effizient, da nur Vergleiche von einzelnen Zahlen nötig sind. Im AABB-Algorithmus gibt es horizontale (b), vertikale und schräge (c) Überlappung sowie den Fall, dass das eine Rechteck das andere Rechteck beinhaltet. Eine schräge Überlappung (c) tritt auf, wenn sowohl eine horizontale als auch eine vertikale Überlappung vorhanden ist, und kennzeichnet eine Kollision der beiden Objekte.

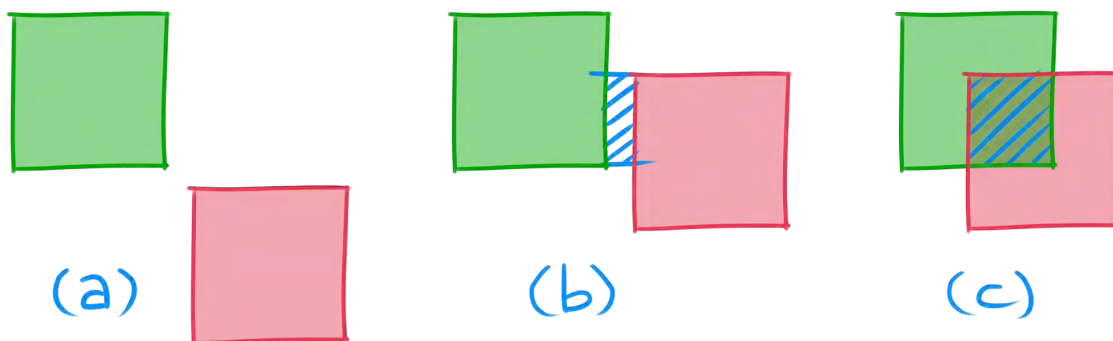


Abb. 1: Der zweidimensionale AABB-Algorithmus: (a) keine Überlappung (b) Überlappung in einer Achse (c) Überlappung in beiden Achsen = Kollision; eigene Grafik

Nun kann es bei Collision Detection zu vielen verschiedenen Problemen kommen. Man muss zum Beispiel festlegen, welche Objekte überhaupt auf Kollision überprüft werden. Hätte man unbegrenzt viel Rechenkraft zur Verfügung, könnte man alle Objekte mit allen anderen vergleichen – doch damit stiege die Laufzeit quadratisch mit der Anzahl der Objekte, und dieser Algorithmus würde schnell extrem ressourcenintensiv werden. Als Lösung hierfür teilt man die Spielwelt in verschiedene Zonen ein und testet dann nur Objekte innerhalb der gleichen Zone auf Kollision. Diese Zonen können beliebig groß oder klein sein. Außerdem teilt man alle Objekte in *statisch* und *dynamisch* auf. Statische Objekte, wie zum Beispiel am Boden liegende Boxen, müssen nicht miteinander verglichen werden, da sie sich nicht bewegen und somit auch nicht miteinander kollidieren können. Schon allein durch diese beiden Vereinfachungen kann die Performanz erheblich erhöht werden.

Für extrem schnelle Projektile, zum Beispiel Geschosse, verwendet man zusätzlich *Hitscan* zur Kollisionserkennung: Da diese Objekte fast keine Reisezeit haben, vereinfacht man sie zu einer Geraden, auf der sie sich entlangbewegen. Schneidet diese Gerade ein Objekt oder einen Charakter, so wird eine Kollision registriert. Im Allgemeinen ist dieses Problem in der Informatik als *Raytracing* bekannt. Hitscan macht jedoch nicht bei allen Waffen Sinn. Pfeile fliegen beispielsweise viel langsamer als das Geschoss eines Scharfschützengewehrs, es würde also wenig Sinn machen, die Flugzeit komplett zu vernachlässigen. Außerdem ergibt sich auf lange Strecken eine parabelförmige Flugbahn. Hier muss also auf andere Algorithmen zurückgegriffen werden.

Aufgaben während der Akademiezeit

Ich war im Spielmechanik-Team für die Implementierung der Items zuständig. Darunter waren ein Heiltrank, ein Geschwindigkeitstrank und ein Verlangsamungstrank für unsere Spielcharaktere. Letztere beide sind sehr ähnlich implementiert – nur einmal mit positiver Beschleunigung, einmal mit negativer. Außerdem habe ich die Grundlage für alle zusätzlichen Item-Scripts geschrieben. Damit war es meinen Teammitgliedern möglich, Waffen zu erstellen, welche die Projektile des Spielers hinsichtlich ihres Flugverhaltens, ihres Schadens und ihrer Reichweite verändern.

Ein wichtiger Aspekt meiner Arbeit mit den Items war die Umsetzung der Spawnpunkte. Diese sollen bei Beginn des Spieles jeweils ein Item erscheinen lassen. Falls dieses eingesammelt wird, soll ein Timer von einer bestimmten Zahl in Sekunden herunterzählen und danach ein neues Item spawnen. Insbesondere muss in jedem Item eine Referenz zu seinem Spawnpunkt gespeichert sein. Damit wird pro Spawnpunkt überprüft, ob das jeweilige Item aufgesammelt wurde und somit der Timer für das nächste Item gestartet werden muss.

Mich an die Arbeit mit Unity zu gewöhnen war relativ einfach. Schwieriger war die Koordination mit den anderen Schülern – wenn die Collab-Funktion von Unity Probleme machte, war es sehr umständlich, den anderen Vorlagen für Skripte zu liefern oder kleinere Fehler zu beheben, weshalb manchmal das ganze Spiel lahmgelegt wurde. Dies hat uns aber auch gezeigt, wie wichtig Kommunikation und Zusammenarbeit bei einem solchen Projekt sind.

Quellen

1. https://en.wikipedia.org/wiki/First-person_shooter
2. <http://www.owenpellegrin.com/articles/vb-net/simple-collision-detection/>
3. <https://stackoverflow.com/questions/22512319/what-is-aabb-collision-detection>
4. <https://en.wikipedia.org/wiki/Hitscan>

6.4 Simulation am Beispiel von Real Time Strategy Games

Alexandra Marquart

Betreuer: Hilmar Wiegand

In Computerspielen tauchen Spieler in neue, faszinierende Welten ein. Dafür werden hinter den Kulissen Unmengen an Berechnungen und Simulationen durchgeführt, die abhängig vom Genre oft starke Ähnlichkeiten aufweisen – etwa die Simulation in *Real Time Strategy Games* (RTS).

Real Time bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Simulation des Spiels unabhängig von den Aktionen der Spieler in festen Zeiteinheiten voranschreitet. Im Gegensatz dazu stehen zugbasierte Spiele, in denen die Spieler jeweils warten müssen, bis derjenige, der am Zug ist, alle seine Aktionen ausgeführt hat. In RTS-Spielen können Spieler also einen signifikanten Vorteil erringen, indem sie ihre Aktionen schneller nacheinander ausführen und weniger Bedenkzeit benötigen – physische Koordination ist genauso wichtig wie strategisches Denken.

Das RTS-Genre entwickelte sich langsam aus anderen heraus, bis es 1992 mit *Dune II* seinen endgültigen kommerziellen Durchbruch hatte und allgemein als eigenes Genre anerkannt wurde. Ein typisches Ziel von RTS-Spielen ist, Gebiete der Spielwelt für sich zu erobern, Ressourcen zu sammeln und im Zuge dessen die anderen Spieler zu bekämpfen. Dazu werden Einheiten positioniert und manövriert, wobei je nach Spiel eher strategisches Denken oder schnelle Koordination im Vordergrund stehen können. Die dabei verwendeten Mechaniken sind sehr vielseitig und finden nicht nur für klassische RTS-Spiele wie *Command & Conquer* (Westwood Studios, 1995) oder *Starcraft II* (Blizzard Entertainment, 2010) Anwendung, sondern zum Beispiel auch in Stadtaufbausimulationsspielen wie *SimCity* (Maxis, 1989) oder *Cities: Skylines* (Paradox Interactive, 2015).

Die Simulation der einzelnen Teile des Spielgeschehens ist ganz verschieden aufwendig. Ressourcen können beispielsweise durch einen einfachen Zähler simuliert werden, der beim Erwerben der Ressourcen hochzählt und bei Verbrauch sinkt. Das Trainieren von Einheiten oder das Bauen von neuen Strukturen wird ebenfalls oft durch eine Zahl simuliert, etwa einen Timer, den die Bau-Aktion startet und bei dessen Ablauf das Gebäude errichtet wird.

Komplizierter wird es bei der Bewegung von Einheiten und Kämpfen zwischen diesen, da sich solche Vorgänge nicht mehr durch eine einfache Zahl darstellen lassen. Eine der Herausforderungen ist das sogenannte *Pathfinding* – Truppen müssen ihren Weg durch die Spielwelt selbst finden, wenn der Spieler ihnen ein Ziel angibt. Dabei müssen sie um Hindernisse herum navigieren und ihre Formation beibehalten, was sich insbesondere bei großen Gruppen von Einheiten als schwierig gestaltet.

Es gibt viele generalisierte Pathfinding-Algorithmen. Einer der bekanntesten ist A^* , bei dem ein Raster über das Spielfeld gelegt wird und anschließend der Weg gesucht wird, der die geringste Anzahl von Kästchen überquert. Diese Algorithmen funktionieren oft nur im allgemeinsten Fall einwandfrei, während sie in spezielleren Szenarien manchmal Lösungen generieren, die für uns Menschen nicht sehr intuitiv sind. Das erklärt auch, warum Pathfinding eine so zentrale Mechanik in RTS-Spielen ist, da sich immer etwas bewegt und die intuitive Nutzung der Steuerung essentiell für den Erfolg eines Spiels ist.

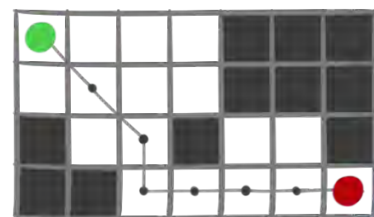


Abb. 1: Pathfinding mittels A^* von Grün zu Rot; eigene Grafik nach [1]

Nun kommt in RTS-Spielen meist noch eine weitere Komplikation hinzu: der Multiplayer-Modus. Die besondere Schwierigkeit liegt dabei nicht in der erhöhten Anzahl der Einheiten, sondern darin, den Zustand der Spieler zu synchronisieren. Die einfachste Lösung wäre, den gesamten Spielzustand jedes Spielers zu übertragen, was aufgrund der großen Datenmengen in den seltensten Fällen praktikabel ist.

Eine Lösungsmöglichkeit bietet das *Lockstep-Prinzip*. Dabei wird der Spielzustand aller Spieler anfänglich einmal vollständig synchronisiert, im Anschluss werden nur noch die Eingaben der Spieler und eventuelle computergenerierte Änderungen mitgeteilt. Auf Basis dieser Inputs aktualisiert jeder Client den Spielzustand dann selbstständig. Wichtig ist dabei, dass sämtliche Berechnungen deterministisch sind – sie müssen also bei gleichem Ausgangszustand und gleichem Input exakt das gleiche Ergebnis liefern. Die Implementierung eines solchen Systems hat ihre eigenen Herausforderungen, spart aber erheblich an Bandbreite, da natürlich die Übertragung der Inputs wesentlich effizienter ist als die des gesamten Spielgeschehens. Da mittlerweile Programmierzeit im Durchschnitt kostenkritischer ist als Bandbreite, ist das Lockstep-Prinzip allmählich am Aussterben.

Aufgaben während der Akademiezeit

Ich war Teil des Technik-Teams, wobei ich mich hauptsächlich mit den Spielmechaniken befasst habe. Ich habe mich also darum gekümmert, wie die Bewegungen des Spielers ablaufen, und bestimmte Eigenschaften des Spielers eingebaut, die bei Bedarf an- und ausgeschaltet werden können – etwa zum Wechseln der Waffe. Der Spieler muss natürlich Grundbewegungen wie Laufen und Springen ausführen können, in unserem Spiel soll er sich aber auch mittels eines Hakens an Wänden und Decken fortbewegen können. Zusätzlich muss jeder Spieler über eine bestimmte Ausstattung an verschiedenen Waffen mit jeweils eigener Munition verfügen, wobei letztere durch das Sammeln von Items erhöht und durch das Abfeuern der Waffe vermindert wird. Außerdem habe ich dafür gesorgt, dass sowohl die Items als auch die Schüsse der Waffen an den richtigen Stellen erscheinen und die richtigen Aktionen auslösen. Schwierig hierbei war die Implementierung des Punktestands, der entsprechend der Anzahl der getöteten Spieler und der eigenen Tode berechnet werden muss. Dabei muss der Computer registrieren, von wem ein Spieler letztendlich abgeschossen wurde – das Waffenprojektil muss sich also merken, von wessen Waffe es abgefeuert wurde.

Anfangs war es noch recht schwierig, mit der neuen Programmiersprache (C#) und Programmierumgebung (Unity) zurechtzukommen. Ich hatte zwar vorher Tutorials zu beidem bearbeitet, dennoch war es nochmal etwas völlig anderes, das Wissen bei einem eigenen Projekt selbstständig anzuwenden. Die ersten Tage musste ich mich deshalb erstmal mit beidem vertraut machen, wobei mir sowohl die Betreuer als auch die anderen Kursteilnehmer sehr geholfen haben. Das gemeinsame Arbeiten an einem Projekt hat uns alle schnell zusammenfinden lassen, da wir alle wollten, dass es so gut wie möglich wird. Es gab zwar gerade am Anfang einige Probleme, bei denen mehrere Personen unwissentlich an der gleichen Funktion arbeiteten, doch gerade gegen Ende hat die Kommunikation zwischen allen Teilnehmern immer besser funktioniert und wir sind ein tatsächliches Team geworden.

Quellen

1. <http://www.growingwiththeweb.com/2012/06/a-pathfinding-algorithm.html>
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_strategy
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Turns,_rounds_and_time-keeping_systems_in_games
4. https://www.gamasutra.com/blogs/AndrewErridge/20180522/318413/Group_Pathfinding_Movement_in_RTS_Style_Games.php
5. https://www.gamasutra.com/blogs/DanielCollier/20151124/251987/Minimizing_the_Pain_of_Lockstep_Multiplayer.php

6.5 Persistenz und Scaling am Beispiel von Massively Multiplayer Online Games

Insa Belter

Betreuer: Hilmar Wiegand

Massively Multiplayer Online Games (MMOGs) sind Onlinespiele, in denen sehr viele Spieler gleichzeitig auf mehreren Servern mit- oder gegeneinander spielen. Dabei befinden sich die Spieler in einer persistenten, offenen Spielwelt. MMOGs erfreuen sich unter anderem deshalb großer Beliebtheit, da sie die Kommunikation und Kooperation von zahlreichen Spielern ermöglichen, die teilweise aus unterschiedlichen Ländern oder sogar von unterschiedlichen Kontinenten stammen.

MMOGs sind auf unterschiedlichen Plattformen vertreten und gehen mit ganz verschiedenen Spielmechaniken einher. Die bekannteste Art des MMO-Genres sind *Role-Playing Games* (MMORPGs); besonders erfolgreich sind hier Spiele wie *World of Warcraft* (Blizzard Entertainment, 2004), *EVE Online* (Simon & Schuster, 2003) und *Destiny 2* (Activision, 2017). In diesen Spielen besteht das Ziel darin, seinen erstellten Charakter zu verbessern, indem man Erfahrung sammelt, seine Ausrüstung aufrüstet und gegen die Charaktere anderer Spieler antritt oder mit ihnen Tauschgeschäfte führt.

Dabei müssen viele Spieldaten, beispielsweise die Charakterfähigkeiten, das Level, die gesammelten Items oder die erzielten Erfolge, dauerhaft gespeichert werden, um sie nach einer Spielpause wiederherstellen zu können. Man bezeichnet sie als persistente Daten. Nicht-persistent hingegen sind Daten, die nach Beenden des Spieles gelöscht werden, zum Beispiel die aktuellen Lebenspunkte des Charakters, in welche Richtung er läuft oder ob er gerade angegriffen wird.

Die Speicherung der persistenten Spieldaten ist in MMOGs besonders schwer, da sich wegen der hohen Spielerzahlen sehr große Mengen an Daten ansammeln. Zur Vereinfachung und effizienten Gestaltung verwendet man daher *Datenbanksysteme*. Sie bestehen aus der *Datenbank* (DB), in der sich alle zu verwaltenden Daten befinden, und einer Verwaltungssoftware, dem sogenannten *Datenbankmanagementsystem* (DBMS), welches die Zugriffe auf die Datenbank kontrolliert, organisiert und eine eigene Datenbanksprache für die Anfragen bereitstellt. Der Vorteil einer Datenbank ist, dass viele Klienten gleichzeitig auf die Datenbank zugreifen können, was natürlich in einem Spiel wie einem MMOG mit Hunderten bis Millionen von Spielern essentiell ist.

Typischerweise werden für die Datenverwaltung bei MMOGs relationale Datenbanken verwendet. In diesen werden die Daten *tabellenbasiert* gespeichert, was heißt, dass es Spalten gibt, die durch Attribute bezeichnet sind. Diesen werden dann in den Zeilen in Form von Tupeln passende Werte zugeordnet. Dabei stehen die einzelnen Tabellen (Relationen) in Beziehungen zueinander und sind so miteinander verknüpft, was die Bearbeitung von Anfragen an die Datenbank wegen der guten Strukturierung im Vergleich zu anderen Datenbanksystemen deutlich vereinfacht.

Neben der guten Strukturierung ermöglichen relationale Datenbanken eine hohe Konsistenz der Daten, also eine geringe Fehleranfälligkeit. Das liegt daran, dass die Datenbank mithilfe der gegebenen Regeln die Eingabe von ungültigen Daten verhindert, sowie die Gültigkeit der Relationen zwischen Tabellen erhält.

Für die Effizienz eines Datenbanksystems ebenfalls wichtig ist seine Skalierbarkeit, also seine Fähigkeit, steigenden Anforderungen gerecht zu werden, beispielsweise durch die Erhöhung der Spielerzahl. Die Skalierung von Servern und Datenbanken kann durch eine Verbesserung der Hardware (vertikale Skalierung) oder durch das Erhöhen der Serveranzahl (horizontale Skalierung) bewerkstelligt werden.

Wegen der hohen Spielerzahlen in MMOGs ist es wichtig, dass Serverüberlastungen verhindert werden. Ein Mittel dafür ist das *Sharding*, bei dem die in der Datenbank gespeicherten Daten auf unterschiedliche Server aufgeteilt werden. Bei Anfragen an die Datenbank wird dann der Server ermittelt, der die angefragten Daten enthält, und die Anfrage wird an ihn weitergeleitet. Dadurch wird die Rechenleistung auf die Server aufgeteilt und eine Überlastung der Serverkapazitäten unwahrscheinlicher.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit des Sharding ist die *Instanziierung* von Gebieten in Spielen. Dabei werden temporäre Kopien von einzelnen Spielzonen erstellt, die nur für eine bestimmte Spieleranzahl zugänglich sind. Diese Instanzen können auf unterschiedliche Server verteilt werden, was zum einen Serverüberlastungen vorbeugt und zum anderen dafür sorgt, dass weniger Daten an die Klienten der Spieler gesendet werden, was wiederum ein flüssiges Spielerlebnis gewährleistet. Außerdem ist die Spielwelt, in der sich die Spieler befinden, weniger überfüllt und den Spielern stehen mehr Ressourcen zur Verfügung.

