Ars Memoriae

Kunst des Erinnerns – Kunst des Vergessens
Perspektiven aus Mathematik & Informatik



Das Romseminar 2015

Arbeitsgemeinschaft Funktionalanalysis
Eberhard Karls Universität Tübingen

&

Funktionalanalysis und Philosophie der Mathematik
Universität Siegen

&

DreMatrix Gruppe der Fakultät Informatik/Mathematik
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Organisation:

Britta Dorn	<britta.dorn@idbm.de>
Markus Haase	<m.h.a.haase@tudelft.nl>
Michael Korey	<michael.korey@skd.museum>
Rainer Nagel	<rana@fa.uni-tuebingen.de>
Gregor Nickel	<nickel@mathematik.uni-siegen.de>
Martin Rathgeb	<rathgeb@mathematik.uni-siegen.de>
Markus Wacker	<wacker@informatik.htw-dresden.de>

Redaktion:

Gregor Giesen	<grgi@fa.uni-tuebingen.de>

Internet:

http://www.romseminar.de

Inhaltsverzeichnis

1 Mnemotechniken **1**
Miriam Güntner

2 Ars Memoriae – Die Neurophysiologie des Gedächtnis **5**
Christiane Halder, Corinna Lorenz

3 Zwei Philosophien: Mann gegen Frau, Antike gegen Renaissance **17**
Suellen Dutra Pereira, Tobias Dorweiler

4 Kreative Zufallsprozesse: Markov-Ketten und Gedächtnis **21**
Felix Holzwarth, Mark Sinzger

5 Ich vergesse nichts – das Savant-Syndrom **29**
Lydia Wache, Evelyn Zinnatova

6 Die Riemansche Vermutung – Erinnern und Vergessen **39**
Nina Schumann

7 Darf ich mich erinnern?
– Biographien aus einem politisch schwierigen System **45**
Matthias Seifert

8 Giordano Bruno
– Ein Virtuose okkulter Gedächtniskunst in der Renaissance **57**
Tobias Dorweiler

9 Mechanische Rechenhilfen – Vorläufer der Computertechnik **65**
Matthias Nowara

10 Das Gedächtnis neuronaler Netze **73**
Janosch Döcker

Vorwort

Erinnerung ist eine Form der Begegnung,
Vergesslichkeit eine Form der Freiheit.

Khalil Gibran (1883–1931)

Erinnern und Vergessen sind zentrale Momente menschlicher Kultur. Ohne einen bewahrenden, systematisierenden und wertenden Bezug auf die Vergangenheit wäre eine gesellschaftliche, aber auch eine persönliche Orientierung unmöglich. Es ist daher nicht verwunderlich, dass Individuen wie Gesellschaften mit großem Aufwand dafür sorgen, dass wichtige Ereignisse und prägende Erfahrungen oder Erkenntnisse erinnert werden. Nur im Ausnahmefall ist dies eine getreue Wiederholung des Vergangenen, viel öfter aber eine wertende Rekonstruktion. Das Vergessen spielt dabei nicht nur eine Rolle als „Defekt", sondern ermöglicht überhaupt erst die Konzentration auf das „Wesentliche". Die Sicht der Disziplinen Informatik und Mathematik zeigt dabei spezielle Aspekte der Thematik:

- Wie bezieht sich die Mathematik als Disziplin auf ihre mehr als 6000-jährige Geschichte, wie die vergleichsweise junge Informatik? Wie und woran erinnert man sich, was geriet in Vergessenheit?
- Welche Rolle spielt die Geschichte der Mathematik und Informatik für die derzeitige Allgemeinbildung?
- Wie funktionieren diverse Mnemotechniken, welche Bedeutung hatten sie im Laufe ihrer Geschichte?
- Wie sieht eine mathematisch formalisierte Beschreibung von Gedächtnis und Vergessen aus?
- Wie diskutieren Neurophysiologie und Medizin das Phänomen des menschlichen Gedächtnisses?
- Welche Rolle spielen Speichertechniken und -medien im Wandel der Zeit?
- Wie verändern Techniken der Datenspeicherung und Übermittlung (Internet) die moderne Gesellschaft? Was bedeutet ein neuerdings eingeklagtes „Recht auf Vergessen"?

Im Jahr 2015 wurde das Romseminar bereits zum neunten Mal in Kooperation der Hochschulen in Dresden, Siegen und Tübingen veranstaltet. Der vorliegende Band enthält die schriftliche Ausarbeitung eines Teiles der im Romseminar 2015 gehaltenen studentischen Vorträge und repräsentiert so die Vielfalt der Themen.

Ein vielseitiges Begleitprogramm an sonst nicht zugänglichen Orten in Rom — der Ewigen Stadt, die sich in stetem Wechsel an bestimmte Kapitel ihrer Vergangenheit erinnert und andere absichtlich oder unabsichtlich vergisst — bereicherte dieses 18. Romseminar. Ein herzlicher Dank gilt Frau Prof. Dr. Veronica Biermann für ihre vor-Ort-Übung als Schule des Sehens in der Baugeschichte des Palazzo Corsini sowie für ihren kunsthistorischen Gastvortrag mit einem Einblick in jüngste Forschungserkenntnisse. Julia Trolp danken wir herzlich für die Führung durch Geschichte und Gegenwart der Deutschen Kunstakademie Villa Massimo. Herr Dr. Adalbert Roth hat uns in der Biblioteca Apostolica Vaticana durch einen besonders eindrucksvollen Ort des Erinnerns geführt, wofür wir ihm herzlich danken. Unser Dank gilt auch Frau Dr. Susanne Kubersky-Piredda für ihre interessante Führung durch die Bibliotheca Hertziana (Max-Planck-Institut für Kunstgeschichte).

Das Romseminar durfte auch im Jahr 2015 die bewährte Gastfreundschaft römischer Institutionen genießen und auch auf diese Weise verschiedene Facetten der Stadt erkunden. Im einzelnen gilt unser herzlicher Dank der *Deutschen Kunstakademie Villa Massimo*, dem *Istituto Italiano di Studi Germanici (Villa Sciarra)*, der *Bibliotheca Hertzinana* und vor allem der traditionsreichen *Accademia Nazionale dei Lincei*.

Für die finanzielle Unterstützung danken wir schließlich dem DAAD, der Universität Siegen, dem Forum Scientiarum und dem Mathematischen Institut Tübingen sowie dem Akademischen Auslandsamt und der Fakultät Informatik der HTW Dresden.

Rainer Nagel
Universität Tübingen

Gregor Nickel
Universität Siegen

Markus Haase
TU Delft

Britta Dorn
Universität Tübingen

Markus Wacker
HTW Dresden

Michael Korey
Staatliche Kunstsammlungen Dresden

Martin Rathgeb
Universität Siegen

Programm

Sonntag, 22. Februar 2015 – Il Rosario

21^{00} Markus Wacker
Vortrag zum Vortragen

Montag, 23. Februar 2015 – Accademia dei Lincei / Baffetto

9^{30} Begrüßung, Vorstellungsrunde

10^{30} Miriam Güntner
Vergissmeinnicht – wie macht man das?

11^{30} Claudia Bergmann
In den Kopf und wieder zurück - die Mittel der Werbung

13^{30} Corinna Lorenz, Christiane Halder
Die Neurophysiologie des Gedächtnisses oder warum Fische vergesslich machen

15^{00} Suellen Dutra Pereira
Euklid und die Axiomatisierung der Geometrie als kulturelle und mathematische Mnemotechnik

16^{30} Oliver Frost
Das vergessene Pantheon

18^{00} Cena da ‚Baffetto'

Dienstag, 24. Februar 2015 – Accademia dei Lincei

9^{00} Mark Sinzger, Felix Holzwarth
Woran erinnern sich Zufallsprozesse und warum fördern Kekse das Gedächtnis?

10^{30} Lydia Wache, Evelyn Zinnatova
Ich vergesse nichts – das Savant-Syndrom

13^{00} Steve Fiedler
Vergiss es! – medizinische Methoden für das Vergessen

14^{00} Moritz Häussler
Das Ende des Vergessens

Mittwoch, 25. Februar 2015 – Accademia dei Lincei / Palazzo Riario / Il Rosario

9^{00} Sebastian Haupt
Steinige Erinnerung

10^{00} Matthias Seifert
Darf ich mich erinnern? – Biografien aus einem politisch schwierigen System

11^{00} Tobias Dorweiler
Giordano Bruno – Ein Virtuose okkulter Gedächtniskunst in der Renaissance

13^{00} Matthias Nowara
Mechanische Rechenhilfen – Vorläufer der Computertechnik

14^{00} Nina Schumann
Erinnern und Vergessen – die Riemannsche Vermutung

15^{00} Veronica Biermann
Dem Gedächtnis der Kunstgeschichte entfallen. Königin Christina im Palazzo Riario (Palazzo Corsini)

20^{00} Eine Literarische Soirée
Markus Haase, Gregor Nickel, Markus Wacker
Nicht zu vergessen

Donnerstag, 26. Februar 2015 – Villa Massimo / Biblioteca Apostolica Vaticana

9^{30} Julia Trolp
Führung durch die Villa Massimo

10^{30} Michael Wegner
Aus den Augen, aus dem Sinn – vom vergessenen Vergessenen

11^{30} Veronica Biermann (Gastvortrag)
Rekonstruktion des Vergessenen.
Königin Christina und Gian
Lorenzo Bernini im Palazzo Riario

14^{00} *Kleine und große Kunst*
Andrea Ghosh (Moderation)

17^{00} Führung durch die *Biblioteca Apostolica Vaticana*

Freitag, 27. Februar 2015 – Villa Sciarra / Petrusgrab

9^{30} Janosch Döcker
Das Gedächtnis neuronaler Netze

11^{00} Abschlussgespräch

15^{00} Führung Petrusgrab

20^{00} Cena sociale *Trattoria Moderna*

Samstag, 28. Februar 2015 – Biblioteca Hertziana

10^{00} Dr. Susanne Kubersky-Piredda
Die Biblioteca Hertziana

Mnemotechniken

Miriam Güntner

1.1 Einleitung



Dass man sich an wichtige Dinge oft nicht mehr erinnern kann, kennt jeder. Sei es die Einkaufsliste, eine Telefonnummer oder Namen, die nicht mehr einfallen wollen. Um sich das und noch viel kompliziertere Dinge merken zu können, gibt es sogenannte Mnemotechniken. Viele davon werden tagtäglich unbewusst benutzt, wie zum Beispiel Eselsbrücken oder Merksätze.

1.2 Definition

Die Mnemotechnik ist eine Lern- und Merktechnik, mit der Information mit Hilfe von Merkhilfen leichter auswendig gelernt und länger behalten werden kann. Dabei wird ausgenutzt, dass sich das Gedächtnis ähnlich wie ein Muskel trainieren lässt. Um sich Sätze mithilfe von Reimen, Bildern, Grafiken besser einprägen zu können, werden Merkhilfen benutzt, während komplexere Systeme zum Einsatz kommen für Listen mit tausenden Wörtern, lange Zahlenreihen oder auch ganzen Büchern.