Falls es tatsächlich einmal zu einem Serverausfall kommen sollte, kann im Vorfeld durch eine Replikation der Spieldaten vorgesorgt werden. Dabei werden dieselben Daten auf mehreren Servern eines Servernetzwerkes gespiegelt, sodass eine Lastverteilung der Datenbankzugriffe stattfindet und beim Ausfall eines einzelnen Servers dieser durch einen anderen Server abgelöst werden kann.

Aufgaben während der Akademiezeit

Ich habe im Programmiererteam mitgearbeitet und war dabei vor allem für die Spielmechaniken zuständig. Mein Schwerpunkt lag auf der Funktionsweise der unterschiedlichen Schussmechaniken und Items für unsere Kerzen. Wir haben im Team alle sehr eng mit den Mitgliedern des Netzwerkteams zusammengearbeitet, da unsere Spielmechaniken auch später im Multiplayermodus, also über eine Netzwerkverbindung, funktionieren mussten.

Durch meine Arbeit an unserem Projekt habe ich neue Erfahrungen dazu gesammelt, wie eine gemeinschaftliche Arbeit an einem sehr großen Projekt abläuft, wobei zwar jeder eigene Aufgaben hat, aber trotzdem alle aufeinander angewiesen sind und eine sehr gute Planung und Absprache notwendig sind. Außerdem hatte ich die Gelegenheit, meine Programmierfähigkeiten in einer für mich neuen Programmiersprache durch die Hilfe meiner Betreuer und Teammitglieder, aber auch durch selbst gesammelte Erfahrungen, zu verbessern.

Quellen

1. <http://media.wow-europe.com/infographic/de/world-of-warcraft-infographic.html>
2. http://wikis.gm.fh-koeln.de/wiki_db/index.php?n=Datenbanken.NoSQL
3. <https://db-engines.com/de/article/Sharding>
4. <https://www.eveonline.com/article/introducing-time-dilation-tidi/>
5. <https://www.netzorange.de/it-ratgeber/datenbanken-und-deren-aufbau-in-der-it/>

6.6 Visual Clarity

Lea Goedeking

Betreuer: Hannes Güdelhöfer

Das Gebiet der *Visual Clarity* beschäftigt sich mit dem Vereinfachen und deutlichen Darstellen von Informationen. Diese sollen so gestaltet werden, dass sie für den Wahrnehmenden sofort verständlich sind und ein möglichst positives Nutzererlebnis vermitteln. Werkzeuge zum Justieren der Visual Clarity sind beispielsweise Form, Farbe, Textur, Größenverhältnisse und Detailgrad.

Unklare Informationen können in vielen Bereichen des Lebens Missverständnisse verursachen und für Probleme sorgen. Besonders plakative Beispiele dafür sind Straßenschilder oder Wegweiser für Notfälle, deren Unklarheit sogar zu Unfällen führen kann. Durch Globalisierung und Digitalisierung werden diese Probleme noch verstärkt, da das Vereinfachen von Informationen etwa durch Stereotypen oder Farben in verschiedenen Kulturen ganz unterschiedlich funktioniert. Das Bewusstsein für diese Unterschiede findet seine Anwendung in vielen Lebensbereichen – so wird in einer Filmszene in *Inside Out* (Pixar, 2015) in den meisten Ländern Brokkoli gezeigt, um den Ekel von Kindern gegenüber Gemüse zu demonstrieren, in China jedoch grüne Paprika.

In Computerspielen ist Visual Clarity oft unabdingbar, um ein gutes Spielerlebnis zu gewährleisten. Dabei ist zwischen verschiedenen Spielarten zu unterscheiden: Sind schnelle Reaktionen auf neue Informationen erforderlich, müssen Spielelemente wie die Umgebung, Gegner oder Teammitglieder sofort erkennbar sein. In anderen Spieltypen ist reduzierte Visual Clarity hingegen erwünscht – durch versteckte Gegner oder uneindeutige Pfade kann Spannung erzeugt und verstärkt werden.

Die Silhouette ist eines der wichtigsten Merkmale eines Objekts. Sie gibt erste Informationen über Größe, Statur und Besonderheiten. Manche Silhouetten, wie die der Flaschen 3 und 1/2, lassen sich klar unterscheiden, während die Flaschen 1 und 2 rein von der Silhouette her nicht zu unterscheiden sind.

Farbe und Muster können die Eindeutigkeit einer Silhouette unterstützen und sogar ersetzen. Die Flaschen 1 und 2 haben die gleiche Silhouette, sind aber trotzdem durch ihre Farben und das eindeutige Muster klar definiert.

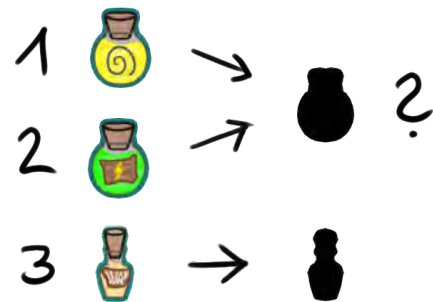


Abb. 1: Visual Clarity bei Flaschen; eigene Grafik

Aufgaben während der Akademiezeit

Bei den zuvor benutzten Beispielen handelt es sich um Items, die in dem Computerspiel des Informatik-Kurses auftauchen und Teil meiner Arbeit während der Akademie waren. Um die die Visual Clarity wie beschrieben zu gewährleisten, habe ich erste Ideen analysiert und auf die wesentlichen Aspekte reduziert.

Des Weiteren gehörte es zu meinen Aufgaben, sogenannte *Tile-Sets* zu zeichnen, aus welchen unsere Level zusammengesetzt sind. Sie ersetzen das Zeichnen eines kompletten Levels und reduzieren so im Idealfall den Arbeitsaufwand enorm.

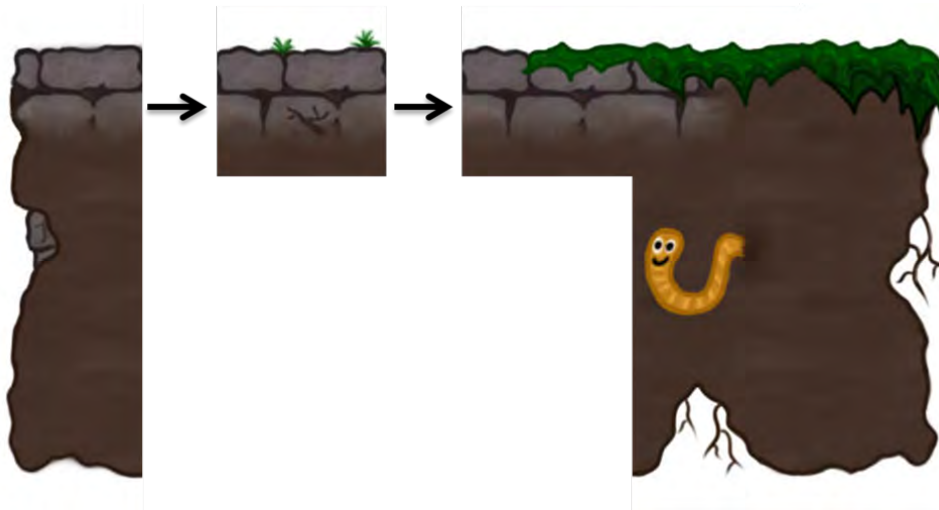


Abb. 2: Zusammenfügen von Tiles; eigene Grafik

Die Tiles eines Sets werden so gezeichnet, dass sie an entsprechenden Seiten perfekt aneinander passen und so zu größeren Einheiten zusammengesetzt werden können. Ein Tileset besteht bei uns aus insgesamt 14 Tiles. Werden die Ränder beibehalten, so können auch kleine Variationen wie Würmer, Grasbüschel oder Wurzeln scheinbar zufällig durch prozedurale Generierung eingefügt werden, um ein wenig Abwechslung zu gewährleisten. Außerdem habe ich Übergänge zwischen verschiedenen Tilesets gestaltet, zum Beispiel zwischen einem Tileset aus Steinen und einem mit Gras.

Quellen

1. <http://thelearningcoach.com/learning/visual-clarity-and-learning/>
2. <http://robolab.io/2018/02/09/visual-clarity-rtg-games/>
3. <http://designreboot.blogspot.com/2009/11/visual-clarity-in-character-design-part.html>
4. <https://matter-of-design.com/von-klarheit-und-chaos-ein-blick-auf-das-informationsdesign/>
5. http://www.hsaka.de/wp-content/uploads/2017/Dokumentation_Oberstufe_2017.pdf

6.7 Partikeleffekte

Justus Tobias Friedrich
Betreuer: Hannes Güdelhöfer

Schnee, Regen, aufgewirbelter Staub, Feuerwerke, Rauch und ein großer Fischschwarm – sie haben eines gemeinsam: In Computerspielen lassen sie sich alle mit dem gleichen System darstellen, sogenannten *Partikeleffekten*. *Partikel* kann man sich als kleine Objekte vorstellen, die sich bestimmten Regeln folgend durch die Spielwelt bewegen. Ihre Eigenschaften – zum Beispiel Farbe, Größe, Textur und Position – können zeitabhängig verändert werden, wodurch sie die oben genannten Objekte und vieles mehr erstaunlich wirklichkeitsgetreu simulieren können.

Spielobjekte können komplexe Logiken beinhalten, um intelligente Gegner zu simulieren oder Rätsel an den Spieler zu stellen. Partikel sind im Gegensatz dazu sehr simpel aufgebaut. Dies reduziert allerdings die Berechnungszeit für ein einzelnes Partikel enorm, wodurch Hunderte und Tausende von ihnen gleichzeitig berechnet und angezeigt werden können. Eindrucksvolle Effekte entstehen dann durch das Zusammenspiel der Partikel untereinander und mit ihrer Umwelt.

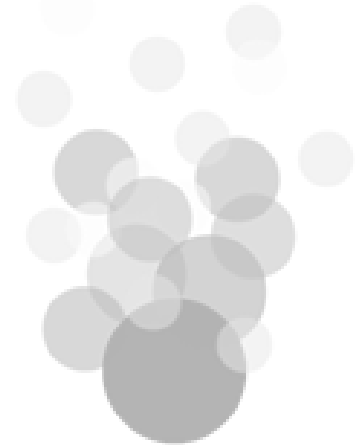


Abb. 1: Rauchpartikel; eigene Grafik

Jedes Partikel entspringt einer Quelle, dem sogenannten *Emitter*. Dieser hat eine Position, Geschwindigkeit und Ausrichtung, und er bestimmt auch die Regeln, nach denen das Partikel simuliert wird. Mit zusätzlichen Regeln kann man außerdem äußere Einflüsse wie Schwerkraft oder Wind hinzufügen. Die Simulation muss nicht unbedingt deterministisch ablaufen, sondern kann einen gewissen Freiraum für Zufall lassen, um ein realistischeres Ergebnis zu liefern.



Abb. 2: Rauch und Feuer; eigene Grafik

Um Rauch darzustellen, kann man zum Beispiel kleine graue Kreise verwenden (vgl. Abb. 1). Jedes Rauch-Partikel erfährt eine Kraft nach oben, sodass es aufsteigt. Dabei wird es mit der Zeit kleiner und transparenter, bis es letztendlich ganz verschwindet. Wenn der Emitter sich dabei schnell in eine Richtung bewegt, ergibt sich zum Beispiel der Rauchstreifen einer fliegenden Rakete.

Ersetzt man nun Kreise durch einzelne Bilder (vgl. Abb 2), können ganz verschiedene Materialstrukturen erzeugt werden. Der visuelle Gesamteindruck ist hierbei wichtiger als die physikalische Korrektheit, so dass zum Beispiel die Interaktion zwischen den einzelnen Partikeln häufig vernachlässigt werden kann.

Aufgaben während der Akademiezeit

Meine Aufgabe im Projekt war es, Grafiken für unser Spiel zu gestalten und umzusetzen. Dafür habe ich ganz verschiedene Techniken verwendet und teilweise auch neu kennengelernt.



Abb. 3: Hintergrund unseres Spiels; eigene Grafik

Abbildung 3 zeigt den Hintergrund unseres Spiels. Um einen Tiefeneindruck zu erzeugen, haben wir den Parallax-Effekt (vgl. Abb. 4) ausgenutzt: Die einzelnen Bergketten befinden sich auf verschiedenen Ebenen, und sie bewegen sich unterschiedlich schnell entgegen der Bewegungsrichtung des Spielers, sobald die Kamera sich bewegt. Diesen Effekt kann man in der richtigen Welt zum Beispiel beim Autofahren beobachten: Bäume am Straßenrand bewegen sich sehr schnell am Auto vorbei, Häuser in einiger Entfernung ziehen langsamer davon, und die Berge in weiter Ferne scheinen stillzustehen.



Abb. 4: Parallax-Effekt; eigene Grafik

Um die Menüpunkte visuell interaktiv zu gestalten, habe ich sie in zwei verschiedene Farbtönen gemalt. Fährt man mit der Maus über einen der Buttons, wird die dunklere Version durch die hellere ersetzt. Damit sieht der Spieler nicht nur schneller, wo sich seine Maus befindet, sondern er erkennt auch sofort, mit welchen Teilen des Bildschirms er interagieren kann und mit welchen nicht.

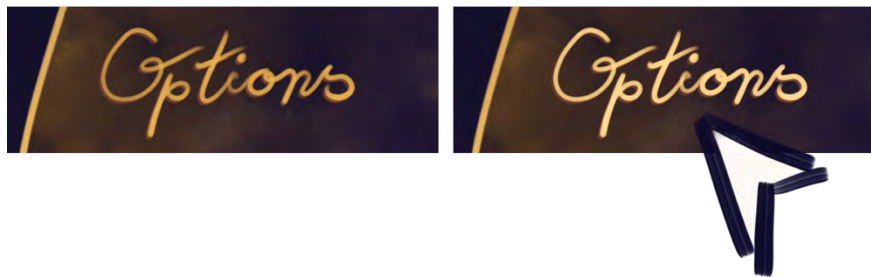


Abb. 5: Visuelle Interaktion mit Buttons; eigene Grafik

Eine der wichtigsten Erkenntnisse – speziell im gestalterischen Bereich – war für mich, dass man sich nicht zu lange mit Details aufhalten darf. Hierbei hat auch das Kanbanboard sehr geholfen, um immer einen Überblick zu haben, was noch zu erledigen ist.



Abb. 6: Game Over in unserem Spiel; eigene Grafik

Quellen

1. <http://www.kernelz.de/wp-content/uploads/2009/06/particlesystems-helminger.pdf>
2. <https://www.lri.fr/~mbl/ENS/IG2/devoir2/files/docs/particles.pdf>
3. <https://www.youtube.com/watch?v=FEA1wTMJAR0&t=8s>
4. https://www.youtube.com/watch?v=rR_bm8f8rVE

6.8 Community Management

Elisabeth Decker

Betreuer: Benedikt Ebert

Community Management bezeichnet die Organisation und Führung von Gruppen. Im Internet betrifft dies vor allem Foren und Chatrooms.

In der Spieleindustrie gibt es für einen Community Manager drei Hauptaufgabenfelder:

1. **Werbung, also die Präsentation der Firma oder des Spieles nach außen**
2. **Die Kommunikation zwischen den Entwicklern und den Spielern**

In Spielen gibt es manchmal Fehlfunktionen, die sehr frustrierend sein können. Damit die Spieler nicht verärgert aufgeben, braucht jedes größere Spiel einen Support-Dienst. Dieser ist die Schnittstelle zwischen den Spielern, denen eine Fehlfunktion auffällt, und den Entwicklern, die sich dann um die Reparatur kümmern.

3. **Die Koordination des Austausches zwischen den Spielern**

Auch innerhalb der Community eines Spiels gibt es oft Probleme: Manche Menschen neigen dazu, in der Anonymität eines Spiels beleidigend zu werden. Damit sich dieses Verhalten nicht zu Mobbing ausweitet und um sich greift, was zu einem Imageverlust des ganzen Spiels führen wird, muss rechtzeitig und angemessen gegengesteuert werden. Hilfreich dazu sind zum Beispiel die verschiedenen Phasen, die eine Gruppe nach Bruce W. Tuckman durchläuft. Sie helfen, die Entstehung von Konflikten zu analysieren und diese somit auch schneller lösen.

Für gewöhnlich wird von Spielen vorgegeben, wann und was für eine Art von Gruppe gebildet werden soll. Viele Spiele setzen ab einem bestimmten Zeitpunkt voraus, dass man einer Handelsgemeinschaft, Gilde oder ähnlichen Gruppierungen beitrifft. Außerdem gibt es oft einen Spielmodus, in dem man gegen andere Spieler antreten kann (einzeln oder auch in Teams).

Bildet sich nun ein Team, das gegen andere Teams antreten will, so müssen sich die Spieler zunächst kennenlernen. Diese *Formierungsphase* beinhaltet auch, die Ziele des Teams festzusetzen, also zum Beispiel ob man eher Computergegner oder andere Teams bekämpfen möchte. Meistens führt diese Zielfestsetzung zu der *Konfliktphase*, weil sich die einzelnen Spieler nicht einig sind. Entweder wird nun der Konflikt gelöst, oder aber die Gruppe löst sich auf und die einzelnen Spieler beginnen wieder mit der Formierungsphase. Ist der Konflikt aber beseitigt, so geht es weiter mit der *Normierungsphase*, in der Rollen, Normen und Regeln festgesetzt werden. Hierbei entsteht auch ein stärkerer Gruppenzusammenhalt. In der Hauptphase, also der *Leistungsphase*, ist die Gruppenbildung abgeschlossen und es geht los mit der tatsächlichen Bearbeitung der Ziele. Wenn die Gruppe eindeutig temporär auf einen bestimmten Zeitraum begrenzt ist (zum Beispiel

nur für eine Runde oder gegen einen bestimmten Gegner gemeinsam kämpft), so folgt noch die *Normalisierungsphase*, während der die Arbeit in der Gruppe zum Alltag wird und sie sich schließlich auflöst.

In den verschiedenen Phasen treten unabhängig von der Konfliktphase (die sich ja nur mit der Zielsetzung der Gruppe beschäftigt) für gewöhnlich unterschiedliche Probleme auf. Sind diese mit Beleidigungen oder anderem unsozialem Verhalten verbunden, kann das den Beteiligten schnell den Spaß am Spiel verderben. Es gibt viele Gründe, warum sich Spieler streiten, deswegen sollte man als Community Manager verschiedene Lösungsansätze in petto haben.

Fast alle Spiele geben den Spielern die Möglichkeit, selbst aktiv gegen beleidigende Leute zu werden. Eine Möglichkeit ist, unangenehme Spieler stummschalten zu können, sodass man deren Nachrichten nicht mehr erhält. Die Person wird dadurch für Fehlverhalten direkt sozial bestraft und kann darauf mit gebessertem Verhalten in der nächsten Runde reagieren. Eine andere Möglichkeit ist eine Meldfunktion. Dabei wird eine Nachricht an den bereits erwähnten Support gesendet, die möglichst konkret beschreibt, wie jemand störend aufgefallen ist. Dies ermöglicht eine konkretere Rückmeldung an den Täter, sodass diese eine bei häufigen Meldungen erfolgende Strafe nachvollziehen können. Man kann schließlich nur etwas verändern, wenn man sich im Klaren darüber ist, was der Fehler war.

Beide Funktionen sind für gewöhnlich an eine Statistik gekoppelt. Spieler, die besonders häufig stummgeschaltet oder gemeldet werden, werden dann vom Support darauf aufmerksam gemacht und gegebenenfalls gesperrt. Diese Methode hat tatsächlich eine sehr hohe Erfolgsquote: Über 75% aller Spieler, die beschränkt werden, werden nie wieder auffällig [3].

Aufgaben während der Akademiezeit

Da auf der HSAKA nicht mit Beleidigungen und ähnlichen Problemen im Spiel gerechnet werden muss, wurde auch keine Funktion eingebaut, um diese zu bekämpfen. Ich hab mich stattdessen vor allem mit dem User Interface (UI) und Leveldesign unseres Spiels beschäftigt. Zu Ersterem gehört unter anderem das Design und die Implementierung einiger Anzeigen für die Spieler, zum Beispiel die Lebensanzeige.

Viel Zeit habe ich verbracht mit dem Design unserer Level, die an reale Orte in der Burg angelehnt sind. Für angenehm spielbare Level musste ich ganz verschiedene Kriterien beachten: Sie dürfen keine Engstellen haben, die das Spieltempo zu sehr ausbremsen, und alle Ebenen sollen gut erreichbar sein. Dazu muss zum Beispiel die Größe und Sprunghöhe und -weite des Charakters beachtet werden. Sobald die Boden, Decken und Wände zusammengesetzt waren, fügte ich Spawnpunkte hinzu, an denen im Spiel in bestimmten Abständen verschiedene Items und Waffen erscheinen. Dabei ist wichtig, dass genug solcher Punkte vorhanden sind, man die Objekte schnell einsammeln kann und natürlich, ob sie auch eine spannende Wirkung zeigen.

Nach jedem Schritt muss der Raum getestet werden, damit Fehler direkt geändert werden konnten.

Bei alledem muss man sich natürlich mit den anderen Teams absprechen, wer welche Probleme wie löst. Gerade diese Kommunikation zwischen den Teammitgliedern sorgte für tiefe Einblicke in das große Ganze während der Entwicklung.

Quellen

1. <https://www.bvcm.org/2010/05/veroffentlichung-der-offiziellen-definition-community-management/>
2. Bruce Wayne Tuckman: *Developmental sequences in small groups*, in: Psychological Bulletin, 1965
3. <http://www.surrenderat20.net/2014/11/red-post-collection-riot-stashus-latest.html>

6.9 Bewertungssysteme

Jessica Paul

Betreuer: Benedikt Ebert

Computerspiele werden von Hunderten oder sogar Tausenden von Menschen überall auf der Welt gleichzeitig gespielt. Eine der großen Herausforderungen für Multiplayer-Spiele ist daher das sogenannte *Matchmaking*. Man will dabei Spieler auf einem möglichst ähnlichen Leistungsniveau gegeneinander spielen lassen, sei es für Gruppen oder Einzelpersonen – denn treten zum Beispiel die besten Spieler der Welt gegen Neulinge an, langweilen sich die einen, während die anderen überhaupt keine Erfolgserlebnisse haben. Bewertungssysteme sollen also die Spielstärke eines jeden Spielers abschätzen, um ihm dann faire Gegner zu vermitteln.

Dieses Problem ist natürlich nicht erst mit der Entwicklung der digitalen Welt aufgekommen. Schon 1960 hat Arpad Elo ein solches System für Schach entwickelt [1]. Es wird heute noch sowohl im Schach als auch in vielen anderen Sportarten verwendet, und die meisten modernen Matchmaking-Algorithmen bauen darauf auf.

Das Elo-System versucht, jedem Spieler einen Zahlenwert zuzuordnen, der sein Spielniveau quantifiziert. Je höher der Wert, desto besser der Spieler. Das Elo-System berücksichtigt zwei wichtige Aspekte: Zum einen gewinnt man mehr Elo-Punkte, wenn man gegen einen besser bewerteten Spieler gewinnt, und zum anderen verliert der Sieger genauso viele Punkte, wie der Verlierer gewinnt.

Ein ausgeglichenes Spiel zu finden wird ungleich schwerer, wenn mehrere Spieler zusammenspielen. Da Freunde gerne zusammenspielen, passiert es oft, dass ein Team aus verschiedenen starken Spielern besteht. Es gibt verschiedene Methoden, mit diesem Problem umzugehen. Eine Variante ist, den durchschnittlichen Elo-Wert aller Spieler eines Teams zu nehmen und anhand dieses Wertes ein passendes Gegner-Team zu suchen. Ein anderer Ansatz ist, zu versuchen, ein Gegner-Team zu finden, das genauso aufgebaut ist, zum Beispiel also jeweils aus einem sehr guten Spieler und zwei Neulingen.

Abbildung 1 zeigt drei Teams mit dem gleichen durchschnittlichen Elo-Wert. Matches zwischen Team B und C werden allerdings vermutlich unbefriedigend für alle Beteiligten sein, da es keine Paarungen von etwa gleich starken Gegnern gibt. Spiele zwischen den Teams A und B hingegen haben eine deutlich höhere Wahrscheinlichkeit, ein spannendes Erlebnis zu bieten.

| Team A | | Team B | | Team C | |
|--------|--------|--------|--------|---------|------|
| Name | Elo | Name | Elo | Name | Elo |
| Anton | 2000 ✓ | Bert | 2100 ⚡ | Carolin | 1500 |
| Anna | 1300 ✓ | Björn | 1200 ⚡ | Carsten | 1500 |
| Alfred | 1200 ✓ | Ben | 1200 ⚡ | Christa | 1500 |
| Ø | 1500 | Ø | 1500 | Ø | 1500 |

Abb. 1: Matchmaking-Herausforderungen bei Gruppen; eigene Grafik

Aufgaben während der Akademiezeit

Während der Akademie war ich Teil des Meta-Design-Teams. In Zusammenarbeit mit den anderen Teams haben wir ganz verschiedene Gamedesign-Fragen geklärt, etwa welche Items es gibt oder wie der Punktestand und die Lebensleiste aussehen und funktionieren sollen. Wir standen in regem Austausch mit den anderen Teams und haben viele Komponenten des Spiels skizzenhaft entworfen, die dann von den anderen umgesetzt wurden.

In der Programmierung war ich für die Erstellung des Hauptmenüs und des Optionsmenüs zuständig. Diese Aufgabe entpuppte sich als echte Herausforderung, da sie meinen ersten Kontakt mit Unity darstellte, unserer Spiele-Engine. Im weiteren Verlauf habe ich dann von Johannes aufgenommene Soundeffekte an den richtigen Stellen ins Spiel eingefügt. Dabei gab es einiges zu beachten, zum Beispiel dass weiter entfernte Sounds leiser klingen sollten.

Außerdem habe ich am Design der Level selbst gearbeitet. Anhand einer Papierskizze haben wir uns überlegt, wie das Level aussehen sollte, damit ein flüssiges und gut laufendes Spiel entsteht. Danach haben wir es in Unity digital zusammengebaut (vgl. Abb. 2).

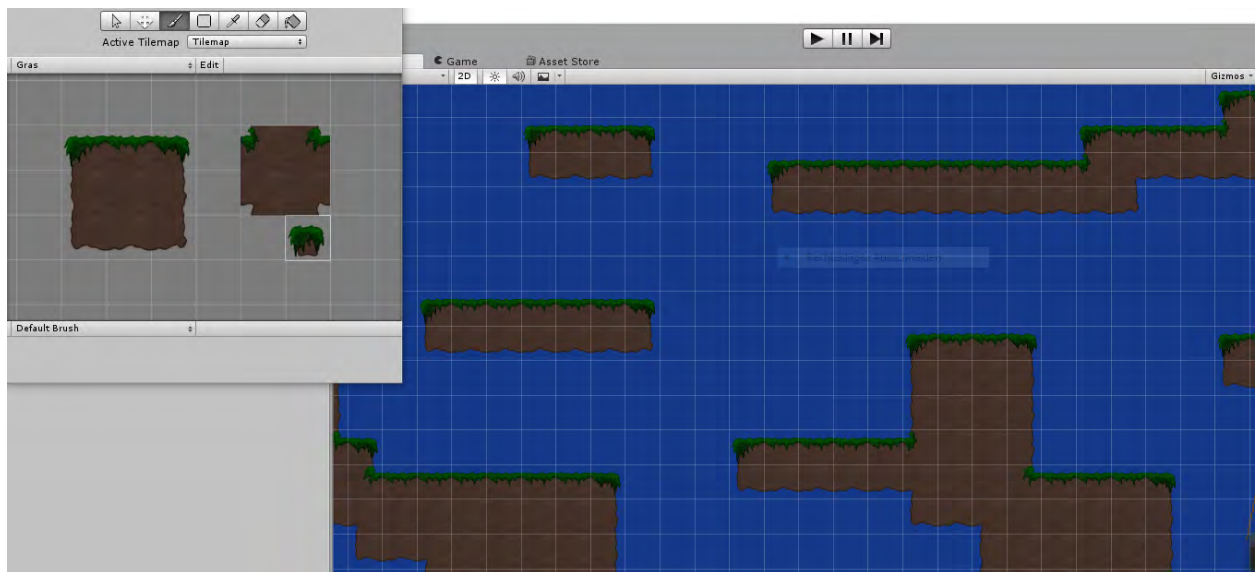


Abb. 2: Abschnitt eines Levels mit Tile-Palette (links); eigene Grafik

In Abbildung 2 ist eine Tile-Palette zu sehen. Wir konnten dort einzelne vom Art-Team erstellte Tiles auswählen und wie Legosteine digital zusammenbauen. Danach haben wir das Level getestet und immer wieder angepasst, bis dem Spielspaß nichts mehr im Weg stand.

Ich bin stolz darauf, dass wir in den zwei Wochen auf der Akademie ein schönes, gut laufendes Spiel entwickelt haben. Dabei habe ich sowohl im bei der Spielentwicklung als auch beim Programmieren viele neue Kenntnisse gesammelt.

Quellen

1. <https://de.wikipedia.org/wiki/Elo-Zahl>
2. https://www.gamasutra.com/view/news/310968/Video-Skill_matchmaking_and_ranking_systems_design.php
3. <https://nexus.leagueoflegends.com/en-us/2018/02/dev-matchmaking-real-talk/>
4. <https://support.riotgames.com/hc/en-us/articles/201752954-Matchmaking->

6.10 E-Sports

Johannes Cornelius
Betreuer: Benedikt Ebert

E-Sports steht für *Electronic Sports*. Es handelt sich hierbei um Computerspiele, die von Teams oder Einzelpersonen auf professionellen Niveau gespielt werden. Es gibt viele nationale und internationale E-Sports-Plattformen, die Wettbewerbe verschiedener Computerspiele abhalten.

Diese Spiele werden oft live übertragen, und bei weit verbreiteten Spielen werden sogar ganze Arenen mit Zuschauern gefüllt. Inzwischen können E-Sportler ähnlich davon leben wie andere professionelle Sportler – bei der League of Legends-Weltmeisterschaft 2017 wurden zum Beispiel Preisgelder von insgesamt knapp 5 Millionen US-Dollar ausgeschüttet. E-Sports sind in einigen Ländern wie Südkorea oder Schweden inzwischen als Sportart anerkannt. Im Koalitionsvertrag der CDU und SPD steht, dass E-Sports auch in Deutschland als Sportart anerkannt werden sollen. Einige deutsche Fußballvereine wie Schalke 04 oder VfL Wolfsburg sehen darin Potential und haben bereits eigene E-Sports-Abteilungen gegründet.

Die *ESL Play*, kurz für *Electronic Sports League*, ist eine internationale E-Sports-Plattform und hat ihren Firmensitz in Deutschland. Sie trägt Ligen für verschiedene Computerspiele aus. In den beiden unteren Ligen, der *ESL Open* und *ESL Major*, wird eher hobby-orientiert gespielt und es gibt nur kleine Preisgelder. In der *ESL Pro* hingegen gibt es nur eine limitierte Anzahl von Plätzen für Teams, weshalb es auch hohe Einstiegskosten gibt. Diese Einnahmen werden als Preisgelder wieder ausgeschüttet. Da die *ESL Pro Leagues* die höchsten *ESL Ligen* sind, spielen dort die weltbesten Spieler eines Computerspiels mit- oder gegeneinander. Solche Spiele sind zum Beispiel Ego Shooter, Strategiespiele und Sportspiele über Fußball, Basketball oder Football. Das Ligasystem in der *ESL Pro League* ist vergleichbar mit der deutschen Bundesliga.

Aufgaben während der Akademiezeit

Während der Zeit auf der Akademie war ich für Musik und Sounds zuständig. Diese beeinflussen das Spielgefühl maßgeblich. So wird das Spielgeschehen automatisch schneller und energiegeladener, wenn die Musik es ebenfalls ist, wie Benjamin Krause 2008 in einem Experiment

seiner Diplomarbeit feststellte. Dafür ließ er Probanden ein Computerspiel mit und ohne Sound spielen und maß ihre Herzfrequenz. Die Herzfrequenz derjenigen Probanden, die mit Sound gespielt hatten, war deutlich höher als bei den Probanden ohne Ton (vgl. Abb. 1). Entsprechend habe ich eine schnelle Hintergrundmusik gewählt, die dennoch zum eher düster angehauchten Grafikstil des Spiels passt.

Neben der Hintergrundmusik habe ich viele weitere Soundeffekte erstellt. Sie erstrecken sich von leisen Klickgeräuschen für Knöpfe bis hin zu lauten Explosionen für Granaten. Während der Kurszeiten war ich oft auf dem Gelände unterwegs und habe verschiedene Geräusche für brennende Kerzen, die verschiedenen Waffen und Items aufgenommen.

Um das Anzünden und Löschen einer Kerze zu vertonen, habe ich Streichhölzer angezündet und in Wasser wieder gelöscht. Für das Geräusch eines brennenden, fliegenden Projektils habe ich mit einem Betreuer aus der Physik ein Papiertuch in Ethanol getränkt, angezündet und in die Flamme gepustet. Da dieses Geräusch sehr häufig im Spiel auftaucht, musste ich es so bearbeiten, dass es auch dann nicht stört, wenn es mehrmals direkt hintereinander abgespielt wird.

Für den Flammenwerfer- und Granatensound musste ich etwas tricksen: Unser Flammenwerfer ist das Sprühen einer Deoflasche, über zehn Sekunden gestreckt und mit weniger Höhen, dafür aber mehr Bässen. Für die Explosion der Granate (vgl. Abb. 2) habe ich das Explodieren einer mit Stickstoff gefüllten Plastikflasche aufgenommen, was erneut ein Betreuer der Physik möglich gemacht hat. Zuerst wollten wir das Explodieren eines mit Gas gefüllten Luftballons aufnehmen, doch der Luftballon ließ sich nicht gut mit Gas füllen und man hätte zu wenig Zeit gehabt, um sich von der Explosion zu entfernen. Da die Explosion ein sehr hohes Geräusch gemacht verursachte, musste ich dieses Geräusch ebenfalls in den Höhen und Tiefen anpassen.

Alles in allem hat mir das Erstellen und Bearbeiten der Sounds für unser Spiel sehr viel Erkenntnis darüber gebracht, wie viel Arbeit in vermeintlich kleinen Aufgaben steckt und mit welchen vielfältigen Methoden man in der Sounderstellung arbeiten kann.

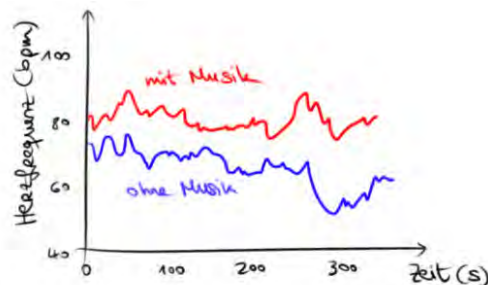


Abb. 1: Herzfrequenz beim Spielen mit und ohne Musik; Quelle: [1]



Abb. 2: Die Explosion der Granate in unserem Spiel; eigene Grafik

Quellen

1. http://www.hsaka.de/wp-content/uploads/2017/Dokumentation_Oberstufe_2017.pdf, 6.2 Musik und Soundeffekte
2. <https://play.eslgaming.com/games>
3. <https://www.welt.de/wirtschaft/article166912751/E-Sport-wird-die-groesste-Sportart-des-Planeten.html>
4. <https://csgo.99damage.de/de/leagues/99dmg/798-saison-9>
5. <https://www.hdm-stuttgart.de/~curdt/Krause.pdf>
6. <https://www.esportsearnings.com/tournaments/25365-lol-2017-world-championship>

7 Geschichtskurs

Geschichte ist überall.

Geschichtskultur, Geschichtsbewusstsein und Erinnerungskultur

Geschichte ist überall – manchmal offenkundig, manchmal unbemerkt: in Büchern und auf Plakaten, in Filmen und Computerspielen, in den Nachrichten und in der Werbung, auf Straßenschildern und Denkmälern, bei Festen und in der Sprache, in unseren Familien und nicht zuletzt in der Schule.

Geschichte ist überall – unter diesem Titel wirbt auch eine Handreichung für Lehrkräfte dafür, „dass Erkenntnisse der Geschichtswissenschaften nicht nur fachwissenschaftlich bedeutend, sondern auch lebenspraktisch anwendbar sind“ (so das Bayrische Kultusministerium).

Dass Geschichte überall ist, hat also unmittelbare Auswirkungen auf uns. Diese Auswirkungen beschreibt und untersucht die Fachwissenschaft mit drei zentralen Begriffen: Geschichtskultur, Geschichtsbewusstsein und Erinnerungskultur. Dabei fragt sie ganz praktisch nicht nur nach dem *Wo* der Geschichte in unserem Alltag, sondern auch nach dem *Wer*, dem *Wie* und dem politisch brisanten *Für wen*. . .

Der Allgegenwart der Geschichte in ihrer medialen Vielfalt sind wir im Kurs dann folglich mit kritischem Blick und den Mitteln der Wissenschaft begegnen – und haben so zu verstehen versucht, weshalb ohne „Geschichte ist überall“ unsere Gesellschaft gar nicht möglich wäre.

Kursleitung

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

7.1 Zur Einführung

Peter Gorzolla

Grundlage der auf den folgenden Seiten dargestellten Auseinandersetzungen der Teams aus je zwei Schüler*innen und einer/einem studentischen Betreuer*in mit ihrem jeweiligen Thema war ein etwas älterer Text von Rolf Schörken über den „außerwissenschaftlichen Umgang mit der Historie“ (1995). Dieser hat uns zum einen den theoretischen Referenzrahmen für unser weiterführendes Arbeiten geliefert, zum anderen einige grundlegende Begriffe an die Hand gegeben.