Geschichte

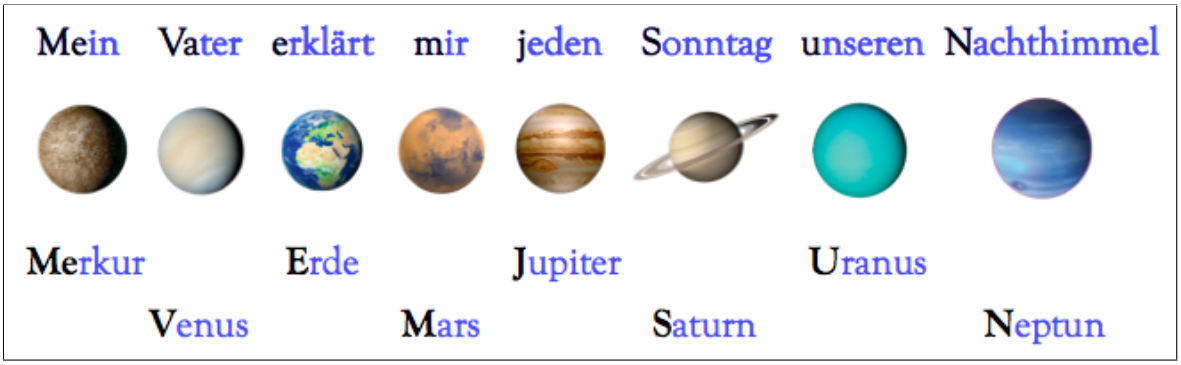
Die Mnemotechnik hat eine lange Geschichte. Schon die Redner des antiken Griechenlands und Roms sollen sich oftmals mnemotechnischer Mittel bedient haben. Eine wichtige Grundlage ist die Gedächtniskunst der Antike (ars memoria). Als Erfinder der Methode gilt der griechische Dichter Simonides (ca. 556–486 v. Chr.) [NS98].

1.3 Methoden

Das Gebiet der Mnemotechnik ist riesig; hier wird nur ein kleiner Einblick gegeben:

1.3.1 Merksatz

Als einfaches Beispiel zuerst der Merksatz, den jeder aus dem eigenen Alltag kennt. Merksätze werden genutzt, um sich mehrere Inhalte in einem Satz zu merken.



Bsp.: Planeten unseres Sonnensystems geordnet nach Abstand zur Sonne

1.3.2 Loci-Technik

Die Loci-Technik ist die älteste und auch bekannteste Mnemotechnik, die bereits von den Römern genutzt wurde. Sie benötigt wenig Aufwand und wird benutzt, wenn man sich eine Abfolge von Dingen genau merken muss. Die Loci-Technik wird auch Wegtechnik genannt und, was daran liegt, dass ihre Grundidee darin besteht, sich einen Weg vorzustellt, den man entlang geht und die Dinge, die man sich merken möchte, dort ablegt. Dafür kann man sich zum Beispiel den täglich zu absolvierenden Arbeitsweg oder auch einen Weg durch die eigene Wohnung oder ähnliches wählen. Unterkategorien sind z. B.:

Der Gedächtnispalast. Er besteht aus einem Gebäude mit vielen Räumen, in dem man gedanklich Dinge ablegen kann

Die Körperkiste. Dabei wird der eigene Körper benutzt, um sich etwas in einer bestimmten Reihenfolge zu merken. Dabei werden so viele Körperteile wie möglich von Fuß bis Kopf oder umgekehrt benutzt.

Beispiel: Die letzten 10 US-Präsidenten

Dazu überlegt man sich eine Geschichte, in der die gewünschten Namen mit einem Körperteil verknüpft werden.

Fuß: Man stellt sich an seinem Fuß einen Schuh mit Eisenkappe vor, die auf den Boden haut und kommt so auf Präsident Eisenhower.

Knie: Man stellt sich ein Männchen auf dem Knie vor, das einen frech schwäbisch fragt: „Kenn I di?“. Das erinnert natürlich an Präsident Kennedy.

Hosentasche: In der Hosentasche hat das Männchen eine CD hinterlassen. Diese CD stammt von den Beatles und hat auf dem Cover ein Bild von John Lennon, was man sofort mit Präsident Johnson verknüpft.

Hüfte: Zu der tollen Musik der CD wird freudig getanzt und natürlich im Takt die Hüfte geschwungen. Dabei stellt man sich eine tolle Nixe vor und kommt so auf Präsident Nixon.

Bauch: Ebenfalls im Takt düst ein Auto wie auf einer Rennbahn um den eigenen Bauchnabel. Und von welcher Marke ist das Auto? Natürlich von der die den gleichen Namen trägt wie Präsident Ford.

Brust: Aufgeschreckt vom Motorenlärm, krallt sich ein Kater schmerzhaft in die Brust, was uns an Präsident Carter denken lässt.

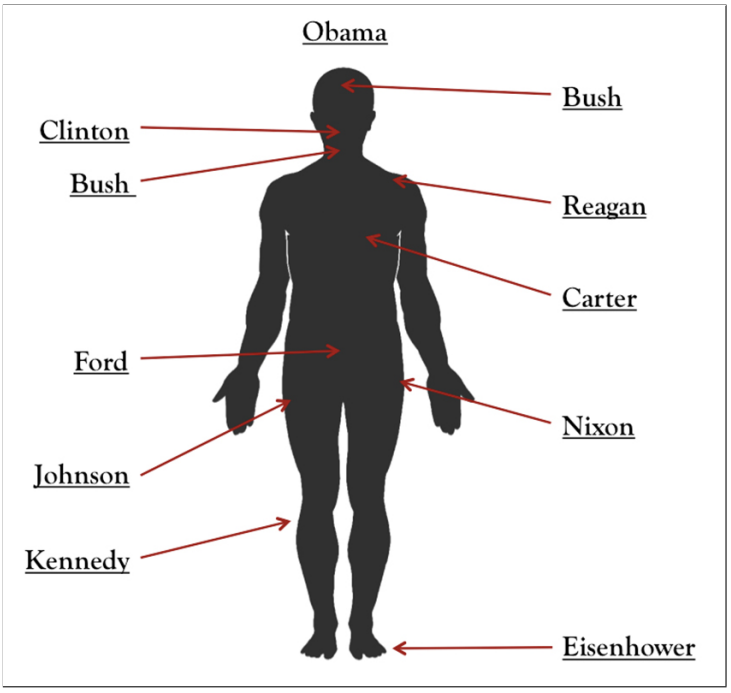
Schulter: Der Kater lässt plötzlich los. Den Grund dafür sieht man auf der Schulter, auf der man deutlich den Regen beobachten kann. – Präsident Reagan

Kinn: Während dieser langen Geschichte kann man sich bildlich vorstellen, wie schon ein Bart zu einem richtigen Busch gewachsen ist und da man Bärte eher mit älteren Männern verbindet, erinnert man sich an Präsident Bush Senior.

Mund: Rote Lippen erinnern instinktiv an die von Monica Lewinski und dadurch an Präsident Clinton.

Haare: Neben dem Bart sind auch schon auf dem Kopf die Haare ganz buschig. Es bleibt nur noch Bush Junior übrig.

Damit ist die Präsidenten-Körperkiste perfekt:



1.3.3 Zahlen

Es gibt zwei bekannte Zahlen-Systeme:

Major System. Das Major-System, auch Mastersystem genannt, basiert auf Zuordnung von Konsonanten zu Ziffern und Wörtern zu Zahlen. Man kann sich damit durch Bilden einer Geschichte eine lange Zahl mit vielen Kommastellen, wie z. B. viele Kommastellen von Pi, merken.

Zahl-Symbol-System. Dabei wird jeder Ziffer ein bestimmtes Symbol zugeordnet, wobei die Symbole durch ihre Form an die Ziffer erinnern. Um sich kürzere Zahlen wie z. B. PINs, Telefonnummern und Jahreszahlen merken zu können, bildet man aus diesen Symbolen eine kurze Geschichte.

1.4 Gedächtnisprinzipien



Es gibt verschiedene Gedächtnisprinzipien, die man beachten sollte, um sich die ausgedachten Geschichten besser merken zu können. Dabei ist es wichtig, dass die Geschichte einem Handlungsstrang folgt und am besten alle benutzten Elemente miteinander verknüpft sind und ineinander greifen. Dadurch wird vermieden, dass man einzelne Elemente vergisst. Ebenfalls wichtig ist, dass die Geschichte so phantasievoll wie möglich gestaltet ist. Es sollten so viel Action, Blut und unrealistische, ausgefallene Details wie möglich eingebracht werden. Und schließlich sollten auch viele persönliche Emotionen verknüpft werden, die an eigene Erfahrungen und Erlebnisse erinnern.

Literatur

[NS98] NORDKÄMPER-SCHLEICHER, ULRIKE: *Besser behalten. Mnemotechniken beim Sprachenlernen am Beispiel „Deutsch als Fremdsprache" für Erwachsene*. Doktorarbeit, Pädagogische Hochschule Freiburg, 1998.

[Ose15] OSENBERG, BENJAMIN: *Lösungen für Lernprobleme*, abgerufen am 10. April 2015. `http://www.lern-training.net/mnemotechnik.html`.

[Sva98] SVANTESSON, INGEMAR: *Mind Mapping und Gedächtnistraining*. Gabal Verlag, Offenbach, 1998.

[Zmi15] ZMIJA, MARKUS: *zettworks! Mind Mapping, Mnemotechnik und Selbstmanagement*, abgerufen am 10. April 2015. `http://www.zmija.de`.

Ars Memoriae
Die Neurophysiologie des Gedächtnis

Christiane Halder, Corinna Lorenz



Die Fähigkeit sich an Vergangenes zu erinnern ist von zentraler Bedeutung für uns Menschen. Es ist „[...] der Kleister, der die Persönlichkeit zusammenhält“ (Eric Kandel). Wie aber funktioniert das Gedächtnis? Dieser Frage wird vor allem in der Neurowissenschaft intensiv nachgegangen. Die Arbeit auf zellulärer und molekularer Ebene hat in den letzten Jahrzehnten Meilensteine in der Forschung gesetzt. Trotzdem müssen die Erkenntnisse mit Bedacht auf ihre Aussagekraft beurteilt werden.