Dass *Geschichte* nicht gleich *Vergangenheit* ist, dürften die meisten Kursteilnehmer*innen inzwischen sogar schon durch ihren Schulunterricht erfahren haben; wie jedoch genau die Definition von Geschichte als „vergegenwärtigter Vergangenheit“ insbesondere in Abgrenzung zu Konzepten von „Rekonstruktion“, „Refiguration“ und „Repräsentation“ von Geschichte zu verstehen ist, das musste dann doch erst mühsam angeeignet werden – schließlich sind die Historiker*innen hier in ihrem Wortgebrauch nicht immer eindeutig.

Eine Betrachtung von Geschichte als „vergegenwärtigter Vergangenheit“ macht zunächst keine Aussagen darüber, wer diese Vergegenwärtigung betreibt oder ob diese wissenschaftlich erfolgt oder nicht. Für einige Fachvertreter*innen ist es jedoch selbstverständlich, dass „Geschichte“ nur dann entsteht, wenn sich Fachleute mit der Vergangenheit auseinandersetzen. Andere sehen in der Vergegenwärtigung genau jenen Sammelbegriff, der es erlaubt, die Beschäftigung aller gesellschaftlichen Gruppen mit der Vergangenheit umfassend – und unqualifizierend – zu beschreiben. Für Schörken wiederum ist Vergegenwärtigung zunächst einmal die Domäne, in der sich das nicht-wissenschaftliche „historische Bemühen“ abspielt. Man spürt das Bestreben des Autors, die beiden Bereiche „nicht künstlich auseinander[zu]reißen“, liest seine Forderung, beiden Domänen ihr Recht zu geben – erkennt aber gerade darin eine Dichotomisierung, die heute absolut nicht mehr zeitgemäß erscheint. Bei aller (auch auf den folgenden Seiten von den Kursteilnehmer*innen geübten und) berechtigten Kritik an den Positionen *konservativer* Historiker*innen bleibt festzuhalten: Die Geschichtswissenschaft als Ganze hat sich seit 1995 weiterentwickelt. Heute betrachten eine große Zahl der Historiker*innen „Geschichtskultur“ nicht mehr nur als den „anderen“, nicht-wissenschaftlichen Bereich der Auseinandersetzung mit Geschichte, sondern als die Summe aller gesellschaftlicher Produktion von Geschichte durch Auseinandersetzung mit der Vergangenheit – und zwar von jeder Gruppe, in jeder Form und in jedem Medium.

Die Medientypen, mit denen sich die Teilnehmer*innen des Geschichtskurses beschäftigt haben, sind TV-Dokumentationen, TV-Serien, Videospiele und *prosumer*-Videos von jugendlichen Gedenkstättenbesuchern. Nicht nur, weil die fachwissenschaftliche Literaturproduktion in diesem Bereich recht überschaubar ist, sondern auch, weil die analytische Arbeit an den Quellen im Vordergrund der Kursarbeit stehen sollte, ist die Liste der verwendeten Grundlagentexte kurz.

Zuletzt eine kurze Klärung: Was macht ein Videospiele oder eine TV-Produktion „historisch“?

Es gibt weder eine gültige wissenschaftliche Definition noch ein etabliertes Genre „historischer“ TV-Produktionen oder Videospiele. Wir haben uns im Kurs also mit einer eigenen Definition (frei nach Schwarz 2014) als Arbeitsgrundlage beholfen:

Unter historischen Videospiele oder TV-Produktionen verstehen wir solche,

- deren Handlung (mindestens: überwiegend) explizit oder implizit in der Vergangenheit spielt *oder*
- die historische Persönlichkeiten als wichtige Charaktere nutzen *oder*
- deren Ausstattung historische Epochen zu imitieren (oder gar zu rekonstruieren) versucht.

Literatur

- Rolf SCHÖRKEN, *Begegnungen mit Geschichte. Vom außerwissenschaftlichen Umgang mit der Historie in Literatur und Medien*, Stuttgart 1995, S. 11-24 (Kap. I: Das Prinzip Vergegenwärtigung).
- Angela SCHWARZ, Narration und Narrativ. Geschichte erzählen in Videospiele, in: *Frühe Neuzeit im Videospiele. Geschichtswissenschaftliche Perspektiven*, hgg. v. Florian KERSCHBAUMER / Tobias WINNERLING (Histoire 50), Bielefeld 2014, S. 27-52.

7.2 Historische Darstellungen in aktuellen TV-Serien

Anouk Puttler, Moritz Drescher & Helena Hestermann

Serien in Streamingdiensten werden immer beliebter und machen dem Fernsehen auch als Medium zur Geschichtsvermittlung Konkurrenz. Die aktuelle Generation von Heranwachsenden ist in ihrem sozialen Umfeld ständig mit Serien konfrontiert und kann sich der Wirkung und Bedeutung von Serien nicht entziehen. Als besonders attraktiv erscheint dabei, dass aktuelle historische Serien die Darstellung vergangener Ereignisse mit gegenwärtig präsenten Motiven – z.B. Social Media, Digitalisierung oder sozialer Disziplinierung – verknüpfen. In unserer Sitzung waren für uns diese Motive und die Rolle, die sie in Bezug auf die Vermittlung von Geschichtskultur an die Konsument*innen von Serien spielen, von besonderem Interesse.

Um historische Serien angemessen zu analysieren, haben wir unser Augenmerk besonders auf das Verhältnis zwischen Konsument*innen, Produzent*innen und Gesellschaft gerichtet. Erst aus dem Zusammenwirken von Interessen und Geschichtsbewusstsein dieser drei Akteure, so waren wir uns sicher, lässt sich die Wirkung einer Serie nachvollziehen. Zur Untersuchung haben wir uns vor allem auf einen Text von Saskia Handro über die Funktionen des Fernsehens bei der Geschichtsvermittlung (von 2011) gestützt, diesen dann für die Streamingkultur aktualisiert und schließlich Aspekte herausgearbeitet, denen unserer Meinung nach besondere Bedeutung in Bezug auf den Konsum historischer Serien beigemessen werden sollte.

Für die Produzent*innen steht bei Entwicklung und Produktion der Erfolg einer Serie an erster Stelle, und d.h., Serien möglichst gewinnbringend zu vermarkten. Dies ist insbesondere bei historischen Serien relevant: Die Profitorientierung kann auf Kosten der historischen *Korrektheit* der Serie gehen. Oftmals werden historische Begebenheiten in Serien (wie in Spielfilmen) emotional dramatisiert, um für das Publikum attraktiver zu sein (siehe hierzu auch →7.4 *Immersionserfahrungen*). Dies kann bei den Konsument*innen leicht zu einem verzerrten Geschichtsbild führen. Serien folgen dabei gern bestimmten Narrativen, welche sich in der Vergangenheit bereits bei Publikum und somit im Verkauf bewährt haben. Dies hat zur Folge, dass der Plot weder (erzählerisch) innovativ ist noch dem aktuellen (wissenschaftlichen) Kenntnisstand über eine Epoche oder historische Ereignisse entspricht. Dadurch bekommen Konsument*innen in verschiedenen Serien über unterschiedliche Epochen oft ähnliche Inhalte präsentiert. So verschwimmen nicht nur historisch unterschiedliche Epochen und Zusammenhänge zum gleichen erzählerischen Einheitsbrei – die Erwartungen der Konsument*innen an die Serien passen sich immer stärker an das Plot- und Narrativangebot an. Die Produzent*innen bestimmen also durch die Beeinflussung unserer Sehgewohnheiten, welche Art von Narrativ wir Konsument*innen als gelungen bezeichnen, da wir das Gewohnte einerseits besser nachvollziehen können und andererseits im Kontext von Unterhaltungsmedien bevorzugen.

Historische Serien sind in großem Maße den persönlichen Werten und der Geschichtsauffassung der Entscheidungsträger im Kreis der Produzent*innen unterworfen. Oft folgen die von Drehbuchautor*innen verfassten, von Regisseur*innen umgesetzten und von Produzent*innen kontrollierten Narrationen (Erzählungen) einer bestimmten *Meistererzählung* oder einem „Erfolgsnarrativ“. Die dann von einem Millionenpublikum konsumierten Erzählungen beeinflussen wiederum die politischen und historischen Ansichten dieser Millionen von Menschen. (Zum Thema Narration

und Narrative siehe auch →7.3 *Historische Narration* zu lesen.) Deshalb haben die Produzent*innen eine große gesellschaftliche Verantwortung, derer sie sich bewusst sein sollten. Und deshalb ist es für uns wichtig, die in Serien dargestellten historischen Begebenheiten in Bezug auf die Produzent*innen und ihre Interessenlagen zu hinterfragen, um die Serieninhalte einordnen zu können.

Doch auch die Rolle der Konsument*innen historischer Serien ist nicht zu vernachlässigen. Dass nicht jedes aufwendige Produkt gleichermaßen erfolgreich ist, beweisen die vielen abgebrochenen oder nicht verlängerten Serienkonzepte. Der Wettbewerb ist groß, und die Gunst der Konsument*innen gar nicht so leicht kalkulierbar. Das von den Interessen der Produzent*innen gesteuerte Serienangebot richtet sich demnach bei Eintritt in den Markt vor allem am Konsumverhalten der Konsument*innen aus. Deren Interessen sind vielseitig und führen dazu, dass auch die Serienlandschaft entsprechend breit gefächert ist.

Ein anderes Charakteristikum der Konsument*innenrolle ist, dass das aus einer historischen Serie Herausgelesene sich stark unterscheidet. Jede/r Konsument*in legt einen individuellen inhaltlichen Fokus an das Material und ist somit ein *individueller Bedeutungsproduzent*, wie Handro es nennt. Dabei ist es nicht möglich, im Einzelnen vorherzusagen, welche Informationen und Bedeutungen ein/eine Konsument*in aus einer Serie mit historischen Bezügen für sich herausarbeitet. Manche dieser Bedeutungen aber, so wissen wir, werden aufgrund nationaler Denkschemata und Werte interpretiert, welche die jeweilige Gesellschaft prägen.

Historische TV-Serien können große und wichtige Diskurse innerhalb einer Gesellschaft auslösen – das einschlägigste Beispiel dafür ist *Holocaust* (USA 1978, Regie: Marvin J. Chomsky). Damit können sie die Geschichtsbilder einer Generation beeinflussen und aktiv in die Geschichtskultur einer Gesellschaft hineinwirken. Im Gegenzug beeinflussen die in der Gesellschaft herrschenden Normvorstellungen und Geschichtsbilder, darunter auch die historisch-politischen Erfolgsnarrative und Meistererzählungen, die Entscheidungen der Produzent*innen für bestimmte, erfolgversprechende Narrative, sowie die Erwartungen der Konsument*innen bezüglich der Erzählangebote.

Diese drei Akteure oder Perspektiven beeinflussen also maßgeblich Entstehung und Wirkung von Serien. Ihr Wirkungsgefüge wird oft klassisch als Spannungsverhältnis in einem Dreieck dargestellt, in dem die genannten Interessen, Bewusstseinsformen und Verantwortungen miteinander zu vereinbaren sind. Diese Visualisierung hielten wir aber für zu wenig erweiterungsfähig und nicht komplex genug, daher haben wir uns an einem neuen Modell versucht:

Die Interaktion zwischen Konsument*innen und Produzent*innen innerhalb der Gesellschaft kann auch durch das Bild eines Esstisches deutlich gemacht werden. Die Produzent*innen liefern „Essen“ in Form von Serien, die von den Konsument*innen aufgenommen werden, auch die Konsument*innen bringen Beiträge in Form von Kritik und Reflexionen der Serien an den Tisch der Geschichtskultur mit. Die Essensbeiträge sind sich zwar ähnlich, im Geschmack aber unterschiedlich, denn die Konsument*innen sind ihre eigenen Bedeutungsproduzent*innen und erzeugen unterschiedliche Eindrücke. Die Produzent*innen konsumieren diese Beiträge und nehmen erfolgversprechende Eindrücke für die Produktion neuer Serien auf, sodass der Prozess wieder von vorne beginnen kann. Die Gesellschaft bietet dabei mit dem Esstisch nicht nur Grundlage und Rahmen für Produktion und Konsum, sie bestimmt auch die Regeln, nach denen bei Tisch gehandelt wird – und bietet Raum für den öffentlichen Diskurs über den ganzen Vorgang.

Mit dem Begriff „Serien“ assoziieren die meisten jüngeren Menschen heute die Angebote des Streaming-Providers *Netflix* oder die Videostreaming-Sparte des Online-Versandhändlers *Amazon Prime*. Die Bedeutung dieser beiden VoD-Anbieter (Video on Demand – Videostreaming auf Abruf) hat auf dem deutschen Markt in den vergangenen Jahren zugenommen, die Zunahme der Nachfrage nach diesen US-amerikanisch geprägten Serienangeboten kann mit der Abnahme der Nachfrage nach öffentlich-rechtlichen Eigenproduktionen korreliert werden. Das ist relativ leicht erklärbar: Insbesondere Netflix bietet mit seinem großen Repertoire an Serien für die Konsument*innen ein vielfältiges und differenziertes Angebot. Die Konsument*innen können dabei durch VoD unabhängig von Sendezeiten nach eigenem Belieben auf die Produktionen zugreifen. Nicht zuletzt produzieren Amazon und Netflix inzwischen selbst den Großteil der Serien. Dabei handelt es sich um qualitativ hochwertige, teilweise sogar preisgekrönte – in jedem Fall aber sehr erfolgreiche – TV-Produkte wie *The Crown* oder *The Vikings*.

Netflix und Amazon sind US-amerikanische Unternehmen, und das spiegelt sich auch im TV-Angebot wieder. Westliche Themen und Inhalte überwiegen, wohingegen Serien aus Asien kaum zu finden sind. Bei historischen Serien gehen die Anbieter wenig Risiken ein und stellen praktisch nur solches Material zur Verfügung, das westlichen Sehgewohnheiten, westlichen Interessen und einem westlichen Erfolgsnarrativ folgt. Dass Netflix dabei differenzierter auf nationale Märkte eingeht und vor Ort Serien produziert, macht das Angebot reichhaltiger, doch die allgemeine Erzählweise und die Narrative bleiben limitiert durch die Norm- und Wertvorstellungen, die in der westlichen Welt herrschen. Dennoch steuert Netflix mit diesem Angebot inzwischen auf eine weltweite Monopolstellung zu. Weil das eine große Verantwortung in Bezug auf den Einfluss bedeutet, der damit auf das Geschichtsbewusstsein genommen wird, haben wir uns das Angebot dieses zum Produzenten gewordenen Providers genauer angeschaut. Wir wollen im Folgenden darüber spekulieren, welche Rolle Netflix für die deutsche und die globale Geschichts- und Erinnerungskultur in Zukunft spielen kann. Und wir werden die Auswirkungen einer Monopolstellung des Anbieters auf die Entwicklung eines möglichen „globalen Narrativs“ beleuchten.

Das durch und durch westlich geprägte Unternehmen Netflix präsentierte sich in den vergangenen Jahren zunehmend als Provider für ein internationales Publikum. Der Schritt zum Produzenten eigener Serien wurde begleitet durch einen Umstieg von einem reinen Vermarktungsmodell zu einer Chimäre aus Vermarktungs- und Produktionsmodellen. Netflix definiert sich dabei neu und vermarktet sich zugleich als lokaler Serienanbieter (durch differenzierte nationale Angebote) wie als globaler (durch die Abkopplung von nationalen Distributionssystemen). Je erfolgreicher aber die Ausbreitung des Geschäftsmodells und des westlich geprägten Narrativs über die gesamte Welt geschieht, desto größer wird auf Dauer der Druck auf das Narrativ, sich an die neuen Märkte anzupassen. Während also deutsche Jugendliche in einer „sich globalisierenden“ Jugendkultur immer weniger „deutsche“ Narrative konsumieren und stattdessen britische Angebote wie *The Crown* sehen, werden diese westlichen Sehgewohnheiten zugleich herausgefordert durch japanische Animes, indische Bollywood-Produktionen oder K-Dramas aus Korea.

Geschichtsbilder waren bislang stark national geprägt, Geschichtsbewusstsein wird immer noch größtenteils über national geprägte Narrative erzeugt. Die Sinnstiftung durch Narrative erfolgt also üblicherweise im nationalen Kontext. Diese nationalen Narrative sind monoperspektivisch; sie geben die Meistererzählung einer bestimmten Nation wieder, innerhalb derer ein Antagonist meist klar definiert ist. Während des Kalten Krieges wurde in den Nationen der westlichen Welt

ein Narrativ konstruiert, welches die Sowjetunion als klaren Antagonisten benennt; dieses Narrativ ist in abgeschwächter Form noch heute präsent und beeinflusst die deutsche Wahrnehmung Russlands. Demgegenüber werden Herausforderungen inzwischen immer stärker global gedacht, und globale Lösungsstrategien rücken stärker in die Wahrnehmung der Öffentlichkeit. Für die erfolgreiche Umsetzung solcher globalen Strategien aber wird ein globales Narrativ benötigt. Die ersten Ansätze für globale Narrative, die wir in Filmen, Serien und Computerspielen erkennen können, sind jedoch immer noch westlich geprägt: Sie erzählen von Freiheit, Verantwortung und Demokratie, sie berufen sich auf den vorgeblichen historischen Siegeszug dieser Konzepte und sie definieren diese als absolutes Ziel oder Vervollkommnung einer modernen Gesellschaft.

Stattdessen sollte ein stärker *multiperspektivisch* konstruiertes globales Narrativ möglich sein. Schon die heutige Jugendkultur in Deutschland versteht sich in großen Teilen *europäischer* und *globaler* als die Generationen davor. In Verbindung mit einem globalen Denken, das eine feindbildfreie Identitätsstiftung fördert, kann die Einbindung tradierter nationaler Narrative in ein globales Netz von Narrativen ermöglicht werden. Statt *eines* globalen Narrativs gäbe es in diesem System also *mehrere* lokale Narrative, die zusammen eine globale Funktion erfüllen.

Ein solches multiperspektivisch-globales Narrativ birgt aber auch Herausforderungen. Wie komplex kann eine solche globale Lösung sein? Wieviel Abweichung, wie viele Minderheiten kann sie integrieren, bevor sie beginnt, Teile der Gesellschaft auszuschließen? Statt zu einen könnte ein globales Narrativ ebenso leicht neue Mauern innerhalb von Gesellschaften bauen. Fragwürdig erscheint uns auch, inwiefern ein monopolistischer Provider dem Anspruch eines multiperspektivischen Narrativs gerecht werden kann. Wenn dieses erst erfolgreich in der medialen Massenkultur ist, dann besagen die Regeln des Marktes, dass erfolgreiche Narrative immer wieder aufgegriffen und nur in geringem Maße hinterfragt werden. Wird ein globales Narrativ als absolut verkauft, besteht die Gefahr, dass es aufgrund fehlender Konkurrenz zu anderen Narrativen nicht hinterfragt wird – und sich damit auch nicht weiterentwickelt. Grundlage für ein reflektiertes Geschichtsbewusstsein wäre ein solches Narrativ bestimmt nicht.