2.1 Die Entwicklung der Hirnforschung

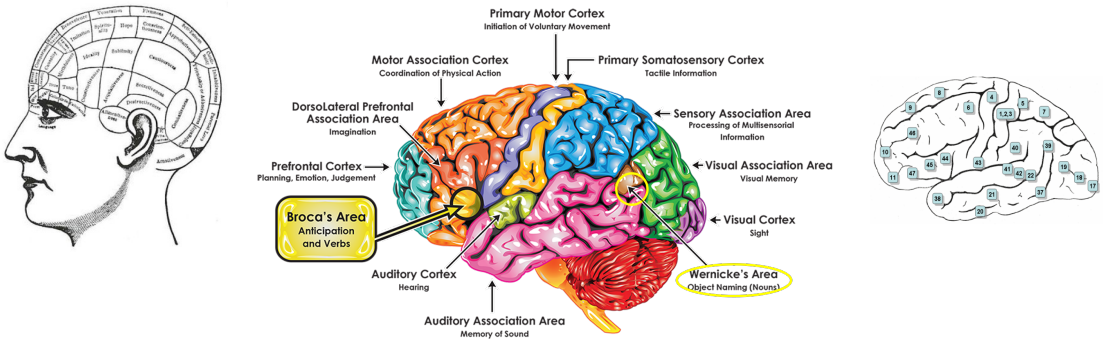
Antike und Mittelalter Schon seit Menschengedenken besteht ein großes Interesse am Gehirn und dessen Funktion. So zeigen Funde von Schädeln, dass schon vor 5000 Jahren in Ägypten neurochirurgische Eingriffe durchgeführt wurden. Obwohl die ältesten bekannten Medizinschriften von anatomischen Kenntnissen über das Gehirn berichten [Bre30], gingen die Ägypter davon aus, dass das Herz der Sitz der kognitiven Leistungen und der Seele sei. Auch Aristoteles (384–322 v. Chr.) war davon überzeugt, dass das Gehirn das Kühlorgan sei und die Intelligenz dem Herz entspringt [Sch07]. Allerdings setzte sich Aristoteles auch mit dem Gedächtnis auseinander und folgerte, dass zwischen dem Teil, der für Informationen, die für kurze Zeit behalten werden, und einem zweiten Teil, der für den Abruf von länger zurückliegenden Ereignissen zuständig ist, unterschieden werden muss.

Im Gegensatz dazu beschrieb Alkmaion ca. 500 v. Chr. zum ersten Mal sensorische Nerven, wie beispielsweise den Sehnerv und Hippokrates enttarnte die Epilepsie, die damals als göttliche Krankheit bezeichnet wurde, als eine Krankheit des Gehirns und ordnete Intelligenz und kognitive Fähigkeiten dem Gehirn zu [Oes09]. Dies änderte jedoch nichts an der allgemeinen Überzeugung, dass das Herz der Ursprung aller menschlichen Charakteristika sei. Nach Galens Ansicht (129–216 n. Chr.) war das Hirn ein Speicherort für die von ihm als *pneumua psychikon* bezeichnete Flüssigkeit, die Sinneswahrnehmungen zum Gehirn transportiert und Muskelpartien aktiviert [Oes09]. Während die Wissenschaft im Europa des Mittelalters in einen Winterschlaf verfiel, waren die byzantinische und arabische Kultur auf dem Vormarsch und gewannen viele Erkenntnisse über die Funktion des Auges, der Optik und neurologische Erkrankungen.

Neuzeit Mit Beginn der Renaissance und der Entdeckung des Lichtmikroskops wurden neue Erkenntnisse über den Aufbau der Nervenzellen gewonnen. Luigi Galvani bewies als erster experimentell, dass die Nerven elektrische Impulse weiterleiten. Die Vorstellung, dass der menschliche Organismus elektrische Ströme erzeugt, schien zu diesem Zeitpunkt unvorstellbar. Erst nach der Wiederholung der Experimente 1850 mit Hilfe von Messapparaturen durch Hermann Helmholtz [Cah93] wurde die Theorie der Nervenweiterleitung akzeptiert und man kam von den veralteten Theorien ab.

Mit dem Verständnis für die Gehirnfunktionen kamen auch Versuche auf, diese bestimmten Hirnarealen zuzuordnen. Franz Joseph Gall (1758–1828), Begründer der Phrenologie, stellte die Theorie auf, dass jedem menschlichen Charakterzug eine mehr oder minder stark ausgeprägten Gehirnregion zugeordnet werden kann, die sich in der Anordnung der Schädelknochen widerspiegelt. Durch diese Einteilung in 35 Gebiete (Abb. 2.1a) könne die Persönlichkeit jedes Menschen durch Vermessung des Schädels bestimmt werden.

Paul Broca beschrieb 1861 einen Schlaganfallpatienten, der zwar in der Lage war, Sprache zu verstehen, selbst aber nicht mehr als das Wort „Tan“ sagen konnte (motorische Aphasie). Die Autopsie zeigte eine Läsion in einem Areal der linken Gehirnhälfte, die für die Produktion der Sprache verantwortlich ist (Broca-Areal). Einige Jahre später veröffentlichte Carl Wernicke ein Werk über einen Patienten, der



(a) (b) (c)

Abbildung 2.1: Anatomische Hirneinteilungen. (a) Charaktereigenschaften und -lokation nach Gall.[1] (b) Areale der Sprachproduktion (Broca) und -verarbeitung (Wernicke).[2] (c) Brodmann Areale.[3]

nach einem Schlaganfall zwar keine Probleme hatte, Worte und Sätze zu formulieren, jedoch machten diese keinen Sinn, eine sogenannte sensorische Aphasie. Post mortem wurde bei diesem Patienten eine Läsion im linken sensorischen Kortex gefunden, die man heute Wernicke Areal nennt (Abb. 2.1b).

Korbinian Brodmann (1868–1918) untersuchte jeden Teil der menschlichen Hirnrinde unter dem Mikroskop und stellte fest, dass es insgesamt 52 unterschiedliche Region gibt, die sich in Zellanordnung und Aufbau unterscheiden (Abb. 2.1c). Diese Einteilung wurde mit leichten Änderungen bis heute beibehalten.

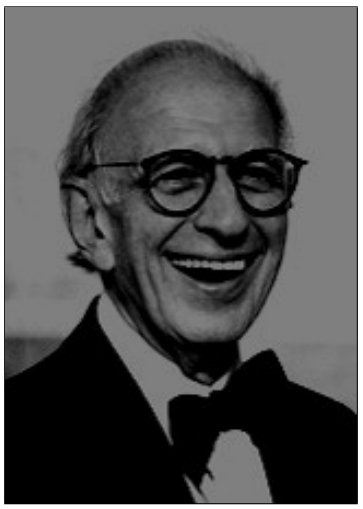


Abbildung 2.2: Erik R. Kandel, Nobelpreisträger.[4]

Im Laufe der Zeit gewann man immer mehr Einblicke in die Wirkungsweise von Gehirn und Nervenzellen, und die elektrische und chemische Zellkommunikation ist heute überall akzeptiert. Die Annahme der Lokalisation des Gehirns wird hingegen immer noch diskutiert. Man geht davon aus, dass einfache motorische und sensorische Funktionen lokalisiert sind, jedoch höhere kognitive Funktionen stark miteinander vernetzt sind und nicht einem einzelnen Gehirnareal zugeordnet werden können (Netzwerktheorie). Das alles löst aber nicht die Frage nach dem Gedächtnis. Dieser Forschungszweig konnte, obwohl schon viel darüber geschrieben und philosophiert wurde, erst mit neuen Methoden der Nervenreizung und Signalableitung voran getrieben werden. Einer der Vorreiter auf diesem Gebiet, Eric Kandel,

[1] http://www.futura-sciences.com/magazines/sante/infos/dossiers/d/medecine-decouverte-cerveau-travers-ages-507/page/5/

[2] http://medianegotiator.net/broca/

[3] http://de.wikipedia.org/wiki/Brodmann-Areal

[4] http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2000/kandel-bio.html

legte dazu grundlegende Arbeiten vor.

1929 in Wien geboren, emigrierten er und seine Familie später aufgrund des vorherrschenden Antisemitismus in die Vereinigten Staaten. Während seines Medizinstudiums an der New York University begann er sich immer mehr für die biologischen Vorgänge im Gehirn zu interessieren. Ursprünglich durch die Arbeiten von FREUD und anderen Psychiatern/Psychologen inspiriert, kam er so zu der Neurobiologie und zur Erforschung einfacher Lernmechanismen, die letztendlich der Grundbaustein jeglicher Erinnerung sind. Für seine herausragenden Entdeckungen in der Signaltransduktion im Nervensystem wurden ihm, PAUL GREENGARD und ARVID CARLSSON 2000 der Nobelpreis für Physiologie und Medizin verliehen [Kan06].

2.2 Grundprinzipien neuronaler Aktivität

Das Gehirn ist das komplexeste, am meisten untersuchte und dennoch am wenigsten verstandene menschliche Organ. Es besteht aus ca. 100 Milliarden Nervenzellen, auch Neuronen genannt, die durch ihre Lokalisation, ihren Aufbau und ihre Verknüpfungen bestimmte Funktionen ausüben.

Die klassische Nervenzelle (Abb. 2.3) besitzt einen Dendritenbaum, einen Zellkörper (Soma), ein Axon und am Ende die Boutons mit den Synapsen [BCP09]. Die Besonderheit der Nervenzelle ist es, elektrische Impulse, sogenannte Aktionspotentiale, zu generieren und diese über das Axon entlang weiterzuleiten. Dies geschieht mit Hilfe von spannungsgesteuerten Ionenkanälen in der Zellmembran. Diese öffnen sich nach dem Alles-oder-nichts-Prinzip, sobald eine bestimmte Reizschwelle überschritten ist. Die dadurch erzeugten Spannungsveränderungen bewirken eine Öffnung der benachbarten spannungsabhängigen Ionenkanäle und der Reiz wird so bis zur Synapse fortgeleitet [PAF+12]. In der Synapse der Nervenzelle (Präsynapse) wird dieses Aktionspotential in ein chemisches Signal, in Form von Neurotransmittern, umgewandelt, um die Information zur nächsten Nervenzelle (Postsynapse) zu übertragen. Dort binden die Neurotransmitter an spezifische Rezeptoren an, die die Auslösung eines neuen elektrischen Impulses, eines sogenannten exzitatorischen postsynaptischen Potentials, bewirken [PAF+12]. Jeder Neurotransmitter besitzt einen für dieses Molekül spezifischen Rezeptor. Hierbei ist nicht die Intensität des Reizes, sondern die Impulsfrequenz für die Reaktion am Zielort entscheidend.

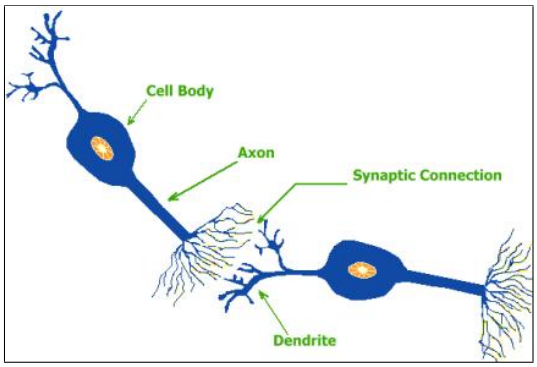


Abbildung 2.3: Klassischer Aufbau einer Nervenzelle.[5]

Durch dieses Zusammenspiel der Nervenzellen werden Sinneseindrücke integriert, interpretiert und Verhaltensreaktionen generiert. Das Gehirn ist damit das Organ, das uns zu kognitiven Höchstleistungen befähigt und auch der Ort, an dem sich das Gedächtnis befindet.