Darum konnten wir uns am Ende nicht einigen, ob wir die Entwicklung hin zu einem globalen Narrativ als sinnvoll für unsere Geschichts- und Erinnerungskultur beurteilen. Auf der einen Seite sehen wir in einem globalen multiperspektivischen Erfolgsnarrativ (der Demokratie und Freiheit?) eine Chance, globale Herausforderungen anzugehen, auf der anderen Seite befürchten wir bei Durchsetzung eines Einheitsnarrativs die Verkümmern nationaler Geschichtskultur und den globalen Verlust von Diversität. Diversität, Unterschiede und Spannungen sind aber nötig, weil sie befruchtend für die Geschichte und die Geschichtskultur wirken können.

Quellen und Literatur

- *The Crown* (2016-[2019], 4 Staffeln, Left Bank Pictures/Netflix, Creator: Peter MORGAN)
- *Downton Abbey* (2010-2015, 6 Staffeln, Carnival Film & Television, Creator: Julian FELLOWES)
- Saskia HANDRO, Fernsehen. Plädoyer für die Neuentdeckung einer Institution der Geschichtskultur, in: *Jede Gegenwart hat ihre Gründe. Geschichtsbewusstsein, historische Lebenswelten und Zukunftserwartung im frühen 21. Jahrhundert. Hans-Jürgen Pandel zum 70. Geburtstag*, hgg. v. Michele BARRICELLI / Axel BECKER / Christian HEUER (Forum Historisches Lernen), Schwalbach/Ts. 2011, S. 88-105.

7.3 Historische Narration in Videospiele

Emma Grimm, Moritz Michel & Arwin Payman Parast

„Die einzig wahre Geschichte“ zu erzählen – das ist ein Anspruch, den heute viele Narrative erheben. Wir wissen natürlich längst, dass es so etwas wie die *eine wahre Geschichte* gar nicht gibt. Darum gehen wir in unserer Sitzung der Frage nach, wie sich Narrative (vor allem) in historischen Videospiele zu den jeweils geltenden Meistererzählungen verhalten und mit diesen um die Deutungshoheit konkurrieren.

Ein Narrativ verstehen wir als erzählerisches Konstrukt, welches (in unserem Fall: historische) Ereignisse als zusammenhängende Sinnabschnitte interpretiert und das in der Gesellschaft auf verschiedenen Wegen vermittelt wird. Historische Narrative werden konstruiert durch eine Auswahl „von relevanten historischen Fakten, die geordnet, mit Hilfe von Verknüpfungen, in eine sprachlich verständliche Reihenfolge gebracht worden sind, sodass sie im entstehenden Narrativ für das Verständnis des Rezipienten eine sinnvolle Wirkung haben können“ (Dierlamm / Peiser / Quandt 89). Narrative waren nicht nur die analytische Grundlage für unser Thema, sie sind auch wesentlicher Bestandteil eines gesellschaftlichen Diskurses, der sich von wissenschaftlichen Texten bis zu einfachen Diskussionen am Stammtisch oder auf der Straße erstreckt. In diesem Diskurs treten verschiedene Narrative gegeneinander an, um Deutungshoheit zu erlangen.

Im Besitz der Deutungshoheit ist üblicherweise eine sog. *Meistererzählung*, die sich über einen längeren Zeitraum aus dem gesellschaftlichen Diskurs herausgebildet hat. Diese Meistererzählung besitzt eine Sonderstellung innerhalb des gesellschaftlichen Diskurses: Sie ist das vorherrschende, identitätsstiftende Narrativ, das im gesellschaftlichen Kontext als einer der „Wahrheit“ am nächsten kommenden Erzählung aufgenommen und im Kontext von Schule reproduziert wird (Schwarz 28). Gesellschaftliche Diskurse solcher Art werden übrigens nicht nur auf nationaler Ebene durchgeführt; die Interessenskonflikte um die Deutungshoheit können auch auf globaler Ebene stattfinden (siehe hierzu auch →7.2 *Historische Darstellungen*).

In unserer Sitzung haben wir uns die Untersuchung von Videospiele vorgenommen, da diese oft im direkten Konflikt mit (lokalen oder nationalen) Meistererzählungen stehen. Das ist deshalb von besonderem Interesse, weil die Rolle der Videospiele im gesellschaftlichen Diskurs kaum überschätzt werden kann: Seit 2012 spielen nämlich laut Interactive Software Federation etwa 42% der Deutschen Videospiele und haben somit Zugang zu neuen Narrativen, die nicht im traditionellen Diskurs auftauchen (Schwarz 27), Tendenz stark ansteigend.

In den Mittelpunkt unserer Untersuchung haben wir *Assassin's Creed Unity* gestellt. Das weit verbreitete Videospiele (ca. 10 Millionen verkaufte Exemplare weltweit) weicht in vielerlei Hinsicht deutlich von den Meistererzählungen zur Französischen Revolution ab und fordert diese heraus. Beispielhaft dafür ist die Darstellung der Perspektive des Hauptcharakters Arno, dessen Vater in Versailles ermordet wurde. Im Ergebnis wird der König von Arno – und damit auch von dem/der Spieler*in – als schwach wahrgenommen, da er unfähig ist, einen Gast im eigenen Palast zu beschützen. Diese Darstellung wird während der Eröffnung der Generalstände fortgeführt, welche der/die Spieler*in belauscht. In der Szene wird der König als müde, nicht ernst zu nehmen und mit der Situation überfordert portraitiert, sodass er die Hilfe der Generalstände benötigt,

um den Staat vor dem völligen Versagen zu retten. Das Narrativ mag hier noch größtenteils mit der Meistererzählung übereinstimmen, jedoch werden Hilflosigkeit und Inkompetenz des Königs überspitzt dargestellt und ein Machtvakuum als unausweichliche Konsequenz präsentiert, welches durch die Revolution gefüllt wird.

Napoleon wird Arno gegenüber schon beim ersten Treffen als charmant und hilfreich dargestellt; so wirkt der Kriegsherr viel sympathischer auf den/die Spieler*in. Dank Napoleon kann Arno seine Mission schnell erfüllen und danach relativ ungeschoren entkommen. Während der Flucht rettet Napoleon Arnos Leben und bietet ihm Hilfe bei seinen langfristigen Zielen und der Beschaffung von Informationen. Auch bei der Interaktion mit seinen Soldaten wird Napoleon als Idealbeispiel des guten Generals gezeigt. Dessen Darstellung steht damit im direkten Kontrast zur Darstellung des Königs: Napoleon ist selbständig, kompetent und weiß sich stets zu helfen. Als Verbündeter der Assassinen-Fraktion wird er darüber hinaus als indirekter Motor der Freiheitsbewegung dargestellt. Beide Aspekte sind als klare Abweichungen von der Meistererzählung zu erkennen, da Napoleon durch seine Selbstkrönung zum Kaiser und Diktator traditionell als Feind des Freiheitsgedankens erzählt wird, der darüber hinaus mit seinem gescheiterten Russlandfeldzug taktische Schwächen und potenziell großwahn sinnige Herrschaftsvorstellungen aufzeigte.

Robespierre wiederum wird als fanatischer Verbündeter der fiktionalen Antagonisten, den Templern, dargestellt. Diese sind im Kontext des Spiels als totalitäre, autokratische Fraktion zu verstehen, welche Freiheitsbewegungen in jeder Form bekämpft, um ordnende Strukturen zu schaffen. Sein Selbstmordversuch wird als Einschüchterungsversuch durch Arno konstruiert, der von Robespierre Informationen über die Templer fordert. Robespierre gibt diese Informationen über seine Verbündeten erst frei, nachdem er durch einen Schuss ins Gesicht gefoltert wurde. In diesem Zusammenhang wird durch eine Umdeutung des Selbstmordversuchs ein neues Narrativ geschaffen, welches ihn bis zum Ende als einen treuen Anhänger dieser Bewegung inszeniert; die Todesopfer der Revolution nimmt er billigend in Kauf. Diese Darstellung antagonisiert und dämonisiert Robespierre, stellt seine Motive, seine Demokratie- und Gleichheitswünsche in Frage und lässt seine Terrorherrschaft unausweichlich erscheinen.

Insgesamt wird bei *Assassin's Creed Unity* ein von den Meistererzählungen deutlich abweichendes Narrativ konstruiert, welches die Französische Revolution als einen Versuch skizziert, ein totalitäres Regime zu installieren. Dieser Widerspruch zur Meistererzählung ist gesellschaftlich nicht unproblematisch: Deutliche Kritik kam von Seiten der französischen Linken, welche die Interpretation der historischen Ereignisse im Videospiel als Propaganda bezeichnete, die anti-revolutionäre Klischees verbreite und darauf abziele, den steigenden Selbsthass in der Gesellschaft zu fördern. Damit sei die Möglichkeit einer gemeinsamen französischen Identität allein auf Religionszugehörigkeit und Hautfarbe reduziert (vgl. Bilefsky).

Dieses Beispiel unterstreicht nicht nur die Bedeutung der Meistererzählung für eine Gesellschaft, sondern illustriert auch das Konfliktpotential, das entsteht, wenn diese angefochten wird: Die Meistererzählung über die Französische Revolution als demokratisierende Freiheitsbewegung ist für die französische Identität von zentraler Bedeutung; mit der massenmedialen Verwerfung dieses Bildes zugunsten einer Darstellung als freiheits-feindliche Bewegung wird ein Kernelement der französischen Identität herausgefordert. Videospiele befinden sich damit in einer historisch einzigartigen Situation, da sie als erstes Massenmedium mehrheitlich nicht der Verbreitung von

Meistererzählungen dienen, sondern diese überwiegend herausfordern. Aus diesem Zusammenhang ergeben sich sowohl Chancen als auch Herausforderungen für den gesellschaftlichen Diskurs, in dem eine Meistererzählung verhandelt wird.

Die massenmediale Auseinandersetzung mit Narrativen, welche im direkten Widerspruch zu etablierten Bildern und Vorstellungen stehen, kann also eine Chance sein, um sich großflächig mit neuen Impulsen zu beschäftigen und alte Narrative zu hinterfragen. So kann beispielsweise *Assassin's Creed 3* ein Narrativ mit hohem Differenzierungsgrad im Umgang mit dem US-amerikanischen Unabhängigkeitskrieg aufweisen. In *Assassin's Creed 3* findet eine kritische Auseinandersetzung mit der Rolle der indigenen Bevölkerung im Unabhängigkeitskrieg statt, wodurch viele neue Impulse gesetzt werden, welche in der etablierten Meistererzählung nur sehr wenig Beachtung finden. Der Spieler, der die Geschehnisse aus Sicht des indigenen Hauptcharakters erlebt, wird dazu angehalten, sich aktiv mit der Widersprüchlichkeit zwischen amerikanischen und indigenen Interessen zu beschäftigen. Das Versagen des Hauptcharakters, indigene Freiheitsansprüche gegen amerikanische Territorialansprüche durchzusetzen, wird als persönliches Versagen wahrgenommen (Schwarz 43ff.).

Auch weniger differenzierte Spielnarrative wie beispielsweise in *Age of Empires III*, das sich ebenfalls mit dem amerikanischen Unabhängigkeitskrieg aus Sicht eines halb-indigenen Hauptcharakters beschäftigt, könnten als Chance genutzt werden, um sich kritisch mit Meistererzählungen zu beschäftigen. Der Spieler durchläuft in *Age of Empires* den amerikanischen Unabhängigkeitskrieg im Sinne der amerikanischen Meistererzählung. Trotz Betonung der indigenen Herkunft des Hauptcharakters findet keine Abweichung von der Meistererzählung und damit keine Erörterung von potentiellen Konflikten (wie dem in *Assassin's Creed 3* dargestellten) statt (Schwarz 36ff.). Es könnte daher Aufgabe des Geschichtsunterrichtes sein, diese Widersprüchlichkeit zu erörtern, jedoch fehlt es bislang an Beschäftigung mit Narrativen in Videospiele sowohl in der historischen Forschung als auch an Schulen.

Zu den Herausforderungen bei der Beschäftigung mit Videospiele als Teil der Geschichtskultur sind zuallererst die kommerziellen Interessen zu nennen, die bei der Produktion solcher Massenmedien – und damit auch bei der Konstruktion ihrer Narrative – eine wichtige Rolle spielen. Entwickler, vor allem aber Publisher können aus kommerziellen Gründen daran interessiert sein, polemische oder ahistorische Narrative als historisch wirksame Produkte zu verkaufen. Ein polemisches Narrativ, das stärker polarisiert und dadurch spannender wird, gerät schnell in Widerspruch zu wissenschaftlichen Ansätzen. Eine Trennung von Fakt und Fiktion oder eine differenzierte Aufarbeitung neuer Vorstellungen, die durch das Narrativ im Videospiele geprägt werden, ist zumindest im aktuellen gesellschaftlichen Diskurs nur Expert*innen nachträglich möglich.

Noch längst nicht so verbreitet, aber potentiell viel bedrohlicher ist die Gefahr der manipulativen Verwendung ahistorischer Narrative für politische Zwecke. Schon seit Jahren lässt die US Army Ego-Shooter programmieren, die größtenteils in historischen Kriegsszenarien verortet sind, um Rekruten anzuwerben. Selbst eine militärisch möglichst akkurate Darstellung der Ereignisse kann hier eine politische oder propagandistische Beeinflussung nicht ausschließen. Wie lange dauert es noch, bis autokratische Regimes systematisch „Propaganda-Spiele“ für die Massen produzieren, so wie es seit den 1930er Jahren mit dem Kinofilm geschah?

Weiterhin sind Videospiele aus künstlerischer Sicht nicht unbedingt darauf bedacht, wissenschaftlich geprägte Narrative zu entwickeln. In der Produktion von Videospiele und TV-Serien werden heute die Grenzen dessen, was erzählerisch möglich oder denkbar ist, neu gezogen. Hier finden die Innovationen bei der Entwicklung dramatischer Narrative mit ausgeprägtem Spannungsbogen statt, die Zuschauer*innen und Spieler*innen dazu bewegen, immer weiter zu sehen und zu spielen – der Suchteffekt scheint aktuell das wichtigste Gestaltungsziel in Entwicklung und Produktion zu sein. Ein erzählerisch spannendes Narrativ kann die Spieler*innen natürlich dazu bewegen, sich näher mit den Inhalten – und das heißt auch: mit den historischen Ereignissen und Zusammenhängen – zu beschäftigen. Genauso gut könnte jedoch eine Auseinandersetzung erschwert werden, falls die Erzählung auf Kosten historischer Zuverlässigkeit spannend gemacht wird.

Wir fassen zusammen: Insgesamt bieten Videospiele durch alternative Narrative neue Perspektiven und Impulse, welche in Meistererzählungen häufig nicht zu finden sind oder nur wenig Beachtung finden. Diese Perspektiven und Impulse können dazu genutzt werden, sich mit bestehenden Narrativen näher zu beschäftigen oder auf einer gesellschaftlichen Ebene den Diskurs um die Meistererzählung zu vertiefen. Jedoch fehlen für die Beschäftigung mit Narrativen im Videospiel gesellschaftliche „Infrastrukturen“: Videospiele spielen weder in der historischen Forschung noch an Schulen eine ausreichende Rolle, um einen Diskurs oder auch nur die persönliche Reflexion anzuleiten. Weiterhin sind die Produzent*innen von Videospiele momentan nur in wenigen Fällen darauf bedacht, nah an historischen Fakten zu arbeiten. Im Vergleich zu wissenschaftlichen Interessen spielen aktuell kommerzielle und künstlerische Interessen eine größere Rolle bei der Konstruktion von Narrativen – und die Bedeutung von politischen Interessen dürfte zunehmen. Dies muss nicht zwangsweise eine Beschäftigung mit wenig differenzierten Videospiele Narrativen ausschließen, es macht aber die Notwendigkeit gesellschaftlicher „Infrastrukturen“, die einen reflektierten Umgang mit Narrativen in Videospiele ermöglichen, umso deutlicher.

Quellen und Literatur

- Ensemble Studios, *Age of Empires III* (2005, Publisher: Microsoft).
- Ubisoft Montreal, *Assassin's Creed Unity* (2014, Publisher: Ubisoft).
- Ubisoft Montreal u.a., *Assassin's Creed 3* (2012, Publisher: Ubisoft).
- Dan BILEFSKY, Video Game Meets History, and France Rebels Again, in: New York Times (21.11.2014), p. A14, online: <https://www.nytimes.com/2014/11/21/world/europe/assassins-creed-unity-french-revolution-left.html> [1.12.2018]
- Nele DIERLAMM / Luchino PEISER / Nina QUANDT, Die Macht der Narrative, in: *13. Hessische Schülerakademie Oberstufe 2017 [...] Dokumentation*, hgg. v. Cynthia HOG-ANGELONI / Peter GORZOLLA / Gregor ANGELONI, Eiterfeld 2017, S. 88-91.
- Angela SCHWARZ, Narration und Narrativ. Geschichte erzählen in Videospiele, in: *Frühe Neuzeit im Videospiel. Geschichtswissenschaftliche Perspektiven*, hgg. v. Florian KERSCHBAUMER / Tobias WINNERLING (Histoire 50), Bielefeld 2014, S. 27-52.

7.4 Immersionserfahrungen in historischen Videospielen

Julia Damrath, Samuel Tischer & Tatiana Rocha de Oliveira

Stell dir vor, du stehst im Schwimmbad auf dem Fünfmeterturn, springst ins Wasser und tauchst in eine andere, unbekannte Umgebung ein. Auch wenn es dir fremd vorkommt, nicht mehr an der Luft zu sein, nimmst du das Wasser nicht als Bedrohung wahr, sondern lässt dich mit Freude auf diese neue Erfahrung ein. Dieses Gefühl wird als „Immersion“ bezeichnet. Immersion beschreibt einen psychischen Zustand, der den/die Konsument*in eines Mediums von äußeren Reizen isoliert und in eine „andere Welt“ eintauchen lässt. Immersion kann auch zu dem Gefühl der „Präsenz“ innerhalb des entsprechenden Mediums führen, indem man sich fälschlicherweise physisch dort wähnt.

Immersion und ihre Effekte nehmen in unserer medial geprägten Gesellschaft eine immer größere Rolle ein, auch wenn wir uns der Immersion nicht immer bewusst sind. Deshalb haben wir Immersionserfahrungen in historischen Videospielen unter die Lupe genommen. Da Immersion zu einem gewissen Grad auch von der Vorstellungskraft der Konsument*innen abhängt, haben wir in unserer Sitzung die Teilnehmer*innen gebeten, ihre persönliche Vorstellung zur Immersion zu visualisieren und anschließend im Plenum vorzustellen. So unterschiedlich die verschiedenen Darstellungen waren – vom aufsaugenden Tunnel über einen Strand bis hin zur imaginären Denkblase –, vereint sie der Ansatz des völligen Eintauchens in eine andere Welt.

Immersion kann in verschiedenen Medien erfahren werden. Sie ist ganz ohne audiovisuelle Reize möglich, wie jeder weiß, der schon mal in einem Buch „abgetaucht“ ist. Hörspiele, Film und Fernsehen setzen darüber hinaus auf audio-/visuelle Eindrücke, um den Konsument*innen eine intensivere Immersionserfahrung zu ermöglichen. Die Grenzen dessen, was an Immersion in nicht-interaktiven Medien möglich ist, sind im Kino um die Jahrtausendwende durch „authentische“ Produktionen wie *Saving Private Ryan* (USA 1998, Regie: Steven Spielberg; siehe hierzu auch Teister / Alke 2014, Ament / Quandt 2016), danach vor allem durch 3D-Produktionen wie *Avatar* (UK/USA 2009, Regie: James Cameron) ausgelotet worden.