[5] http://intelligentsolutionsinc.com/Technology/AITheory/AI1-NNet.shtml

2.3 Was kann unser Gehirn tatsächlich lernen?

2.3.1 Das Gehirn ist plastisch

Lange Zeit gingen Neurowissenschaftler davon aus, dass das Gehirn nach Abschluss der Entwicklungsphase ein unflexibles Gebilde aus Nervenzellen sei, das nicht in der Lage ist, neue Verbindungen auszubilden. Auch wenn der Mechanismus noch nicht vollständig verstanden ist, weiß man heute, dass für das lebenslange Erlernen neuer Fähigkeiten, das Bilden neuer Erinnerungen und bedingt auch bei Verletzungen eine gewisse Plastizität in bestimmten Teilen des Gehirns erforderlich ist. Unter neuronaler Plastizität versteht man, dass sich für einen bestimmten Zeitraum entweder neue Verbindungen zwischen Nervenzellen ausbilden, vorhandene durch Veränderung der Synapsenoberfläche verstärkt oder vermindert werden oder auch nicht mehr benötigte Verbindungen abgebaut werden können (Abb. 2.4).

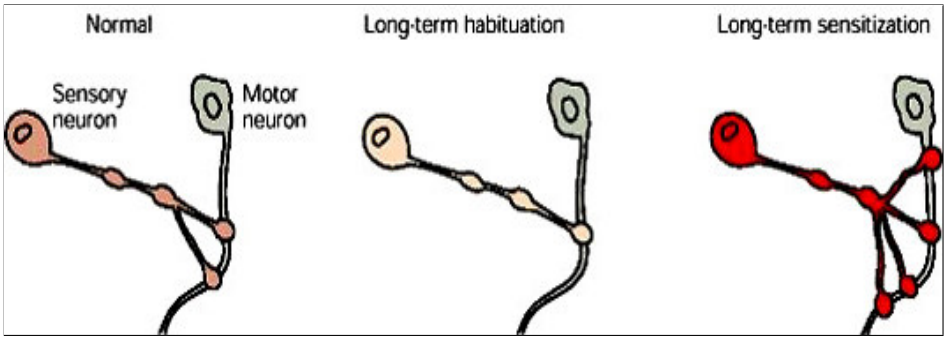


Abbildung 2.4: Einfache nicht-assoziative Lernprozesse können in Veränderungen der synaptischen Verschaltungen resultieren. Während der Langzeithabituation (Mitte) findet eine Gewöhnung an den Reiz statt, und es kommt zum Abbau von Synapsen. Bei der Langzeitsensitivierung (rechts) werden die involvierten Nervenzellen in einen stark erregten Zustand versetzt, der unterschiedliche Signalkaskaden auslöst, und es kommt zu einer Stärkung der bereits vorhandenen Synapsen. [KSJ+12]

2.3.2 Einfache assoziative und nicht-assoziative Lernprozess

Den entscheidenden Schritt, um Lern- und Gedächtnisprozesse auf zellulärer und molekularer Ebene verstehen zu können, machte Erik Kandel (Abb. 2.2) und seine Arbeitsgruppe in den 60er und 70er Jahren. Er versuchte die Komplexität des menschlichen Gehirns und deren viele neuronalen Verschaltungen auf ein Tiermodell zu reduzieren, das wenige, große Nervenzellen und einfach zu testende Reflexkreise besitzt. Dabei stieß er auf die Aplysia Californica (Abb. 2.5), den kalifornischen Seehasen. Anhand dieser konnte er bislang nur auf psychologischer Ebene beschriebene

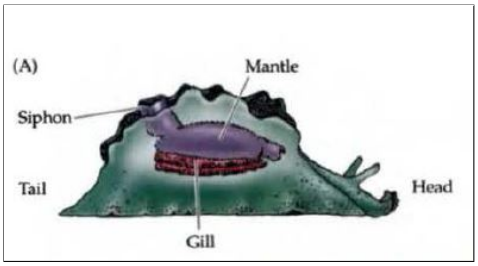


Abbildung 2.5: Tierdiagramm der Aplysia Californica. [PAF+12]

einfache Lernprozesse wie Sensitivierung, Habituation und Konditionierung auf die zelluläre und molekulare Ebene übertragen.

Habituation Die Aplysia Californica besitzt auf ihrem Rücken ein Siphon. Wird dieses durch eine leichte Berührung gereizt (sensorisches Neuron), reagiert es darauf mit einem Zusammenziehen der Kiemen (motorisches Neuron) (Abb. 2.6). Bei der ersten Berührung zieht das Tier die Kiemen stark zusammen, berührt man das Siphon allerdings mehrmals hintereinander, wird die Reaktion mit zunehmender Zeit immer schwächer. Damit kann gezeigt werden, dass das Tier sich daran gewöhnt hat oder anders ausgedrückt, es hat gelernt, dass dieser Reiz ungefährlich ist. Auf zellulärer Ebene sieht man eine reduzierte Neurotransmitterfreisetzung im sensorischen Neuron, was auf molekularer Ebene durch eine Inaktivierung von Kalziumkanälen, die für die Freisetzung der Neurotransmitter verantwortlich sind, verursacht wird. Dies resultiert in einem reduzierten postsynaptischen Potential im motorischen Neuron. Wiederholt man diese Prozedur über mehrere Tage, kann man auch langfristig einen Abbau von Synapsen beobachten (Abb. 2.4).

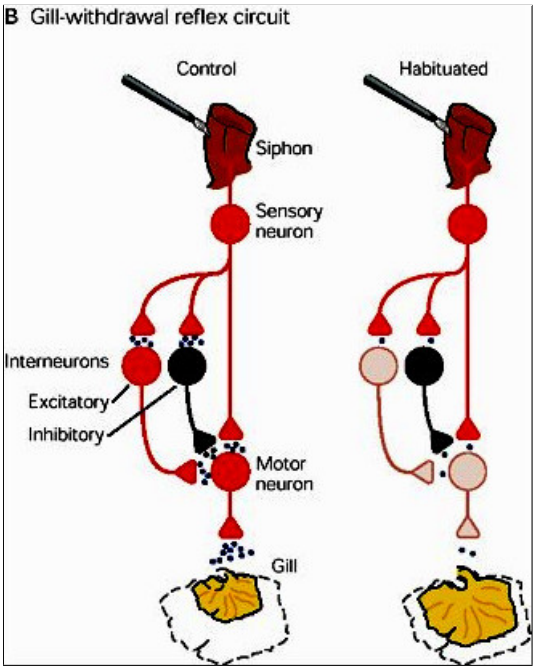


Abbildung 2.6: Der zelluläre Mechanismus der Habituation in der Aplysia Californica. Dieser schematische Reflexkreis zeigt oben das stimulierte Siphon. Der Reiz wird vom sensorischen Neuron auf das Motorneuron übertragen, und es kommt zum Zusammenziehen der Kiemen (Kontrolle). Nach mehrfacher Wiederholung des Vorgangs sieht man eine reduzierte Neurotransmitterausschüttung (blaue Punkte), wodurch die Impulsfrequenz im Motorneuron sinkt und die Kiemen sich weniger stark zusammenziehen. [KSJ+12]

Sensitivierung Einen weiteren nicht-assoziativen Lernprozess, den Kandel nachweisen konnten, ist die Sensitivierung. Dieser Effekt dient dazu, einen potentiell gefährlichen Reiz aus einer Vielzahl meist harmloser Reize herauszufiltern. Die Aplysia wird sensitiviert, indem man initial einen leichten Stromstoß am Schwanz des Tieres verabreicht. Hierbei wird ein zweites sensorisches Neuron (SN2) aktiviert, deren Information über ein sogenanntes Interneuron mit dem ersten sensorischen Neuron (SN1), das die Information vom Siphon weiterleitet, vereint. Das Tier reagiert nach dem Erschrecken auch nach wiederholter Berührung des Siphons für mehrere Stunden mit einem deutlich stärkeren Kiemenrückzug als ohne Stromstoß. Auf

zellulärer Ebene sieht man, dass das Interneuron, das vom SN2 erregt wird, die Information vom SN1 kurzzeitig verstärkt und eine erhöhte Neurotransmitterausschüttung bewirkt (Abb. 2.7).

Dadurch wird eine erhöhte Impulsfrequenz im postsynaptischen Motorneuron ausgelöst und es kommt zu einer verstärkten Kontraktion der Kiemenmuskeln. Auf molekularer Ebene ist dieser Prozess dadurch zu erklären, dass die Verstärkung des Signals im SN1 durch das zeitgleiche Zusammentreffen des Reizes vom SN2 eine Kaskade in der Synapse der SN1 in Gang setzt, die zusätzliche Kalziumkanäle öffnet, wodurch vermehrt Neurotransmitter freigesetzt werden. Wird dieser Versuch mehrfach wiederholt, lassen sich die molekularen Prozesse über Tage bis Wochen nachweisen. Es kommt bei dieser sehr einfachen Form des impliziten Langzeitgedächtnisses zusätzlich zu einer Aktivierung bestimmter Gene (CREB-Familie), die unter anderem die Ausbildung neuer Synapsen zur Folge haben [KS82, MSK98].

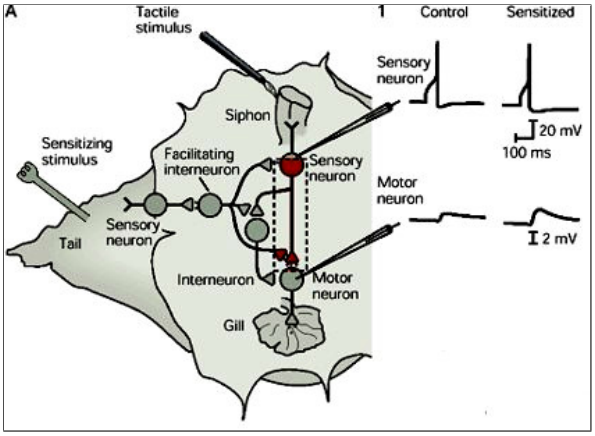


Abbildung 2.7: Sensitivierung bei der Aplysia Californica. Das erste sensorische Neuron leitet die Information über die Berührung vom Siphon weiter zum Motorneuron. Das zweite sensorische Neuron wird initial durch einen kleinen Stromstoß gereizt und gibt diese Information über ein Interneuron an das erste sensorische Neuron weiter (beide Synapsen hier rot dargestellt). Dadurch wird das Signal vom Siphon verstärkt und löst im Motorneuron eine deutlich erhöhte Reaktion in Form des Kiemenrückzuges aus. [KSJ+12]

Konditionierung Der komplexeste assoziative Lernprozess ist die Konditionierung. Der Versuchsaufbau ist dem der Sensitivierung sehr ähnlich, der einzige Unterschied ist, dass hier bei jedem Durchgang erst das Siphon berührt (CS) wird und kurz darauf ein kleiner Elektrostoß im Schwanz der Aplysia (US) verabreicht wird. Bei diesem Prozess lernt das Tier, die beiden eigentlich unabhängigen Reize miteinander zu verknüpfen. Nach wenigen Wiederholungen erwartet die Aplysia bei jeder Berührung des Siphons einen Stromstoß und zeigt daraufhin die gleiche Reaktion wie bei der kombinierten Reizung. Auch auf zellulärer und molekularer Ebene sind die Prozesse sehr ähnlich zu der Sensitivierung, allerdings laufen hier noch komplexere Signaltransduktionskaskaden ab, die eine stärkere und länger anhaltende Reaktion zur Folge haben [MSK98].