Bei anderen Medienformaten wie Videospielen kommt ein weiterer Immersionsfaktor hinzu: die Interaktivität mit dem Spiel, d.h. mit der Erzählung. Dies kann zu sehr intensiven und wirkungsvollen Immersionserfahrungen führen, ihre Herstellung ist für die Produzent*innen der Videospiele aber keineswegs einfach: Persönliche Erwartungen, Erfahrungen und Erinnerungen beeinflussen die Rezeption stärker als bei nicht-interaktiven Medien, weshalb es beinahe unmöglich ist, ein Spiel zu entwickeln, das alle Konsument*innen gleichermaßen erreicht.

Weil wir uns im Kurs hinsichtlich unserer (Video-)Spielerfahrung und unseres Spielverhaltens deutlich unterschieden, stellten wir uns bald die grundsätzliche Frage, wie Immersion überhaupt gelingt oder misslingt. Beim Sammeln unserer Ideen zeichnete sich ein gewisses Muster ab: Ein Spiel müsse einen Komplexitätsgrad haben, der der Erwartungshaltung des/der Konsument*in entspricht, um auch über längere Zeit spannend zu bleiben. Zudem solle es eine emotionale und authentische Atmosphäre schaffen, ohne dabei einen Zwang zur realistischen Darstellung zu transportieren. Außerdem ist zu erwarten, dass die Tendenz zu *adaptiven* Spielen (also zu solchen, die sich aktiv an das Spielen der/des Konsument*in anpassen,) zu einer erhöhten Interaktion und möglicherweise auch mehr Immersion führen. Grundsätzlich gilt: Je mehr ein Spiel den/die

Konsument*in (in verschiedener Hinsicht) anspricht, desto einfacher kann es sein, Immersion hervorzurufen.

Für manche Spieler*innen geht eine stärkere Immersionserfahrung mit einem intensiveren Erleben von Emotionen einher. Wir haben uns in der Sitzungsvorbereitung entschieden, hierzu während der Akademie ein kleines Experiment zur „Erfassung“ von Emotionen beim Videospiel durchzuführen. Wir mussten dazu zunächst klären, wie wir Emotionen operationalisieren können. Untersuchen ließen sich nur nach außen kommunizierte Emotionen; wir haben uns auf ein Zusammenspiel aus Mimik, Gestik oder verbalen Äußerungen beschränkt. Als Mimik haben wir einerseits kleinere Anzeichen, wie Augenrollen oder ein kleines Schmunzeln, andererseits auch stark expressive Gesichtsausdrücke, wie Grimassen, verstanden. Unter die Gestik fielen für uns kleinere Bewegungen, wie Kopfnicken, oder aber auch größere, wie wilde Armbewegungen. Als verbale Kommunikation haben wir den Austausch zwischen Spieler*in und Computer verstanden. Um diese emotionalen Regungen in Bezug auf die Immersionserfahrungen zu analysieren, filmten wir Teilnehmer*innen unseres Kurses während des Videospieles. Aus unterschiedlichen Sequenzen der Aufnahmen wurde dann ein Video zusammengeschnitten, welches zum Kern unserer Sitzung wurde. Bei der Analyse in Gruppenarbeit wurden die Reaktionen auf Geschehnisse untersucht und damit im weiteren Sinne auch Rückschlüsse auf den Ausdruck von Immersionserfahrungen gezogen. In der abschließenden Diskussion im Plenum wurden die gesammelten Impressionen zu den Videosequenzen vorgestellt und hinterfragt. Interessant war dabei, dass die Perspektiven zu der Frage, inwiefern emotionale Expressionen auf Immersionserfahrungen schließen lassen, vielfältig waren. Während einige starke emotionale Ausbrüche als Anzeichen fehlender Konzentration und somit geringerer Immersion ansahen, war sichtbare Emotionalität für andere ein Hauptmerkmal für gelungene, weil mitfühlende Immersion. Anknüpfend an diese Beobachtungen ergab sich die Frage, ob das Ausmaß an vorheriger Spielerfahrung auch die Immersionserfahrungen und deren Ausdruck beeinflussen kann. Nach längerer Auseinandersetzung sind wir zu der Erkenntnis gekommen, dass höchstwahrscheinlich kaum eine Korrelation zwischen dem Ausdrücken von Emotionen und der Erfahrung der Spieler*innen besteht und dass Immersion deshalb größtenteils typabhängig ist.

Gelungene Immersionserfahrungen können sehr intensiv und bisweilen auch prägend sein. Dies dient aber nicht nur der Unterhaltung der Spieler*innen, auch die Unternehmen, die solche Spiele konzipieren, haben längst das Potential der Immersionserfahrungen erkannt, um es im eigenen Interesse zu nutzen. (Zu einer Analyse der Motive von Produzent*innen siehe auch →7.2 *Historische Darstellungen*). In der Folge ist mit einer Einflussnahme auf die Gestaltung der Spielinhalte nach den Vorstellungen der Produzent*innen zu rechnen: Einerseits können im immersiven Videospiel Werbeinhalte, z.B. in Form von realen Produkten, die im virtuellen Spiel als Objekt existieren, für die/den Rezipient*in unbewusst eingebaut werden. Die Immersion in die Welt des Spieles könnte demnach ein allmähliches Verinnerlichen der Werbeinhalte mit sich bringen, die strategisch eingefügt und wiederholt werden. Es wäre im Sinne der Werbemacher*innen, wenn die Inhalte virtuell und im Gedächtnis dauerhaft präsent würden, um sowohl das Bedürfnis nach einem Produkt als auch die Relevanz dessen zu konstituieren, was den eigenen Profit steigern könnte. Andererseits können Produzent*innen Narrative in ihren Spielen konstruieren, die z.B. eine bestimmte Meistererzählung unterstützen, diese als „absolute Wahrheit“ darstellen und dadurch auch die (geschichtliche) Vorstellung der Spieler*innen beeinflussen (siehe hierzu →7.3 *Historische*

Narration). Solche Maßnahmen können tiefgreifende Auswirkungen auf das individuelle Gedächtnis haben, wenn die Manipulation mithilfe von Immersion erfolgreich gelingt. Den Herstellern wiederum würden solche erfolgreichen Manipulationen mehr Profit einbringen.

Von besonderem Interesse sind in diesem Zusammenhang für uns natürlich die historischen Videospiele. (Zur Erinnerung: Da wir darunter alle Arten von Videospiele verstehen, die innerhalb eines historisierten Rahmens konstruiert wurden oder historische Aspekte aufgreifen, kann es sich dabei auch um kontrafaktische Darstellungen handeln.) In der Auseinandersetzung mit diesen Videospiele ist uns durch persönliche Berichte aufgefallen, dass beispielsweise die Interaktion mit historischen Persönlichkeiten *in-play* die individuelle Vorstellung von diesen Personen außerhalb der virtuellen Welt beachtlich prägen kann; Ähnliches lässt sich auch über die Vermittlung historischer Prozesse und Zusammenhänge berichten. Dabei geht es natürlich nicht nur um die äußerliche Erscheinung von Menschen, Gebäuden oder Objekten, sondern auch um die Darstellung menschlichen Verhaltens, die Wiedergabe sozialer und politischer Ansichten oder die Wirkung von Weltbildern. Im Gegensatz zu nicht-interaktiven Medien wie dem Fernsehen bietet die Interaktion im Videospiel nicht nur die Möglichkeit, historische Ereignisse als Zuschauer*in mitzuerleben, sondern sie „live“ als Akteur*in im Spiel mitzuerleben. Für unser Beispiel der historischen Persönlichkeiten heißt das etwa, dass man sie nicht nur beobachtet, sondern mit ihnen kommuniziert und interagiert.

Die unüberwindbare Distanz zwischen Vergangenheit und Gegenwart wird so mithilfe der Immersion – scheinbar – für einen Moment überwunden, auch wenn es sich letztendlich nur um eine weitere Vergegenwärtigung der Vergangenheit und keineswegs um einen perfekten „Zeitsprung“ (Schörken 14) handelt. Wie wir in unserer Sitzungsdiskussion feststellen konnten, ist das subjektive Empfinden der Spieler*innen jedoch trotzdem eines, als hätten sie eine Zeitreise unternommen. Es gibt ein naheliegendes Bedürfnis, Geschichte auch auf einer emotionalen Basis zu erfahren, das charakteristisch für den Konsum historischer Videospiele zu sein scheint. Kombiniert man diesen Gedanken mit der Feststellung, dass Videospiele von einem großen und diversen Publikum aus verschiedenen Communities konsumiert werden (vgl. hierzu auch →7.6 #holocaust), ergibt sich auf diesem Weg möglicherweise eine neue Form der Geschichtsvermittlung. Außerhalb der institutionalisierten Formen von Geschichtsvermittlung, die teilweise als schwer zugänglich und unverständlich wahrgenommen werden, können Videospiele zukünftig noch weiter an Bedeutung für die Aneignung historischen Wissens und die Entwicklung unserer Geschichtskultur hinzugewinnen.

Zuletzt noch ein Gedanke: Da ein „Nachvollziehen“ der Geschichte durch die immersiven Videospiele nicht nur bei einem/einer Spieler*in erfolgt, sondern bei praktisch allen Konsument*innen, dürfen wir durchaus über spielbezogene kollektive Gedächtnisse spekulieren, die aus den Erfahrungen von „miterlebten“ Videospieldinhalten und den Diskursen über diese aufgebaut sind. (Beispiele für derartige Entwicklungen in langjährigen Multiplayer-Communities gibt es schon zuhauf.) Bei einer immer internationaler werdenden Videospiele-Community wäre es deshalb auch interessant zu beobachten, inwiefern sich globale, „virtuelle“ Narrative entwickeln könnten, die sich von den bisher bekannten Erzählmustern unterscheiden würden. (Zu „globalen Narrativen“ siehe auch →7.2 *Historische Darstellungen*).

Zusammenfassend können wir sagen, dass Immersion bei den Rezipient*innen durchaus unterschiedliche Reaktionen auslöst, unterschiedlich wahrgenommen und unterschiedlich bewertet

wird. Nichtsdestotrotz bietet die Auseinandersetzung mit Immersionserfahrungen ein großes Potential, unsere Wahrnehmung und unser Verständnis von Geschichte zu verändern und zu erweitern. Um dies zu visualisieren, kehren wir zu unserem Sprung vom Fünfmerturm zurück: Das Eintauchen in eine andere Welt findet statt. Stellen Sie sich vor, eine ganze Schwimmgruppe springt in unbekannte Gewässer und entdeckt nie zuvor gesehene Unterwasserwelten. Und die Entdeckungen darin revolutionieren das Bild, das wir von diesen Orten haben.

Literatur

- Adalie AMENT / Nina QUANDT, Cinema of Immersion: Authentizitätseffekte in Spielbergs *Saving Private Ryan*, in: 12. Hessische Schülerakademie Oberstufe 2016 [. . .] Dokumentation, hgg. v. Cynthia HOG-ANGELONI / Peter GORZOLLA / Gregor ANGELONI, Eiterfeld 2016, S. 70-71.
- Wulf KANSTEINER, Virtuelle Welten und erfundene Gemeinschaften. Geschichte und Geschichtsbewusstsein im Zeitalter interaktiver Medien, in: *Erinnerungskultur 2.0: Kommemorativ-Kommunikation in digitalen Medien*, hg. v. Erik MEYER, Frankfurt 2009, S. 29-54.
- Rolf SCHÖRKEN, *Begegnungen mit Geschichte. Vom außerwissenschaftlichen Umgang mit der Historie in Literatur und Medien*, Stuttgart 1995, S. 11-24. (Kap. I: Das Prinzip Vergegenwärtigung).
- Isabel TEISTER / Paul ALKE, Der gute Soldat. Cinema of Immersion und der Mythos vom guten Soldaten, in: 10. Hessische Schülerakademie Oberstufe 2014 [. . .] Dokumentation, hgg. v. Peter GORZOLLA / Cynthia HOG-ANGELONI / Birthe Anne WIEGAND, Eiterfeld 2014, S. 71-72.

7.5 Emotionen in historischen TV-Dokumentationen

Natascha Janho, Antonia Weiland & Ina Mehler

Wenn ein Laie eine Physikvorlesung an der Universität besucht, ist die Wahrscheinlichkeit sehr groß, dass er hinsichtlich des fachwissenschaftlichen Inhalts wenig bis gar nichts verstehen wird. Diese Vermutung lässt sich aufstellen, da der Inhalt mit großer Wahrscheinlichkeit komplex sein und Vorwissen erfordern wird. Darüber hinaus ist mit der Differenzierung der einzelnen Disziplinen eine Differenzierung ihrer fachwissenschaftlichen Terminologie einhergegangen, zur inhaltlichen also sprachliche Barriere hinzugekommen. Beide können nicht ohne ein (meist ausführliches) Studium überwunden werden. Aus der Perspektive einer studierten Physikerin ist es vielleicht bedauerlich, dass sich besagter Laie entsprechend seines Vorwissens stark vereinfachte Informationsquellen zum Zweck seiner freizeithlichen Fortbildung suchen wird. Dieser Umstand wird die *Physikwissenschaft* jedoch nicht in eine Krise stürzen. Innerhalb der *Geschichtswissenschaft* und der Geschichtsdidaktik zog ein ähnlicher Ereignishergang jedoch weite Kreise: Als den Historiker*innen in der Folge des Geschichtsbooms der 1970er und 1980er Jahre bewusst wurde, dass spannende historische Romane und ergreifende Ausstellungen den eigenen fachwissenschaftlichen Publikationen vorgezogen und von der Gesellschaft publikumswirksam und breitgefächert rezipiert wurden, entstand eine heftige Debatte. Diese wird bis auf den heutigen Tag geführt, denn die populärwissenschaftliche Vermittlung von Geschichte wird weiterhin zunehmend emotionalisiert betrieben.

Im Vergleich zum Beginn des Streits bietet das heute zugängliche Medienspektrum ein viel breiteres Angebot zur Befassung mit historischen Inhalten, zum Beispiel durch Spielfilme, Videospiele oder TV-Dokumentationen. Die Vorstellung, dass sich jener Laie auf diesen Wegen, gewissermaßen an der wissenschaftlichen Arbeit der Zunft vorbei, ein Bild von Geschichte(n) machen könne, erscheint einem Teil der Geschichtswissenschaftler*innen als Dorn im Auge. Insbesondere wird in den bewusst hervorgerufenen Emotionen und Emotionalisierungen durch populärwissenschaftliche Zugänge eine große Gefahr gesehen. Mit einer Popularisierung des Zugangs zu historischen Ereignissen könnte auch eine Manipulation der Deutung Einzug in die Geschichtskultur erhalten und die sorgfältige und differenzierte Aufarbeitung der (deutschen) Vergangenheit unterwandert werden. Grundlegend für diese Sorge ist die Annahme, dass Emotionen das Gegenstück zur Rationalität bilden, ganz nach dem Motto: „Wer fühlt, der denkt nicht“. Diesem Vorbehalt ist es vor allen Dingen geschuldet, dass eine konstruktive wissenschaftliche Auseinandersetzung mit emotionalisierender Geschichtsvermittlung noch absolutes Neuland ist.

Bei unserer Vorbereitung im Team haben wir in einem ersten Analyseschritt die bekannte Aussage „Wer fühlt, der denkt nicht“, kritisch hinterfragt. Schon eine einfache Internetrecherche der Begriffe „Gefühl“ und „Emotion“ machte deutlich, dass aus psychologischer und medizinischer Perspektive Emotionen einen Teil kognitiver Prozesse bilden; Denken und Fühlen laufen also zwangsläufig parallel ab! Ein grundlegender Punkt konservativer Argumentationsstrategien innerhalb der Geschichtswissenschaft beruht auf einem voreingenommenen Verständnis von Sehen: auf der Annahme, dass Sehen deterministisch ist und von allen Rezipient*innen gleich aufgenommen wird (*Stimulus-Response-Prinzip*). Ein weiteres, der Abgrenzung gegen populärwissenschaftliche Zugänge zur Geschichte förderliches Konzept, das in unserer Sitzung eine große Rolle gespielt hat, ist das Selbstverständnis weiter Teile der konservativen Geschichtswissenschaft, sich in einem akademischen „Elfenbeinturm“ zu befinden, abgegrenzt vom Rest der Gesellschaft, welcher lediglich eine Rolle als „breite Masse“ zufällt. Dieses Bild ist in mehrfacher Hinsicht problematisch: Zum einen werden historische Laien in diesem Kontext immer wieder in einer Weise charakterisiert, die ihnen differenziertes Denken abspricht und sie stattdessen nach bloßen Affekten lechzen lässt – Sensationen, Gewalt, Sex und natürlich erzählerische Dramatisierung und Emotionalisierung. Zum anderen beruht eine solch klare Trennung der Wissenschaft von der Gesellschaft auf einer künstlichen Differenzierung, die so nicht gegeben ist. Längst schon sind die Grenzen zwischen professioneller, wissenschaftlicher Aneignung und Produktion historischen Wissens und jener, die von nicht-ausgebildeten Amateuren oder ausgebildeten Historiker*innen in vielfältigen Arbeitszusammenhängen außerhalb von Universität, Archiv und Museum betrieben wird, fließend. Eine voreingenommene und hierarchisierende Selbst-Abgrenzung von Vertreter*innen der Geschichtswissenschaft trägt in diesem Zusammenhang deutliche Merkmale einer sich selbst erfüllenden Prophezeiung.

Die kritische Auseinandersetzung mit den Ideen eines *deterministischen Sehens* und der „breiten Masse“ war ein essentielles Ziel unserer Sitzung. Die Widerlegung auch der ersten Hypothese konnten wir im Einstieg in unsere Sitzung verdeutlichen. Das Plakat „Kinder ohne Spielplatz“ (1912) von Käthe Kollwitz, das die Armut und eklatante Wohnsituation der Arbeiterschicht verbildlicht, löste Anfang des letzten Jahrhunderts eine erhitzte öffentliche Debatte aus. Kritiker befürchteten, dass die verschiedenen Gesellschaftsschichten und institutionellen Diskurse durch die „anmaßende“ Zeichnung manipuliert werden sollten. Im Kurs konnten wir die mögliche emotionalisierende

Wirkung der Abbildung nachvollziehen. Wir einigten uns aber darauf, dass eine dramatisch aufgeladene Reaktion oder gar öffentliche Debatte in unserer *gegenwärtigen* Gesellschaft nicht mehr entstehen würde – entsprechende Kritiken würden sogar belächelt. Anfang des 19. Jahrhunderts führten noch einfache Zeichnungen zu Aufregung; heute sind es Beispiele aus dem Fernsehen und dem Internet; in fünfzig Jahren werden es eventuell Bilder sein, die über neue Technologien wie Virtual Reality zugänglich sind, an denen sich politische Debatten entzünden könnten. Festhalten lässt sich aber zweifelsfrei, dass „Sehen“ als individueller, erst recht aber als kollektiver Vorgang zeitlich abhängig ist. Doch nicht nur der zeitliche Faktor ist entscheidend dafür, wie wir bildliche Quellen interpretieren. In unserer Vorbereitung konnten wir erarbeiten, dass das „Sehen“ potentiell emotionalisierenden Quellenmaterials von unzähligen individuellen Faktoren beeinflusst wird und keinesfalls als deterministisch aufgefasst werden kann. Die von uns in der Sitzung im Detail analysierte TV-Dokumentation *Das Drama von Dresden* würde beispielsweise in anderen Ländern ganz anders wahrgenommen und bewertet werden, als in unserer Kultur und vor unserem historischen Hintergrund – einmal ganz abgesehen vom „Sehen“ in einer Generation, welche die Zeit des Nationalsozialismus noch selbst miterlebt hat. Sehen ist abhängig von der Generation, den Erfahrungen des sehenden Individuums und seiner Bildung, denn all diese Faktoren beeinflussen, wie wir das Gesehene verknüpfen und in welchem Maß wir es kritisch reflektieren können.