Mit diesen Versuchen konnten Erik Kandel und seine Mitarbeiter zeigen, dass einfache Lernprozesse bei Modelltieren auch molekulare Veränderungen hervorrufen. Abhängig von der Anzahl der Wiederholungen des Versuches zeigten die involvierten Nervenzellen für den Lernprozess spezifischen molekulare Reaktionen, deren Auswirkungen unterschiedlich lange anhalten. Mittlerweile kann man anhand der bisher entdeckten spezifischen intrazellulären Reaktionsmuster sagen, dass es mehrere Abstufungen zwischen Kurzzeit- und Langzeitspeicher geben muss [Squ13].

2.4 Das Gedächtnis sitzt in der Synapse

Die Frage, die sich nun stellt, ist, inwieweit lassen sich diese Lernprozesse auch auf höhere Individuen übertragen?

Die Grundlage dazu schafften TIM BLISS und TERJE LØMO. Sie konnten 1973 als erste in Hasengehirnen zeigen, dass die starke Reizung eines Neurons im Hippocampus eine Verstärkung des weitergeleiteten Impulses im nachgeschalteten Neuron bewirkt. Abhängig von der Frequenz des Reizes hielt diese Potenzierung unterschiedlich lange an [BL73]. In den folgenden vier Jahrzehnten konzentrierten sich viele Gedächtnisforscher auf den Mechanismus der Langzeitpotenzierung (LTP), der heute weitestgehend verstanden ist.

Betrachtet man die Postsynapse einer Verschaltung im Hippocampus, findet man hier zwei unterschiedliche Rezeptorarten, die beide den Neurotransmitter Glutamat binden. Wird Glutamat von der Präsynapse aufgrund eines dort ankommenden Aktionspotentials ausgeschüttet, reagieren die AMPA-Rezeptoren mit der Öffnung von Ionenkanälen und lösen damit ein einfaches Aktionspotential in der Postsynapse aus, leiten also die Information unverändert weiter. Der NMDA-Rezeptor jedoch ist bei solch einem normalen Reiz blockiert und öffnet sich erst, wenn mehrere Reize unmittelbar hintereinander eintreffen und eine große Menge des Neurotransmitters freigesetzt wird. Dieser Rezeptor setzt daraufhin eine komplexe Signalkaskade in Gang. Hält diese Reizung nur kurz an, werden Proteine hergestellt, die zum einen zusätzliche AMPA-Rezeptoren generieren und zum anderen durch positive Rückkopplung die Ausschüttung von weiterem Glutamat an der Präsynapse verstärken. Dieser Effekt wird „frühes LTP“ genannt. Ist die Stimulation der involvierten Nervenzellen allerdings sehr stark, hält dieser Zustand in der Synapse länger an, und es kommt in einer späteren Phase des LTPs zu einer Aktivierung von weiteren Proteinen, die zum Zellkern wandern und dort Gene der sogenannten CREB-Familie aktivieren, die eine Veränderung der Synapsen zur Folge haben. Es werden neue Verknüpfungen zu den bereits bestehenden gebildet, um diese zu stärken [JAH03, PK03, KSJ+12].

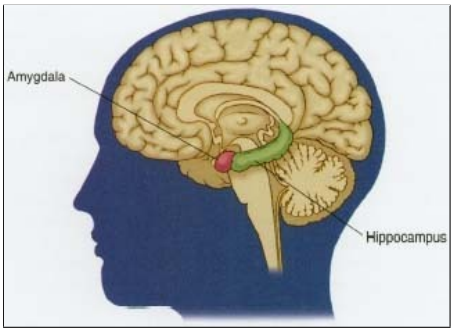


Abbildung 2.8: Hippocampus im menschlischen Gehirn.[6]

Diese Erkenntnisse zeigen, dass sich auch bei Säugetieren die Nervenzellen nachhaltig durch Lernen verändern. Allerdings lieferten Experimente an Tieren, bei denen versucht wurde, LTP durch Hemmung der Rezeptoren zu unterdrücken, kontroverse Ergebnisse. Hier waren die untersuchten Tiere häufig in der Lage, trotzdem neue Erinnerungen zu bilden, auch über einen längeren Zeitraum [NCB08]. Dennoch spricht vieles dafür, dass der Hippocampus eine entscheidende Rolle beim Übergang einer Erinnerung vom Kurzzeit- ins Langzeitgedächtnis spielt, wie weiter unten genauer erläutert wird. Zusätzlich bestätigen funktionelle MRT Studien die Aktivität des Hippocampus bei der Bildung neuer Gedächtnisspuren.

Dies zeigt, dass man durchaus nachweisen kann, dass unser Gehirn plastisch ist

[6] http://www.hormonesmatter.com/hormones-hysterectomy-and-the-hippocampus/

und die Fähigkeit besitzt zu lernen, jedoch bleibt weiterhin die Frage offen, ob die gefundenen Mechanismen alleine unser Gedächtnis modulieren.

2.5 Jedes Gedächtnis hat seinen Platz

Trotz all der genannten experimentellen Evidenz, müssen wir zugeben, dass der Mensch sich nicht auf simple Reiz-Reaktions-Muster reduzieren lässt. Wir zeichnen uns durch ein komplexes und facettenreiches Verhalten aus. Wir erinnern uns an Fakten und haben ein sogenanntes Allgemeinwissen, das wir ganz bewusst gelernt haben. Genauso können wir Episoden aus dem eigenen Leben detailgetreu beschreiben: den Kindergeburtstag, den ersten Schultag, die Führerscheinprüfung oder etwas ganz Banales. Solche Erinnerungen zählt man zum expliziten Gedächtnis. Ihre wichtigste Eigenschaft ist, dass sie verbal geäußert werden können. Das implizite Gedächtnis hingegen umfasst motorische Fähigkeiten und klassischen Angstreaktionen, die nur durch deren tatsächliche Ausführung sichtbar werden.

Diese Mechanismen lassen sich nicht durch Verhalten einzelner Zellen erklären. Aufgrund von bildgebenden Verfahren und der Arbeit mit Läsionspatienten konnten Forscher allerdings feststellen, dass die verschiedenen Gedächtnisarten in unterschiedlichen Hirnarealen lokalisiert sind [MSK98]. Durch Patienten wie H.M. (siehe unten) konnte eine anatomische Einteilung des Gehirns erarbeitet werden (Abb. 2.1b). Das Ergebnis ist, dass Gedächtnisinhalte ihrer Funktion nach angeordnet sind. So befindet sich das Wissen über motorische Abläufe in den Basalganglien. Das sind Strukturen, die hauptsächlich bei der Ausführung von Bewegung aktiv sind. Erinnerungen an Ereignisse in der eigenen Vergangenheit wurde im mittleren Temporallappen, d. h. dem seitlichen, unteren Teil des Großhirns, lokalisiert. Dieser Bereich wird sonst mit der semantischen Verarbeitung und Wiedererkennung von Objekten in Zusammenhang gebracht. Somit sind die Inhalte dort, wo auch andere ähnliche Informationen verarbeitet werden (Abb. 2.9). Das Problem bei Untersuchungen von Läsionspatienten ist jedoch, dass die Ergebnisse weniger Aussagekraft haben als kontrollierte Laborstudien. Um die Ergebnisse zu replizieren und dennoch die nötige Generalisierbarbeit zu erlangen, weicht man auf nicht-invasive, bildgebende Verfahren und Tiermodelle aus. Doch auch hier gibt es Kritik. Obwohl Tierversuche erheblich zum heutigen Wissensstand beitragen, bleibt oft ungeklärt, in wie weit der Erkenntnistransfer von Tier auf Mensch gerechtfertigt ist. Vielmehr stellt sich die allgemeine Frage, was die Einschränkungen von heutigen Experimenten überhaupt an Aussagen zulassen. Im Labor geht man fast ausschließlich auf kurzfristige Zusammenhänge zwischen Ursache und Wirkung ein. Eigentlich kann die Neurowissenschaft dadurch nur proximative Fragen beantworten. Die ultimativen Fragen, wie evolutionäres Aufkommen und ontogenetische Prägung, werden umgangen. Auch ist es der Gedächtnisforschung nicht möglich, auf individueller Ebene persönliche Vorhersagen zu treffen. Vor allem die plastische Veränderung der Hirnstruktur sorgt dafür, dass jedes Gehirn anders und individuell ist.

Trotz umfassender Forschung in den letzten Jahrzehnten bleiben daher noch viele offene Fragen zum Gedächtnis. Auch das Zusammenwirken von Sprache, Bewusstsein oder Aufmerksamkeit ist noch wenig verstanden. Hier gilt es, Erkenntnisse in einen

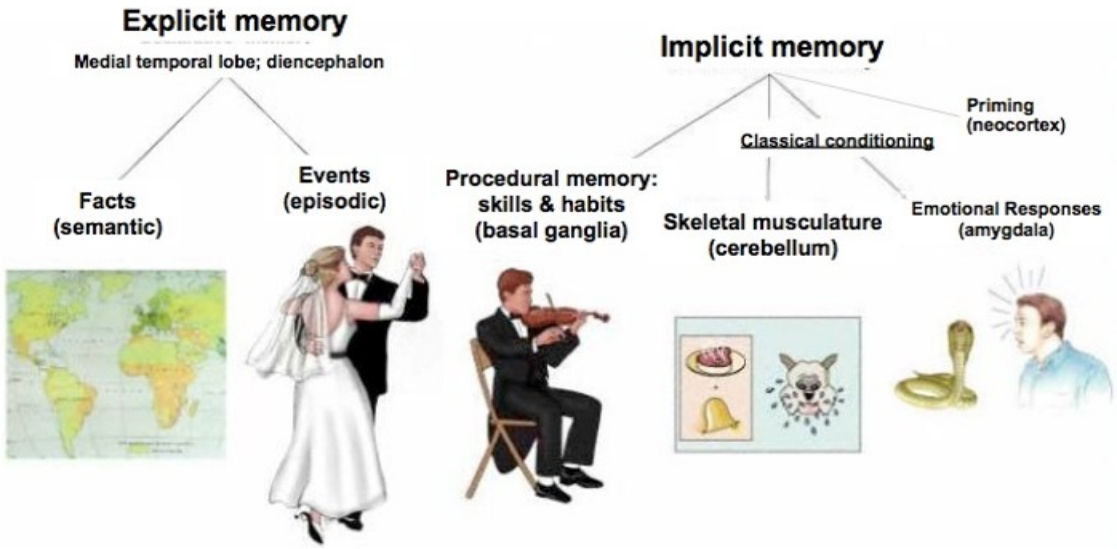


Abbildung 2.9: Das Gedächtnis ist seiner Funktion nach angeordnet. Die Unterscheidung zwischen explizitem und implizitem Gedächtnis zeigt sich auch in der anatomischen Anordnung der verarbeitenden Areale. [BCP09]

größeren Zusammenhang zu bringen und mit dem ganzheitlichen, komplexen Leben eines Menschen zu verbinden. Es bleibt also spannend.