In unserer Sitzung haben wir schließlich jene Situation simuliert, die wir kritisiert haben: Wir haben den Kurs in zwei Gruppen aufgeteilt und eine künstliche Trennung vorgenommen, um die Rezeption des populärwissenschaftlich geschnittenen, erzählten und vermittelten historischen Filmmaterials durch die „breite Masse“ und die „kritischen Geschichtswissenschaften“ zu vergleichen. Dazu haben wir einen Lösungsansatz von Ute Frevert und Anne Schmidt in Bezug auf die Kritik an emotionalisierendem historischen Bildmaterial vorgestellt. Frevert und Schmidt verweisen auf vier emotionale Kommunikationsmechanismen, die das Augenmerk einer kritischen Rezeption leiten: die Prinzipien der Visualisierung, der Dramatisierung, der Personifizierung und der Authentifizierung. Würden die Rezipient*innen diese Faktoren als analytisches Mittel in ihren Sehprozess integrieren, so könnte dies zu einer stets kritischen Form der Reflexion und Einordnung des Gesehenen führen. Während sich unsere erste Gruppe also ausgewählte Szenen des *Dramas von Dresden* – einer typischen Histotainment-Produktion mit Zeitzeugen, Originalaufnahmen und Spielszenen aus der Redaktion von Guido Knopp – ohne eine konkrete methodische Anweisung ansah, schaute sich die zweite Gruppe dieselben Ausschnitte mit dem Auftrag an, die filmisch-stilistischen Mittel zu analysieren. Beide Gruppen hatten den Arbeitsauftrag, die emotionale Wirkung des Gesehenen auf sie selbst festzuhalten – und kamen trotz unterschiedlicher Arbeitsweisen auf ähnliche Ergebnisse. Folglich konnten wir die Befürchtungen konservativer Historiker*innen hinsichtlich eines populärwissenschaftlich emotionalisierenden Zugangs zur Geschichte in unserem Selbstversuch nicht bestätigen. Das mag natürlich daran liegen, dass wir im Geschichtskurs zu diesem Zeitpunkt bereits einen ordentlichen Schritt in der „Verwissenschaftlichung“ unserer Sehgewohnheiten gegangen waren. Aber die Verinnerlichung eines kritischen Rezeptionsvorgangs geschieht nicht auf Knopfdruck: Die Aneignung der Mechanismen ist ein Prozess, der wahrscheinlich niemals endet, sondern stets intensiviert und verbessert werden kann. Eine klare Trennung zwischen jenen, die differenziert „sehen“ können, also die filmischen Manipulationen der TV-Doku durchschauen, und jenen, die sich manipulieren lassen, ist plakativ und polemisch. Wenn das kritische Sehen die Rezipient*innen ermächtigt, sich eine differenzierte Meinung bilden zu können, dann hat

uns das Training unseres kritischen Sehens im Kurs also als erstes die Möglichkeit geboten, auf die polarisierende und hierarchisierende Haltung konservativer Geschichtswissenschaftler*innen aufmerksam zu werden, diesen reflektiert zu begegnen und die mangelhafte Differenzierung in diesem Standpunkt zu analysieren.

An diesem Punkt eröffneten sich in unserer Sitzung weiterführende Perspektiven und Fragen. Schon im Zuge unserer Vorbereitung hatten wir im Team festgestellt, dass wir uns selbst beim Betrachten des Konflikts außen vor gelassen hatten – nun kam in der Sitzung die Frage auf, wo wir uns als Gruppe von Kursteilnehmer*innen selbst verorten würden: Nehmen wir uns als Teil der „breiten Masse“ wahr oder gehen wir davon aus, dass wir mit unserer Ausbildung am Fuße des „Elfenbeinturmes“ stehen? Wir richteten die Kritik somit auch an uns selbst, und unsere ehrlichen Antworten auf diese Frage haben uns nicht immer gefallen. Retrospektiv haben wir erfahren, wie leicht sich eine (künstliche) Differenzierung schon unbewusst einstellt. In unserer Diskussion zeichnete sich ab, dass wir das undifferenzierte Modell „Elfenbeinturm vs. breite Masse“ vielleicht nur erfolgreich kritisieren können, wenn wir ihm ein neues Bild für das Verhältnis von Wissenschaft und Gesellschaft, Geschichtswissenschaft und Geschichtskultur entgegensetzen. (Die Arbeit an diesen Modellentwürfen hat unter anderem zum Bild vom gemeinsamen „Esstisch“ von Produzent*innen und Konsument*innen, siehe →7.2 *Historische Darstellungen*, und zum „Bergschaubild“ der gegenseitigen Wahrnehmung, siehe →7.6 *#holocaust*, geführt.)

Unsere Auseinandersetzung mit dieser Problematik ließ viele Fragen offen. So ist es essentiell, zu diskutieren, wie der „Elfenbeinturm“ nicht nur modellhaft, sondern auch in unserer Gesellschaft aufgelöst werden kann. Dies erscheint heute mehr denn je als wichtige und notwendige Aufgabe für die Geschichtswissenschaft, da diese in den kommenden Jahren gesellschaftspolitisch stark gefordert sein wird: durch Fragen kultureller Integration und kollektiver Identität, durch historische Legitimationsbedürfnisse für neue politische Konstellationen und Bündnisse, vor allem aber durch Rechtspopulismus, Revisionismus und Bildungsfeindlichkeit. In Deutschland ist die Auseinandersetzung mit der nationalsozialistischen Vergangenheit unauflösbar mit dem Demokratisierungsprozess verbunden. Ironischerweise begründet sich nun gerade ein guter Teil der konservativen Befürchtungen um eine „falsche“ Aneignung von Geschichte und die daraus resultierende Ablehnung populärwissenschaftlicher Zugänge in der möglichen Gefährdung unserer Demokratie durch falsche (das heißt konkret oft: revisionistische) Geschichtsbilder. Mit Blick auf die Entwicklung der Diskurse und Debatten der vergangenen Jahre innerhalb der Geschichtskultur können wir aber ganz klar feststellen, dass diese Sorge zu kurz greift: Die gefährlichsten Revisionisten der Gegenwart schmieren keine Parolen an die Wand, sondern stellen geschickt die Wissenschaftlichkeit der postmodernen Geisteswissenschaften grundsätzlich in Frage (vgl. Janho / Wirth / Gorzolla 2017).

Wir sind überzeugt: Für die Entwicklung eines verantwortungsvollen kollektiven Geschichtsbewusstseins im Zusammenhang mit einer historisch-politisch bildenden Erinnerungs- und Gedenkarbeit ist ein integratives Verständnis der Geschichtskultur in Deutschland notwendig. Unsere Sitzung hat uns aufgezeigt, dass die wissenschaftliche Diskussion und Beschäftigung mit populären, emotionalen, auf Bild- und Filmmaterial gestützten Zugängen zur Geschichtsvermittlung und deren Anerkennung einen wichtigen und notwendigen Schritt auf dem Weg zu dieser integrativen Geschichtskultur darstellt.

Quellen und Literatur

- *Das Drama von Dresden* (aus der Reihe „Schauplätze der Geschichte“ von Guido Knopp) (2005, Regie: Sebastian DEHNHARDT, 89 min., Broadview TV)
- Ute FREVERT / Anne SCHMIDT, *Geschichte, Emotionen und visuelle Medien. Geschichte, Emotionen und die Macht der Bilder*, in: *Geschichte und Gesellschaft. Zeitschrift für Historische Sozialwissenschaft* 37 (2001), S. 5-25.
- Natascha JANHO / Julia WIRTH / Peter GORZOLLA, *Objektivität in der Geschichtsschreibung – revisited*, in: *13. Hessische Schülerakademie Oberstufe 2017 [. . .] Dokumentation*, hgg. v. Cynthia HOG-ANGELONI / Peter GORZOLLA / Gregor ANGELONI, Eiterfeld 2017, S. 91-92.

7.6 #holocaust – Emotionen jugendlicher Gedenkstätten Touristen

Alea Meyreiß, Judith Nauth-Siebert & Lisa Bodenröder

Geschichte ist überall – sie kann über das Geschichtsbewusstsein, in Erinnerungskultur und Geschichtskultur erfahrbar werden. Im Alltag findet bei den meisten Menschen jedoch keine bewusste Auseinandersetzung mit der Historie statt, nur wenige Personen suchen eine aktive Beschäftigung mit ihr. Einen möglichen Schlüssel zur Veränderung dieser Situation stellt die emotionale Nachempfindung vergangener Geschehnisse dar, bei der interessierte Laien einen Zugang zur Rekonstruktion und Vergegenwärtigung von Vergangenheit finden. Aleida Assmann und Juliane Brauer definieren in ihrem Artikel „Bilder, Gefühle, Erwartung – Über die emotionale Dimension von Gedenkstätten und den Umgang von Jugendlichen mit dem Holocaust“ die historische Imagination als einen „kognitiven Akt, welcher historische Zusammenhänge mit Personen, Handlungen oder Bedeutungen auffüllt, einer subjektiven und ethischen Bereitschaft folgt und sich mithilfe eines Fundus an bereits vorhandenem Wissen, Bildern und Einstellungen vollzieht“ (S. 79). Inwieweit dieser Ansatz Chancen und Herausforderungen zugleich beinhaltet, zeigt die diffizile Erinnerung an den Holocaust. Peter Weiss bezweifelt, dass die Kluft zwischen Vergangenheit und Gegenwart ein „subjektives Nachleben von Auschwitz aus der Perspektive der Opfer über vorhandene Spuren und sinnliche Reize“, also ein „empathisches Reimaginieren“ gelingen lässt (nach Assmann / Brauer 73). Ulrich Raulff und Jeffrey Alexander haben sich in diesem Zusammenhang auf die Rolle der Besucher*innen fokussiert, welche von Gedenkstätten oder deren medialer Repräsentation emotionale Dimensionen „einfordern“ würden (ebd. 74-75).

Eine herausragende Rolle kommt im Kontext der Rekonstruktion und Vergegenwärtigung von Vergangenheit den digitalen Medien zu, da sie unsere Wahrnehmungen von historischen Ereignissen beeinflussen. Im Zuge der Digitalisierung haben sich mehrere neuere Formate zur emotionalen Auseinandersetzung mit Geschichte herausgebildet, so beispielsweise über die allgemein zugängliche Videoplattform YouTube. Diese erlaubt Jugendlichen ab 13 Jahren, eigene Videos hochzuladen und zu kommentieren. In den letzten Jahren sind unzählige Arten von selbstproduzierten Videos entstanden, wobei wir uns im Speziellen mit dem Phänomen des Besuchervideos oder Vlogs von „Gedenkstätten Tourist*innen“ beschäftigen. Jugendliche „dokumentieren“ hierbei die bereisten Orte und dort geführte Gespräche mit Guides, Zeitzeug*innen, Mitschüler*innen und

anderen „Vergangenheitstourist*innen“. Die Videoprodukte zu privaten, emotionalen und „authentischen“ Momenten zeigen eine subjektive Auseinandersetzung mit der Vergangenheit und geben multiperspektivische Einblicke in die Erwartungshaltungen, Wahrnehmungsformen und Erfahrungsverarbeitungen der Schüler*innen. Somit erzeugen Jugendliche eine eigene Version von Geschichte, laden sie auf YouTube hoch und teilen sie in den sozialen Netzwerken. Auf diese Weise sind Videos zu einem wichtigen Instrument des „Erinnerns“, „Begreifens“ und „Bewahrens“ geworden – vor allem auch deshalb, weil es immer weniger Holocaust-Überlebende gibt, die von ihren Erfahrungen berichten können.

Im Gegensatz zur kommerziellen Distribution von Serien oder Filmen über den Holocaust wird auf YouTube kein Unterschied zwischen den Video-Produzent*innen gemacht. Demzufolge hat die Veröffentlichung einer/eines Wissenschaftler*in keinen höheren Wert als der Beitrag eines Laien, die Deutungshoheit liegt immer bei der Einzelperson. Wir haben im Kurs versucht, dieses Phänomen mittels eines „Bergschaubildes“ zu visualisieren, bei dem alle Beteiligten auf einem Hügel oder Berg stehen und die Möglichkeit haben, einerseits Geschichte zu produzieren und andererseits die Produkte Anderer wahrzunehmen. Je nach relativer Position des Einzelnen auf dem Hügel bestimmt sich, welche und wie viele andere Produkte man sehen und von wem man im Gegenzug wahrgenommen werden kann. Die demokratische Utopie einer Gesellschaft, in der die individuelle Freiheit besteht, uneingeschränkt Geschichte (als selbstständige Vergegenwärtigung von Vergangenheit) zu produzieren, scheitert also nicht unbedingt am Zugang zu den Produktionsmöglichkeiten, sondern eher an der Frage der gegenseitigen Wahrnehmung, an den einschränkenden Regeln des sozialen „Sehens“ und „Gesehen werdens“.

Trotzdem ist auch der uneingeschränkte Zugang zur Produktion von Geschichte nicht unproblematisch; hier müssen sowohl Chancen wie Herausforderungen dieser Handlungspraxis problematisiert werden. Positiv hervorzuheben ist, dass jeder Laie ohne bemerkenswerte historische und technische Vorkenntnisse Videos veröffentlichen kann, sodass es eine große Vielfalt selbiger gibt. Diese große Datenmenge liegt aber ungefiltert vor, und der qualitative Wert oder Mehrwert der Videos ist extrem unterschiedlich, da für *content-creators* das primäre Ziel häufig eine globale Reichweite ist (um Anerkennung oder finanzielle Gewinne o.ä. zu erzielen). Häufig genutzte Strategien, um viele Menschen zum Ansehen zu bewegen, sind *clickbaits* (die Nutzung auffälliger und bisweilen sensationalistischer Titel, z.B. „Emotionaler Besuch im KZ“) oder *thumbnails* (Titelbilder für Videos mit emotionaler Komponente). Außerdem ist festzustellen, dass Vereinfachung, Reduktion und Verständlichkeit das Erreichen vieler Menschen fördern, während differenzierte und detaillierte Aufarbeitungen leichter vernachlässigt werden. Zudem besteht bei YouTube leicht die Gefahr, dass Grenzen der Meinungsfreiheit überschritten werden. Da es sich aber um einen globalen Konzern handelt, ist dieser nur begrenzt nationalen Gesetzen unterworfen, und die Kriterien für das Löschen von Videos oder Sperren von Kanälen sind weder uneingeschränkt durchführbar noch transparent.

Während der Akademie haben wir emotionale YouTube-Videos von Jugendlichen zu Gedenkstättenbesuchen hinsichtlich der verschiedenen Aneignungsstrategien analysiert. Von uns untersucht wurden beispielsweise die verwendeten Tonspuren, die Kameraperspektive, der Dialog zwischen Besucher*innen und Konsument*innen sowie die vermittelten Inhalte. Anschließend haben wir aus den untersuchten Beiträgen einen eigenen Film zusammengeschnitten, der die Hauptaussagen

der Vlogger*innen überspitzt darstellte. Dadurch erhielten wir Einblicke in die Erwartungshaltungen, Wahrnehmungen und Verarbeitungsprozesse der verschiedenen Vlogger*innen zum Thema Holocaust, u.a. von Aysia Keahi, Silas Nacita und Heidi Somers. Der Aufbau unseres geschnittenen Videos entsprach der chronologischen Abfolge eines typischen „Travel with me“-Vlogs. Folglich wurden zu Beginn Sequenzen der Begrüßung eingespielt, dem folgten Ausschnitte zum ersten Betreten der Gedenkstätte. Im Weiteren wurden die Eindrücke innerhalb der Gedenkstätten dokumentiert, zum Schluss standen die verschiedenen Verabschiedungsformen der Vlogger*innen sowie deren Reflexion im Mittelpunkt. Das ausgewählte Datenmaterial wurde lediglich zusammengeschnitten, weitere Bearbeitungen wurden bewusst nicht vorgenommen, um Aspekte wie Tonspuren oder visuelle Effekte nicht zu verfremden. Lediglich der Vorspann beinhaltete einen gestalteten Verweis auf das im Internet bekannte Video „Dancing Auschwitz“, in dem ein 89-jähriger Auschwitz-Überlebender in der Gedenkstätte tanzt. Unter Beachtung der Repräsentativität und Authentizität haben wir uns bewusst dazu entschlossen, auch Videoszenen außerhalb der Gedenkstätte in unser Projekt einzubinden, die nichts mit dem Besuch zu tun hatten (z.B. der Besuch eines Supermarktes am Flughafen). In unserer Sitzung wurde das selbstgeschnittene Video dann als provokanter Input gezeigt. Im Anschluss simulierten wir mithilfe eines Ether-Pads eine Kommentardiskussion (ähnlich der Kommentarfunktion auf YouTube), bei der unsere Teilnehmer*innen das Video zeitgleich anonym reflektierten und bewerteten.

Das Datenmaterial, das wir für unser selbstgeschnittenes Video verwendet haben, war sehr unterschiedlich hinsichtlich seiner Aufmachung und seiner erlangten Reichweite auf YouTube. Während „Walking through Auschwitz“ von der US-Amerikanerin Heidi Somers aka Buffbunny schon fast 7,5 Millionen *views* und von über 120.000 Konsument*innen zu ca. 88 % positive Bewertungen aufwies, hatte Aysia Keahis Vlog „Dachau, Germany // Travel With Me“ gerade einmal 270 Klicks, wovon 12 *likes* und zwei *dislikes* waren. Somers hatte zudem laut eigener Aussage selbst die Kommentarfunktion unter ihrem Video abgeschaltet, da sich einige Leute respektlos gegenüber den Holocaustopfern geäußert hatten. Keahis Vlog präsentierte hingegen Kommentare, die eine anerkennende Reaktion hinsichtlich ihres Besuches zeigten. Doch nicht nur die Größe der *community* variierte, auch in anderen Bereichen innerhalb des „Genres“ der Besuchervideos gab es starke Differenzen. Da alle Videos individuell entstanden sind und eine eigene, teils sehr persönliche Sichtweise zeigen, gibt es massive Divergenzen in Ton, Inhalt, Kameraperspektiven und dem Dialog zwischen Autor und Adressat.