2.6 Der Läsionspatient H.M.

HENRY GUSTAV MOLAISON, besser bekannt als H.M., ist in der Geschichte der Gedächtnisforschung einer der wichtigsten Patienten. Er wurde von seinem 27. Lebensjahr bis zu seinem Tod ständig von Forscherteams untersucht und die Ergebnisse gehören zu den am meisten zitierten neurowissenschaftlichen Texten weltweit.



Abbildung 2.10: HENRY MOLAISON, 1953.[7]

H.M. wurde 1926 in Hartford, Connecticut, USA, als gesunder Junge geboren, hatte allerdings im Alter von 7 Jahren einen Fahrradunfall, bei dem er sich vermutlich eine Hirnverletzung zuzog. Infolgedessen litt H.M. fortan unter epileptischen Anfällen, die zunächst medikamentös gut einstellbar waren. Ab dem Alter von 16 Jahren wurden seine Anfälle jedoch stärker und mit 27 Jahren entschied sich H.M. für eine im Jahre 1953 sehr experimentelle Operation. Man ging damals davon aus, dass seine Epilepsie ihren Ursprung in den medialen Temporallappen hat und die beste Lösung schien, dieses Gehirnareal in beiden Gehirnhemisphären großzügig zu entfernen.

[7] http://en.wikipedia.org/wiki/Memory_consolidation
[8] http://editthis.info/psy3241/H.M._(patient)

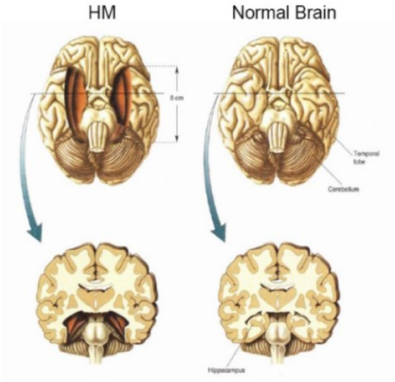


Abbildung 2.11: Gehirn mit (rechts) und ohne Temporallappen.[8]

Dieses Areal enthält den Hippocampus, die Amygdala, den Mandelkern und den entorhinalen Kortex, von denen man heute weiß, dass diese Strukturen mit dem Gedächtnis assoziiert sind. Nach der OP war H.M. weitestgehend anfallsfrei, allerdings wies er Veränderungen in seiner Persönlichkeit auf. Nach der Operation waren die Intelligenz, die Wahrnehmung und die Sprache unbeeinträchtigt, wogegen seine Persönlichkeit sehr flach wurde.

Er zeigte direkt nach dem Eingriff eine mäßig ausgeprägte retrograde Amnesie, also ein Gedächtnisverlust, der den Zugriff auf Erinnerungen vor der OP für einen Zeitraum von 10 Jahren verhinderte. Jedoch konnte er sich an Erlebnisse aus seiner Kindheit uneingeschränkt erinnern. Dies zeigte, dass es unterschiedliche Stufen des expliziten Gedächtnisses geben muss, die in unterschiedlichen Regionen des Gehirns gespeichert werden.

Desweiteren litt H.M. unter einer stark ausgeprägten anterograden Amnesie. Dies bedeutet, dass er nicht mehr in der Lage war, neue Erinnerungen zu bilden, was ihn somit zu einem hilflosen, unstrukturierten Menschen machte. Er konnte Dinge im Gedächtnis behalten, solange er diese aktiv wiederholte, vergaß sie aber schlagartig, sobald man ihn unterbrach. Dies spricht dafür, dass sein Arbeitsgedächtnis noch intakt war, die Fähigkeit Erinnerungen vom Kurzzeitgedächtnis ins Langzeitgedächtnis zu überführen (Konsolidierung), war verloren gegangen.

H.M. war auch nach der Operation noch in der Lage, neue motorische Fähigkeiten zu lernen. So konnte er beispielsweise Spiegelzeichnen lernen, vergaß jedoch, dass er diese Fertigkeit besaß und war jedes Mal überrascht, wie gut er dies konnte. Daraus konnte gefolgert werden, dass das implizite und explizite Gedächtnis in unterschiedlichen Gehirnarealen liegen müssen [MSK98].

Anhand der detaillierten Untersuchung des Patienten konnte gezeigt werden, dass der Hippocampus eine zentrale Rolle in der Konsolidierung der Erinnerung spielt. Weiterhin ist der mediale Temporallappen für einen begrenzten Zeitraum entscheidend für den Aufruf konsolidierter Erinnerungen. Zudem müssen die Kindheitserinnerungen außerhalb des Temporallappen in Netzwerken liegen. Der Patient H.M. war bis zu seinem Tod nicht in der Lage, ein selbstständiges Leben zu führen und wurde über Jahre hinweg von der Psychologin Brenda Milner begleitet. Dennoch beschrieben ihn seine Begleiter als eine humorvolle und freundliche Person. Für H.M. war es ein Trost, dass sein Schicksal Wissenschaftlern helfen konnte [BCP09, MSK98, PAF+12].

Literatur

[BCP09] Bear, Mark F., Barry W. Connors und Michael A. Paradiso: *Neurowissenschaft. Ein grundlegenedes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie*. Spektrum Akademischer Verlag, 3. Auflage, 2009.

[BL73] Bliss, Tim V.P. und Terje Lømo: *Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following stimulation of the perforant path*. The Journal of Physiology, **232**(2):331–356, 1973.

[Bre30] Breasted, James H.: *The Edwin Smith Surgical Papyrus*. University of Chicago Press, 1930.

[Cah93] Cahan, David: *Hermann von Helmholtz and the foundations of nineteenth-century science*. University of California Press, 1993.

[JAH03] Johnston, Michael V., Lily Alemi und Karen H. Harum: *Learning, memory, and transcription factors*. Pediatric Research, **53**(3):369–374, 2003.

[Kan06] Kandel, Eric R.: *Auf der Suche nach dem Gedächtnis*. Siedler Verlag, München, 2006.

[KS82] Kandel, Eric R. und James H. Schwartz: *Molecular biology of learning: modulation of transmitter release*. Science, **218**(4571):433–443, 1982.

[KSJ+12] Kandel, Eric R., James H. Schwartz, Thomas M. Jessell et al.: *Principles of Neural Science*. McGraw-Hill Verlag, 5. Auflage, 2012.

[MSK98] Milner, Brenda, Larry R. Squire und Eric R. Kandel: *Cognitive neuroscience and the study of memory*. Neuron, **20**(3):445–468, 1998.

[NCB08] Neves, Guilherme, Sam F. Cooke und Tim V.P. Bliss: *Synaptic plasticity, memory and the hippocampus: a neural network approach to causality.* Nature Reviews Neuroscience, **9**(1):65–75, 2008.

[Oes09] Oeser, Erhard: *Geschichte der Hirnforschung: Von der Antike bis zur Gegenwart*. 2. Auflage, 2009.

[PAF+12] Purves, Dale, George J. Augustine, David Fitzpatrick, William C. Hall, Anthony-Samuel Lamantia und Leonard E. White: *Neuroscience*. Macmillan Education, 5. Auflage, 2012.

[PK03] Pittenger, Christopher und Eric R. Kandel: *In search of general mechanisms for long-lasting plasticity: Aplysia and the hippocampus.* Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences, **358**(1432):757–763, 2003.

[Sch07] Schupp, Franz: *Geschichte der Philosophie im Überblick: Band 2: Christliche Antike und Mittelalter*. Meiner Verlag, 2007.

[Squ13] Squire, Larry R: *Fundamental Neuroscience*. Academic Press, 2013.

Zwei Philosophien: Mann gegen Frau, Antike gegen Renaissance

Suellen Dutra Pereira, Tobias Dorweiler



Ein gewöhnlicher Donnerstag bricht in der Weltstadt Rom am 17. Februar 1600 an. Die Märkte füllen sich bereits in den frühen Morgenstunden und der Handel floriert. Doch der Campo de'Fiori füllt sich nicht wie gewohnt mit Blumenhändlern, die den Römern die farbenfrohesten Blumen anbieten, sondern mit unzähligen Menschen. Unter ihnen befinden sich 50 der 61 Kardinäle, die sich alle um einen Scheiterhaufen versammeln. Kurz vor 8 Uhr erscheinen römische Soldaten, die einen etwas kleineren Mann in Mönchskutte auf den Scheiterhaufen führen und festbinden. Es ist nicht genau zu sehen, aber es scheint, als hätten Sie ihm die Zunge festgebunden, damit er nicht mehr zu den Menschen sprechen könne. Doch wer ist dieser Mensch, dessen Hinrichtung fast die gesamte Kurie versammelt?

Die römische Zeitung *Avisi di Roma* wird am darauffolgenden Samstag berichten:

> „Am Donnerstagmorgen wurde auf dem Campo di Fiore jener verbrecherische Dominikanerbruder aus Nola lebendig verbrannt [...]: ein sehr hartnäckiger Ketzer, der nach seiner Laune verschiedene Dogmen gegen unseren Glauben ersonnen hat [...]. Dieser Bösewicht wollte in seiner Verstocktheit dafür sterben, und er sagte er sterbe als Märtyrer und sterbe gerne und seine Seele werde aus den Flammen zum Paradies emporschweben. Aber jetzt wird er ja erfahren haben, ob er die Wahrheit gesagt hat!“ [Kö03, S.39]

- * -

Zur selben Zeit, an einem unwirklichen und kaum beleuchteten Ort, weit weg von allem Irdischen, läuft der zuvor verbrannte Ketzer umher und fragt sich, wo er die von Platon beschriebene Treppe findet, die ihn zur Erleuchtung führen soll. Plötzlich entdeckt er eine weiße Gestalt, die sich ihm nähert. Als sich seine Augen an die Dunkelheitgewöhnten, erkannt er, dass es sich um eine ägyptisch anmutende Frau handelt.