Abschließend lassen sich folgende Chancen und Herausforderungen von YouTube-Videos für die Geschichtskultur festhalten: Sie bieten die Möglichkeit, den jeweiligen „Zeitgeist“ zu erfassen, da sie als effektiver Spiegel aktueller Entwicklungen, Trends und Themen funktionieren. Diese Aktualisierungsfähigkeit im Zeitalter der Globalisierung stellt unseres Erachtens den wesentlichen Vorteil dieses Mediums dar. Gleichzeitig ist die Möglichkeit der Konservierung von Vorteil, ganz nach dem Motto: „was einmal im Internet landet, bleibt im Internet“. Indem YouTube gewissermaßen eine Video-Chronik von Ereignissen und Reaktionen darauf erstellt, ermöglicht es präzise Rückblicke. Darüber hinaus erlaubt die Plattform den Produzent*innen und Konsument*innen ein hohes Maß an Interaktivität und Partizipation. Ein Alleinstellungsmerkmal ist fraglos die Verschmelzung des Konsumenten und des Produzenten zum sog. *prosumer*. Demgegenüber stellt eine große Herausforderung dar, dass YouTube-Videos nur selten wissenschaftlichen Vorgaben entsprechen, ganz im Gegenteil erscheint die Produktion und Verbreitung von Fake News, po-

pulistischen Inhalten oder Propaganda kinderleicht. Auch wenn das Internet schon lange kein rechtsfreier Raum mehr ist, besteht z.B. im Kontext der Gedenkstättenvideos eine reale Gefahr für rassistische oder fremdenfeindliche Äußerungen. Regeln gegen den Missbrauch einer emotionalen Begegnung mit Geschichte gibt es in dieser Form noch nicht. Das lässt sich vielleicht am einfachsten daran erkennen, dass bei den meisten Vlogs zum Besuch einer Holocaust-Gedenkstätte nicht die Vertiefung und Verarbeitung von Geschichte im Vordergrund steht, sondern eine profitable Selbstinszenierung.

Unsere Bewertung der Chancen und Herausforderungen von Besuchervideos als emotionale Vermittler von Geschichte hat zu keinem eindeutigen Urteil geführt. YouTube und/oder andere Videoplattformen werden weiterbestehen und aufgrund technischer Fortschritte einen stetigen Wandel der digitalen Verarbeitung von Vergangenen hervorbringen. Die fortlaufende Präsenz des Mediums sollte langfristig auch stärker genutzt werden. Die Mehrheit der Laien-*prosumer* wird sich einem historischen Ereignis in der Regel nicht auf analytische Art und Weise annähern, sondern Geschichte zunächst unreflektiert rezipieren und produzieren. Im schulischen Kontext ist es jedoch möglich, YouTube-Videos aktiv einzusetzen, um neben der subjektiven eine angeleitete Auseinandersetzung zu ermöglichen. Ziel sollte es sein, den verschiedenen Narrativen der Produzent*innen analytisch zu begegnen, dadurch einen Kompetenzzuwachs im Umgang mit Geschichte zu erwerben und nicht zuletzt so eine eigene Haltung zu entwickeln. YouTube-Videos bieten Laien das Potential, die präsentierte und scheinbar gegebene Geschichte (im Idealfall: kritisch) zu hinterfragen. Dies gilt insbesondere in einer Zeit des erstarkenden Nationalismus, Rassismus und Revisionismus, der europaweit inzwischen keineswegs mehr nur von den gesellschaftlichen Rändern aus propagiert wird. Der Auseinandersetzung mit der Geschichte des Holocausts wird hierbei eine zentrale Rolle zukommen – und diese Auseinandersetzung wird in Zukunft immer stärker im digitalen Raum stattfinden. Wir sollten darauf vorbereitet sein.

Quellen und Literatur

- Aysia KEAHI, *Dachau, Germany // Travel With Me*, YouTube-Video (8.4.2016, 6 min.), <https://www.youtube.com/watch?v=GtAB7dqUGUE> [2.1.2019]
- Silas NACITA, *Americans First Visit To Reichsparteitagsgelände*, YouTube-Video (16.4.2016, 9 min.), <https://www.youtube.com/watch?v=mHJsyb0HcZY> [2.1.2019]
- Heidi SOMERS, *Walking Through Auschwitz | WARNING: Actual footage of entire camp*, YouTube-Video (20.4.2016, 14 min.), <https://www.youtube.com/watch?v=km0nS9l1KSQ> [2.1.2019]
- Aleida ASSMAN / Juliane BRAUER, *Bilder, Gefühle, Erwartungen. Über die emotionale Dimension von Gedenkstätten und den Umgang von Jugendlichen mit dem Holocaust*, in: *Geschichte und Gesellschaft. Zeitschrift für Historische Sozialwissenschaft* 37 (2011), S. 72-103.

8 Musisch-kulturelle Kurse

Im Sinne des ganzheitlichen Lernens und der umfassenden Förderung aller Begabungen des Menschen erhielten die Teilnehmer*innen der Schülerakademie 2018 die Gelegenheit, sich in zwei von zehn musisch-kulturellen Kursen auszuprobieren. Hier konnten natürlich die eigenen Hobbies und Stärken ausgespielt werden; wir empfehlen aber aktiv, etwas Neues auszuprobieren und Unbekanntes zu wagen. Wie das aussehen kann, wird im Folgenden aus einigen Kursen berichtet.

Kontratanz (Eva Lange, Torge Thiemann)

Wie in den Jahren zuvor gab es auch 2018 einen Kurs, dessen Teilnehmer*innen sich in Theorie und (viel) Praxis der Kunst des Kontratanzes gewidmet haben.

In entspannter Kursatmosphäre nutzten die Teilnehmer*innen nicht nur die zur Verfügung stehenden Innenräume der Burganlage, sondern auch das Burggelände selbst, um unter dem Einfluss verschiedener umweltlicher Eindrücke unterschiedliche Erfahrungen im Zusammenspiel von Tanzbewegung und differierender Instrumentierung machen zu können. Auf der Theorieebene lernten die Teilnehmer*innen die den Tänzen zugrundeliegende Notation sowie Grundlagen der Tanzinterpretation kennen; diese Kenntnisse ließ man schließlich auch in die eigene Tanzpraxis einfließen.

Als besonders eindrücklich wurde das harmonische Zusammenspiel von Tänzern und Musikern erlebt, nicht zuletzt auch deshalb, weil man die meisten Tänze mit „Gender-Switch“ (Männer und Frauen wechseln die jeweiligen Rollen) praktiziert hat.

Improvisationstheater (Volker Kehl, Gregor Angeloni)

Die Teilnehmer*innen des Improtheaters starteten ihre Zeit auf der Bühne mit verschiedenen, zum Teil recht eigentümlich anmutenden Vorübungen – z.B. Sprechübungen oder kleine Rollenspiele, Spiele, welche auf eine Interaktion mit einer größeren Menschenmenge abzielten („Save the President“) - die ein Gefühl für das eigene Standing und die Wirkung auf die Zuschauer*innen vermitteln sollten. Schon in den ersten Stunden begann man damit, zu unterschiedlichen Schlagworten bzw. Themen improvisierte Szenen zu spielen, was dann in der Folge immer weiter intensiviert und verfeinert wurde.

Instrumentalmusik (Rüdiger Kling)

Zum 2018er-Ensemble der Instrumentalmusik gehörten zwei Celli, ein Alt-Saxophon, eine Klarinette, eine Posaune, eine Trompete, ein Klavier sowie eine Geige. In dieser Zusammensetzung studierte man mit großem Eifer verschiedene Musikstücke ein, wobei das Repertoire Kontratanze, Geburtstags- und allgemeine bekannte Pop-Songs wie auch bekannte Filmmusik (Fluch der Karibik, Frozen) und ein klassisches Stück (Farandole von Bizet) umfasste. Im Zuge dessen lernten die Teilnehmer*innen auch einiges über die jeweils anderen Musikinstrumente sowie auch neue Inhalte aus der Musiktheorie kennen.

War es zu Beginn für die ein oder andere Teilnehmerin noch etwas ungewohnt, in einer Gruppe mit so vielen verschiedenen Instrumenten zu musizieren, harmonierte man rasch immer besser und die Freude am Musizieren in größerer Gruppe beflügelte die Teilnehmer*innen, sodass man im Verlauf der zwei Akademie-Wochen große Fortschritte im Zusammenspiel erzielte, was in einer überzeugenden Aufführung am Ende der Akademie gipfelte.

Chorwerkstatt (Andreas Mlynek)

Die Herausforderung, vor welche sich der Chor gestellt sah, bestand insbesondere darin, die unterschiedlichen Kenntnisse und Sangesfertigkeiten der Teilnehmer*innen zu einem harmonischen „Klangkörper“ zu formen. Diese Aufgabe haben die Sängerinnen und Sänger mit Bravour und viel Spaß am gemeinsamen Ausloten der Qualitäten und Wirkungen ihrer Stimmen gemeistert. Ein Highlight war sicherlich die auch mit der gesamten Schülerinnengruppe der Akademie einstudierte und am Abschlusstag der Veranstaltung vorgetragene Interpretation des Songs „Africa“ von Toto.

Ton-Film-Improvisation (Andreas Mlynek, Volker Kehl)

Eine Kombination aus improvisierter Musik und optischen Eindrücken, die eine Idee trefflich – und das heißt in diesem Falle, alle Sinne der Wahrnehmung ansprechend – zum Ausdruck bringen soll? Wie soll es möglich sein, so viele verschiedene Eindrücke zu einem in sich stimmigen Film zu vereinen? Das klingt schwierig und in der Tat war das die große Herausforderung, welcher sich die Gruppe „Impro-Film“ stellte.

Die Teilnehmer*innen konnten allerdings schnell feststellen, dass sich diese Probleme im Zuge des kreativen Erprobens verschiedener Instrumente bzw. synthetischer Klänge fast wie von selbst auflösten, sodass sich eine Untermalung filmischer Szenen fast wie von selbst ergab – mit sehr gelungenen Ergebnissen am Ende der Akademie.

Philosophie (Christian Müller)

Wie arbeitet ein Philosoph? Nun, er denkt nach und zwar über die verschiedensten Fragen und Probleme, die das Leben den Menschen aufgibt, wobei dieses Nachdenken allerdings nicht einfach nur ins Blaue hinein geschieht, sondern methodisch ausgerichtet, widerspruchsfrei und in sachlich korrekten Bahnen verlaufen sollte.

Mit einigen dieser Fragen und Probleme des (alltäglichen) Lebens befassten sich die Teilnehmer*innen des Philosophie-Kurses: Hat der Mensch irgendwelche moralischen Verpflichtungen gegenüber anderen Tieren? Besitzt der Mensch einen freien Willen oder ist sein Handeln kausal vollständig determiniert? Was bedeutet es eigentlich, als Mensch zu existieren? Welche Rolle spielt der Tod im menschlichen Leben?

Zu diesen Fragen gibt es natürlich viele verschiedene Antworten und unterschiedliche Methoden, um zu solchen Antworten zu gelangen. Das zeigte sich auch in den Diskussionen immer wieder, im Rahmen deren die Teilnehmer*innen die Tragfähigkeit ihrer eigenen Standpunkte sowie der Standpunkte der anderen ausloteten.

Am Ende ließ sich konstatieren, dass es in der Philosophie sehr viele Fragen, aber leider kaum einmal definitive Antworten gibt. Vielmehr ist ein Philosoph auf der steten Suche nach einem immer besseren Verständnis von sich und der Welt – und zu diesem Zwecke sind gute Fragen oft wichtiger als brillante Antworten.

9 Schüler*innen-Feedback

Was bleibt im Alltag von der Schülerakademie?

Die Hessische Schülerakademie bedient sich verschiedener interner Evaluationsinstrumente und Feedback-Kanäle. So findet z.B. bei den Nachtreffen der Oberstufenakademie im Januar eine Feedbackrunde statt, die von den Schüler*innen (oder manchmal gerade frischgebackenen Studierenden) eine Einschätzung aus dem aktuellen Alltag heraus erfragt. Die Antworten sind für uns immer wieder höchst aufschlussreich – aber lesen Sie selbst: Hier drucken wir einige repräsentative Aussagen (in Form von mitgeschriebenen Schlagworten) von der Feedbackrunde am 29.1.2019 in Bad Homburg ab. Die Frage war: **Was bleibt von der Akademie?**

Struktur

- Strukturiertheit und Ordnung, erworben in der Kursarbeit und beim Schreiben der Doku
- eine neue Art von Teamarbeit: echte Projektarbeit, nicht nur Gruppenarbeit
- sich eine Struktur selbständig zu erarbeiten, mit dem Ziel, das eigene Wissen weiterzugeben
- Disziplin (durch 7-Uhr-Aufstehen an jedem Morgen) und Ausdauer (für größere Projekte über einen längeren Zeitraum)

Wissen

- fachliches Wissen und ein enormer Wissensvorsprung für die Schule
- praktisch nützlich Wissen (wie z.B. Programmierkenntnisse)
- die Fähigkeit, Dinge kritisch zu hinterfragen statt das Vorgetragene einfach zu akzeptieren

Kommunikative Kompetenz

- eine bessere Kommunikationsfähigkeit, v.a. bei Referaten und beim Schreiben
- eine selbstbewusstere Körpersprache und größere Vortragskompetenz
- wirklich über Inhalte reden dürfen: „es gibt keinen Smalltalk auf der HSAKA“

Offenheit

- erfahren, dass man offener und kontaktfreudiger geworden ist
- ein erweiterter Horizont, weil man mit so vielen Leuten mit unterschiedlichen Interessen und Standpunkten zusammenkommt und so lernt, dass es immer mehr als eine Weltsicht gibt
- erfahren, dass jeder aus sich herauskommen kann, weil auf der Akademie keine Zurückhaltung nötig ist, weil man so vielen offenen Menschen begegnet

Kontakte

- erfahren, dass es viel mehr offene und interessierte Menschen gibt, als man sonst erlebt
- neue Kontakte mit Menschen, die ähnliche Interessen haben oder Projekte machen
- neue Freunde und Bekannte, die man auch jetzt noch wiedertrifft

Interessen

- bisherige Interessen haben sich verstärkt, neue Interessen wurden geweckt
- erkannt, wie wichtig das (aktive wie passive) Interesse für andere Fächer und Inhalte ist
- vielfältige Angebote (Improtheater, Naturkunde, Jugger, Volleyball, Brettspiele) wecken Interesse
- mehr Inspiration, mehr Weitsicht!

Selbstbewusstsein

- mehr Selbstbewusstsein und Sicherheit: weil Leistung auf der Akademie anerkannt und gefördert wird, weil man immer akzeptiert und nie jemand ausgeschlossen wird
- mehr Selbstbewusstsein durch (und für) Präsentationen
- mehr Selbstbewusstsein durch Selbständigkeit und Verantwortungsübernahme

10 Teilnehmende

Fachkursleitung und musisch-kulturelles Angebot

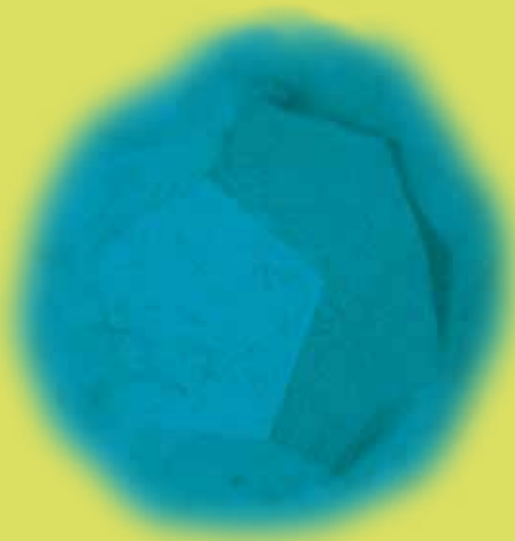
| | | |
|--------------|-----------|--|
| Angeloni | Gregor | Leitungsassistentz & Englisches Theater |
| Aßmus | Wolf | Physik & Naturkunde |
| Dick | Alexander | Fotografie |
| Gerspach | Maxim | Mathematik |
| Gorzolla | Peter | Akademieleitung & Geschichte |
| Hog-Angeloni | Cynthia | Akademieleitung & Mathematik |
| Höllthaler | Birthe | Informatik & Digitale Malerei |
| Jones | Jesse | stud. Betreuer Physik & Englisches Theater |
| Kehl | Volker | Improvisationstheater & Ton-Film Improvisation |
| Kling | Rüdiger | Leitungsassistentz & Instrumentalmusik |
| Lange | Eva | Kontratanz |
| Mäntele | Werner | Physik |
| Mlynek | Andreas | Chor & Ton-Film Improvisation |
| Müller | Christian | Philosophie |
| Schiffner | Daniel | Informatik |
| Strauss | Leon | Informatik |
| Thiemann | Torge | Kontratanz |
| Walter | Annika | Englisches Theater |

Studentisches Team in den Fachkursen

| | | | | | |
|------------|----------|------------|-------------------|---------|------------|
| Bach | Lea | Mathematik | Kumpitsch | Theresa | Mathematik |
| Bodenröder | Lisa | Geschichte | Mehler | Ina | Geschichte |
| Ebert | Benedikt | Informatik | Müller | Nicolas | Mathematik |
| Ellwanger | Jonas | Mathematik | Payman Parast | Arwin | Geschichte |
| Fotakis | Jan | Physik | Rocha de Oliveira | Tatiana | Geschichte |
| Güdelhöfer | Hannes | Informatik | Wiegand | Hilmar | Informatik |
| Hestermann | Helena | Geschichte | Wiegand | Max | Mathematik |
| Holz | Mischa | Informatik | | | |

Schülerinnen und Schüler

| Geschichte | | Informatik | | Mathematik | | Physik | |
|---------------|------------|------------|-----------|-------------|-----------|----------|----------|
| Damrath | Julia | Belter | Insa | Aly | Malak | Dierlamm | Emma |
| Drescher | Moritz | Chen | Tobias | Braun | Jonas | Erlemann | Karl |
| Grimm | Emma | Cornelius | Johannes | Breitenbach | Lizanne | Fluck | Benjamin |
| Janho | Natascha | Decker | Elisabeth | Casás Rama | Isabel | Henning | Jan |
| Meyreiß | Alea N. S. | Friedrich | Justus T. | Corbaz | Hannah | Lohfink | Thalia |
| Michel | Moritz | Goedeking | Lea | Greilich | Julia | Mettlach | Ricarda |
| Nauth-Siebert | Judith | Kirschmann | Noah | Isheim | L. Amanda | Mohamed | Nora |
| Puttler | Anouk | Marquardt | Alexandra | Korbmacher | Marie | Schmidt | Johanna |
| Tischer | Samuel | Paul | Jessica | Pohlmann | Per A. | Seiffert | Philipp |
| Weiland | Antonia | Schwarz | Theresa | Teschler | Stella | Teschler | Svetlana |



Wir danken unseren Förderern

HESSEN



Hessisches
Kultusministerium

HESSEN



Hessische
Lehrkräfteakademie



GOETHE
UNIVERSITÄT
FRANKFURT AM MAIN

 **BURG
FÜRSTENECK**