Er fragt sie etwas herablassend: „Was ist das für ein seltsamer Ort? Und wer bist du?“

Sie antwortet ihm forsch: „Hat dir deine Mutter keine Manieren beigebracht? Wenn man auf fremde Dame trifft, stellt man sich zuerst selber vor. Aber du scheinst ein sehr provokanter Mensch zu sein, daher will ich die Klügere sein und mich zuerst vorstellen: Ich heiße Hypatia und bin die Tochter des Astronomen und Mathematikers Theon von Alexandria, dem letzten Wissenschaftler des Museion von Alexandria. Ich habe an dieser Schule Mathematik, Astronomie und Philosophie gelehrt. Aber genug von mir, wer bist du?“

Er antwortete erbost: „Du kennst mich nicht? Ich bin Giordano Bruno, ein weltbekannter Philosoph und Theologe.“

Hypatia: „Soso ein Theologe, etwa einer von diesen fanatischen Christen, die mich wie einen phytagoräischen Verräter ermordet haben? Sie fanden zwar keine Muscheln mit denen sie mich zerschnitten, aber die Ziegelscherben waren auch nicht viel besser.“

Giordano: „Nein, ich wurde selber von der Kirche als Ketzer verfolgt und an den römischen Gubernator übergeben, der mich daraufhin verbrennen ließ.“

Hypatia: „Dann sind unsere Lebenswege ja sehr ähnlich.“

Giordano lacht abwertend: „Du glaubst doch nicht etwa, dass ich, Giordano Bruno, etwas mit einem geistig unterlegenen Wesen wie einer Frau gemeinsam habe!?“

Hypatia fragt ihn daraufhin herausfordernd: „Du glaubst also, dass du mir überlegen bist? Dann beantworte mir doch, zu welchen neuen Erkenntnissen du als weltbekannter Philosoph der Renaissance gekommen bist, die nicht schon seit Platon bekannt sind? Wenn ich recht informiert bin, versucht deine Epoche sich des antiken Wissens zu bemächtigen, um eine ähnlich glorreiche Zeit wieder zu erschaffen.“




Giordano: „Ich habe ein System erschaffen, das aus 150^5 Elementen besteht und das mich befähigt mein Gedächtnis in einer Weise zu stärken, das es mir erlaubt, die Schatten aller weltlichen Erkenntnis zu beleuchten und somit eine Stufe der Erkenntnis zu erreichen, die jenseits von allem Irdischen liegt. Aber was rede ich da, eine Frau kann sich doch schon unter einer solch hohen Zahl nichts vorstellen. Wie soll sie da solch komplexe Systeme verstehen?“

Hypatia: „Das sind ja gerade mal 75.937.500.000 Elemente. Diese Zahl erscheint mir gegenüber der Anzahl von 10^{63} Sandkörnern, die Archimedes in seiner Sandrechnung bestimmt hat, doch etwas klein. Aber du sagst, dass du ein System erschaffen hast, das dir, wie es Platon beschreiben würde, den Aufstieg aus der sinnlich wahrnehmbaren in die geistige Welt der unwandelbaren Ideen ermöglicht? Dann solltest du dir aber überlegen, warum du hier gelandet bist. Ich habe auch gedacht, ich hätte etwas Besseres verdient, nachdem ich mich mein Leben lang mit Platon und dem ganzen Wissen der alten Gelehrten beschäftigt habe.“

Giordano: „Mir scheint, du verstehst doch ein wenig von der Wissenschaft. Doch habe ich bestimmt schon mehr Philosophisches vergessen, als du es je erlernen könntest und daher bringt es nichts, wenn ich versuche dir so etwas zu erklären.“

Hypatia: „Naja, wenn du dich bei deinem System auf die Erkenntnistheorie Platons beziehst, dann solltest du wissen, dass man nichts lernt, sondern sich nur erinnert. Nur das, was Teil an den ewigen Ideen hat, ist auch beständig und kann wiedererkannt werden. Und heißt es nicht, das man nur dann zu einer besseren Welt gelangt, wenn man nach dem Guten strebt?“

Giordano: „Ich muss eingestehen, dass Frauen doch etwas von philosophischen Themen verstehen können. Aber wenn du sagst, dass man zu einer besseren Welt gelangen kann, indem man nach dem Guten strebt, dann müsste ich doch jetzt in dieser besseren Welt sein.“

Hypatia: „Glaubst du denn, dass du überhaupt weißt, was das Gute ist?“

Giordano: „Also ich wüsste nicht, was an der Systematisierung der weltlichen und astralen Dinge nicht gut sein soll.“

Hypatia: „Wolltest du mit diesem System nicht auch Dämonen und Geister aus anderen Welten beschwören? Das wäre in den Augen der meisten Menschen nichts ‚Gutes‘. Aber vielleicht warst du auch einfach nicht tugendhaft genug, besonnen bist

du auf jeden Fall nicht!“

Giordano: „Ich finde schon, dass ich ein tugendhaftes und besonnenes Leben geführt habe und mein Leben in meinen Augen immer zum ‚Guten‘ ausgerichtet habe.“

Hypatia: „Was in deinen Augen ‚gut‘ ist, bedeutet aber längst nicht, dass es auch wirklich ‚gut‘ ist. Aber ich würde sagen, dass wir diese Diskussion ein anderes Mal führen sollten und jetzt erst einmal sehen, wie man Licht in dieses Dunkel bringen kann.“

Literatur

[Kö03] König, Andreas: *Giordano Bruno*. Diplomica. Tectum-Verlag, 2003.

Kreative Zufallsprozesse: Markov-Ketten und Gedächtnis

Mark Sinzger, Felix Holzwarth



4.1 Gedanken zum Thema „Gedächtnis“

Mit dem Begriff *Gedächtnis* meinen wir in diesem Artikel vor allem die Fähigkeit, speichern zu können, und weniger die Fähigkeit, sich im Rahmen von Traditionen, Geschichten und Denkmälern zu besinnen oder mahnend an ein Ereignis zu erinnern um es zu konservieren. Wer ein Gedächtnis hat, kann demnach Inhalte abspeichern und aktiv darauf zurückgreifen. Dadurch besitzt er die Möglichkeit, seine Zukunft durch Wissen aus der Vergangenheit zu beeinflussen. Weiterführend lassen sich mithilfe eines Gedächtnisses abgespeicherte Inhalte kategorisieren und auf Strukturen untersuchen. Man kann somit Muster oder Wiederholungen erkennen und besitzt gleichsam die Fähigkeit, zu vergleichen und zu analysieren. Schließlich kann, wer im Besitz eines Gedächtnisses ist, alte Inhalte kreativ zu neuen Inhalten verknüpfen.

4.2 Ein bisschen Wahrscheinlichkeitstheorie

In der Wahrscheinlichkeitstheorie wollen wir Ereignissen eine gewisse Wahrscheinlichkeit zwischen 0 (0%) und 1 (100%) zuordnen. Als Beispiel dient häufig der (mehrfache) Würfelwurf. Der Würfel kann die Zustände 1 bis 6 annehmen. Wir wollen ein Beispiel aus einem von unbeugsamen Galliern bevölkerten Dorf aus dem Jahre 50 v. Chr. verwenden. Bekanntlich erhält Obelix, da er als Kind in den Zaubertrank gefallen ist, keinen Tropfen dieses Gesöffs mehr. In der Folge *Asterix und Kleopatra* verkleidet er sich, um Miraculix zu täuschen. Wir nehmen an, er wählt zwischen den drei Verkleidungen

(1) Obelix in natura,

(2) Obelix als Ägypter,

(3) Obelix als Frau.

Dies sind unsere drei Zustände. Wir nehmen weiter an, dass Obelix, da er stets abgewiesen wird, sich in einer Endlosschleife neu anstellt. Ein *Ereignis* würde dann zum Beispiel lauten: „Obelix verkleidet sich bei seinem zehnten Versuch als Frau“. Bezeichnen wir mit X_n die Verkleidung beim n-ten Versuch, so schreiben wir

$$P[X_{10} = 3]$$

für die Wahrscheinlichkeit des obigen Ereignisses. Es kann nun sein, dass der Wert X_{10} abhängig ist von Obelix' Wahl beim neunten Versuch, also vom Wert von X_9. Wir schreiben dann

$$P[X_{10} = 3|X_9 = 1]$$

für die Wahrscheinlichkeit, dass er sich beim zehnten Versuch als Frau verkleidet, wenn bereits bekannt ist, dass er sich zuvor in natura angestellt hat.

4.3 Markov-Eigenschaft

Obelix ist gekennzeichnet durch einen dreielementigen Zustandsraum und eine Abfolge von Zeitpunkten, zu denen er Zustände aus dem Zustandsraum annehmen kann. Gilt nun für beliebige Zeitpunkte n und Zustände $i_1, \ldots, i_{n+1}$ folgende Bedingung

$$P[X_{n+1} = i_{n+1}|X_n = i_n, \ldots, X_1 = i_1] = P[X_{n+1} = i_{n+1}|X_n = i_n], \tag{4.1}$$

so sagen wir, Obelix verhält sich wie eine *Markov-Kette* [Kle06]. Das Charakteristische einer Markov-Kette ist, dass der nächste Zustand X_{n+1} nur von der Gegenwart X_n und nicht von der kompletten Vergangenheit $X_1, \ldots, X_n$ abhängt. Wissen wir den ganzen Ablauf des Markov-Prozesses seit Beginn, so bringt uns das im Hinblick auf die Frage, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein nächster Zustand angenommen wird, nicht mehr Information, als wüssten wir nur den letzten Zustand. Markov-Ketten gelten somit heuristisch als *gedächtnislos*. Es ist für die Wahl des nächsten Zustandes unerheblich, wie man in den aktuellen Zustand gekommen ist. Wir beschränken uns

hier zusätzlich auf zeitlich homogene Markov-Ketten, d.h. die Wahrscheinlichkeit in (4.1) soll nicht vom Zeitpunkt n abhängen, sondern nur von den beteiligten Zuständen i_{n+1}, i_n. Dann können wir das Verhalten der Markov-Kette in einem Übergangsgraph und als Übergangsmatrix K darstellen.

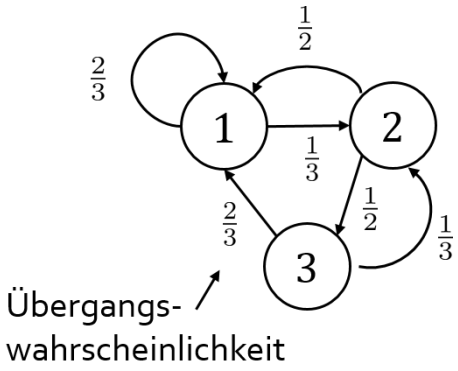


Abbildung 4.1: **Übergangsgraph für Obelix.** Der Übergang von einem Zustand i in einen Zustand j ist gerade $P[X_{n+1} = j|X_n = i]$. Die angegebenen Wahrscheinlichkeiten sind exemplarisch und willkürlich gewählt.

Zum abgebildeten Graph gehört die Übergangsmatrix

$$K = \begin{bmatrix} 2/3 & 1/3 & 0 \\ 1/2 & 0 & 1/2 \\ 2/3 & 1/3 & 0 \end{bmatrix}.$$

Der Eintrag in der i-ten Zeile und j-ten Spalte ist gerade $P[X_{n+1} = j|X_n = i]$.

4.4 Berechnungen mit Markov-Ketten

Markov-Ketten lassen sich mathematisch als Übergangsgraphen oder als Übergangsmatrizen beschrieben. Wir können dann verschiedene Berechnungen vornehmen, die hier bloß erwähnt, nicht jedoch erläutert werden sollen. Statt zu fragen, wie wahrscheinlich es ist, dass Obelix beim nächsten Versuch als Frau gekleidet geht, wenn er soeben in natura gescheitert ist, können wir auch fragen, wie wahrscheinlich es ist, dass er den übernächsten Versuch als Frau vornimmt, d.h. wir fragen nach

$$P[X_{n+2} = 3|X_n = 1].$$

Wahrscheinlichkeiten dieser Art können wir aus der Matrix $K \cdot K$, also K^2 ablesen. Die Frage nach der Wahrscheinlichkeit für seine Verkleidung drei Versuche später können wir aus K^3 ablesen und entsprechend spätere Verkleidungen aus den Potenzen K^m. Wir können uns auch fragen, zu welchen Anteilen er langfristig in natura, als Ägypter und als Frau erscheint. Diese Anteile können wir gerade im normierten Linkseigenvektor der Übergangsmatrix K zum Eigenwert 1 ablesen. Dies ist ein transponierter Vektor

v, für den $v \cdot K = v$ gilt. Normiert bedeutet hier, dass die Einträge von v sich zu 1 addieren. Hier wäre

$$v = \left(\frac{5}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}\right)$$

dieser Vektor, der die langfristigen Anteile angibt. Es soll hier nicht darauf eingegangen werden, ob ein solcher Vektor existiert und unter welchen Umständen er eindeutig ist.

4.5 Gedächtnis von Markov-Ketten

Wir können sagen, die Markov-Kette hat ein Gedächtnis der Stufe 1, denn sie erinnert nur die Gegenwart, also nur einen Zustand. Wir stellen nun die Frage, wie wir das Gedächtnis von Obelix und damit das Gedächtnis der Markov-Kette steigern können. Obelix soll beispielsweise erkennen, ob er gerade eine Schleife gelaufen ist (1-2-3-1) oder stagniert (1-1-1-1) und sich daraufhin bei der Wahl des nächsten Zustands anders verhalten. Wir fordern also, dass die Markov-Kette statt einem Gedächtnis der Stufe 1 ein Gedächtnis der Stufe 4 bekommt. Dies erreichen wir, indem wir als neue Zustandsmenge alle möglichen Abfolgen von vier Zuständen wählen, wir sagen auch: Wörter der Länge 4 mit dem Alphabet $\{1, 2, 3\}$. Übergänge sind nur möglich zwischen Wörtern, die eine Überschneidung in drei Buchstaben wie in Abb. 4.2 haben.

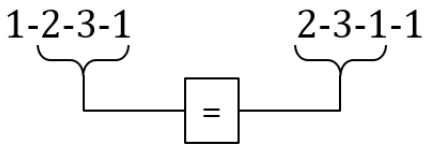


Abbildung 4.2: Die neuen Zustände sind Wörter der Länge 4.

Der Übergang von 1-2-3-1 zu 2-3-1-1 bedeutet etwa, dass die Markov-Kette die Abfolge 1-2-3-1-1 gelaufen ist. Die Abbildung 4.3 zeigt einen Ausschnitt aus einem exemplarischen neuen Übergangsgraphen. Man beachte, dass der neue Zustandsraum bis zu 3^4 Zustände enthält. Wir haben das Gedächtnisvermögen der Markov-Kette gesteigert, indem wir den Zustandsraum vergrößert haben. Dies ist immer möglich, wenn ein Gedächtnis der Stufe n gefordert wird. Der Zustandraum wächst dabei exponentiell.

4.6 Texterzeugung und der Eddington-Affe

Zur Veranschaulichung der Verwendung von Markov-Ketten im Zusammenhang mit dem Thema Gedächtnis betrachten wir das Beispiel der Texterzeugung mithilfe von Markov-Ketten [Urb]. Am Anfang der Texterzeugung steht die Idee des *Eddington-Affens*. Er ist eine Idee des britischen Astrophysikers SIR ARTHUR EDDINGTON (1882–1944), die durch sein Zitat verdeutlicht wird: „Wenn ein Heer Affen auf Schreibmaschinen herum klapperte, könnten sie – vielleicht! – alle Bücher im britischen Museum schreiben“. Der Eddington-Affe ist ein Affe, der vor einer Schreibmaschine

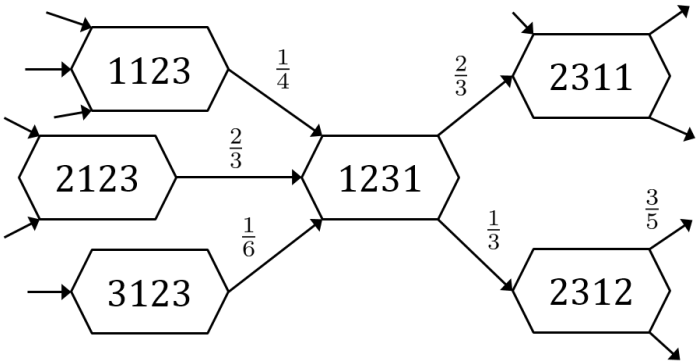


Abbildung 4.3: Ausschnitt aus einem Übergangsgraph mit Gedächtnis der Länge 4.

sitzt und jede Taste mit der gleichen Wahrscheinlichkeit betätigt. Er erzeugt dabei Zeichenketten, die im Allgemeinen keinen semantischen Sinn besitzen und unlesbar sind: Sonderzeichen treten überdurchschnittlich häufig auf; dafür mangelt es an Worttrennungs-Symbolen, die in Texten weitaus häufiger erscheinen.



Abbildung 4.4: Der Eddington-Affe nach Arthur Eddington (1882–1944). Er sitzt an der Schreibmaschine und tippt zufällig Texte.[1]

Man kann versuchen, lesbarere Ergebnisse zu erhalten, indem man Trennungssymbole häufiger auftreten lässt und Sonderzeichen ausschließt. Diese Methoden führen jedoch zu keinem befriedigenden Ergebnis. Um semantisch sinnvolle Texte zu erzeugen, muss es gelingen, die typischen Merkmale einer Sprache zu erzeugen.

4.7 Der Markov-Affe

Bisher erzeugen unsere Affen Zeichenketten. Wir wollen aber, dass sie Texte erzeugen, die semantisch sinnvoll und *aussprechbar* sind. Ein offensichtliches Merkmal einer Sprache ist, dass auf einen bestimmten Buchstaben gewisse Buchstaben eher folgen als andere. Auf ein Q folgt in der deutschen oder englischen Sprache immer ein U und auf den Buchstaben D folgt öfter ein E als ein O. Vergleichbare Regeln findet man in jeder Sprache. Es fällt auf, dass diese Bevorzugung von Buchstabenübergängen

[1] `http://totallyfreeimages.com/374260`, 1. Juni 2015

gerade eine Markov-Kette leisten kann: sie ermöglicht es, für jedes Element einer Menge von Zeichen die Wahrscheinlichkeit anzugeben, dass ein anderes Zeichen darauf folgt. Die Zeichenmenge bildet den Zustandsraum. Nun ist die Frage, wie man die Übergangsmatrix der Markov-Kette erzeugt.

Die Übergangsmatrix erhält man, indem man einen vorhandenen Text analysiert. Dabei misst man, wie oft ein bestimmter Buchstabe auf einen anderen Buchstaben folgt. Trägt man die relativen Häufigkeiten in eine entsprechende Matrix ein, so ergibt sich genau die Übergangsmatrix, die charakteristisch für den gegebenen Text ist [KT01]. Auf diese Weise erhalten wir einen Affen, den wir *Markov-Affen der Stufe 1* nennen wollen. Die Wahl des nächsten Zeichens hängt von dem vorherigen Zeichen ab. Er wird Texte produzieren, die dem Ausgangstext insofern ähneln, als dass in beiden Texten entsprechende Buchstaben gleich häufig aufeinander folgen [Bra76]. Was passiert bei Affen anderer Stufe?

4.8 Markov-Affen unterschiedlicher Stufe

Zunächst bemerken wir: Unser Eddington-Affe tritt hier als Markov-Affe der Stufe 0 wieder auf. Er vergisst sofort alle Erkenntnisse aus der Textanalyse, und sein Texterzeugnis wird mit dem Ausgangstext so viel gemein haben wie mit jedem anderen Text. Man kann sich vorstellen, dass man bessere Ergebnisse erzielt, wenn man die Stufe erhöht. Stufe N bedeutet dabei, dass die Auftrittshäufigkeit des nächsten Zeichens sich auf die letzten N Zeichen bezieht. Mit dem Prinzip der Gedächtnisvergrößerung von Markov-Ketten aus Abschnitt 4.5 können wir solche Markov-Affen höherer Stufe erhalten. In Stufe 2 werden also bei der Erzeugung der Übergangsmatrix immer Paare aufeinander folgender Buchstaben im Ausgangstext betrachtet. Dieser Vorgang entspricht genau dem Vergrößern des Zustandsraumes im Obelix-Beispiel. Hierbei haben wir das Gedächtnis der Markov-Kette gesteigert, und sie konnte sich an die 4 vorherigen Ereignisse erinnern.

Doch noch einen zweiten Effekt können wir beobachten: Wenn man die Stufe des Markov-Affen zu groß wählt, erhält man bei der Texterzeugung etwa nur noch eine neue Zusammensetzung der einzelnen Sätze. Im Extremfall ist N gleich der Anzahl der Buchstaben des Textes. Dann erzeugt man den ursprünglichen Text. Doch auch mit einem N, das halb so groß ist, wird man den ursprünglichen Text oder eine Teilmenge davon erzeugen. Es stellt sich also die Frage, was das kleinste solche N ist. Kennzeichnen wir dieses kleinste N als M. Dieses M hat dann die folgenden Eigenschaften. Wählen wir eine beliebe Zeichenkette der Länge M aus dem Originaltext aus, so ist schon vorbestimmt welcher Buchstabe folgen wird. Selbst wenn diese Zeichenkette mehrmals auftritt, folgt immer der gleiche Buchstabe. Das Texterzeugnis ist dann deterministisch. Da es aber das kleinste N ist, das zu Determinismus führt, muss es eine Zeichenkette der Länge $M-1$ geben, die mehrmals auftritt und auf die dabei unterschiedliche Buchstaben folgen. Sprechen wir bei Stufe 0 von Chaos, bei Stufe M von Determinismus, so erkennen wir ein Prinzip der Kunst, das hier am Rande vermerkt sei: Ästhetik liegt zwischen Chaos und Determinismus. Ein N, für das wir das Texterzeugnis als ästhetisch empfinden, liegt irgendwo im richtigen Abstand zwischen 0 und M.

4.9 Zusammenfassung

Sprechen wir von Gedächtnis in Bezug auf Markov-Ketten haben wir gesehen, dass die Markov-Kette a priori gedächtnislos handelt. Ihren Entscheidungen ist es nicht anzusehen, ob sie Wissen über die Vergangenheit einbezieht. Wir können folglich nicht von einer aktiven Gestaltung der Zukunft durch Einbinden gespeicherter Inhalte reden. Das einzige Wissen, das einer Markov-Kette zur Verfügung steht, scheint in ihren Zuständen gespeichert zu sein. Wir können ihre Erinnerungsfähigkeit steigern, indem wir den Zustandsraum vergrößern. Treibt man diese Vergrößerung auf die Spitze, landet man beim Determinismus. Das haben wir im Beispiel der Texterzeugung gesehen. Dieses Beispiel lehrt uns jedoch auch, dass die Markov-Kette noch einen anderen Speicher zur Verfügung hat: Ihre Übergangsmatrix, die wie ein kulturelles Gedächtnis Einfluss nehmen kann. Sie hatte im Beispiel das Wissen über den literarischen Text gespeichert, das ihr erlaubte, Neues zu schaffen, indem sie die Inhalte und ihre gespeicherten Übergänge auf kreative Art und Weise neu verknüpfte.

Literatur

[Bra76] Brainerd, Barron: *On the Markov nature of text*. Linguistics, **14**(176):5–30, 1976.

[Kle06] Klenke, Achim: *Wahrscheinlichkeitstheorie*. Springer, 2006.

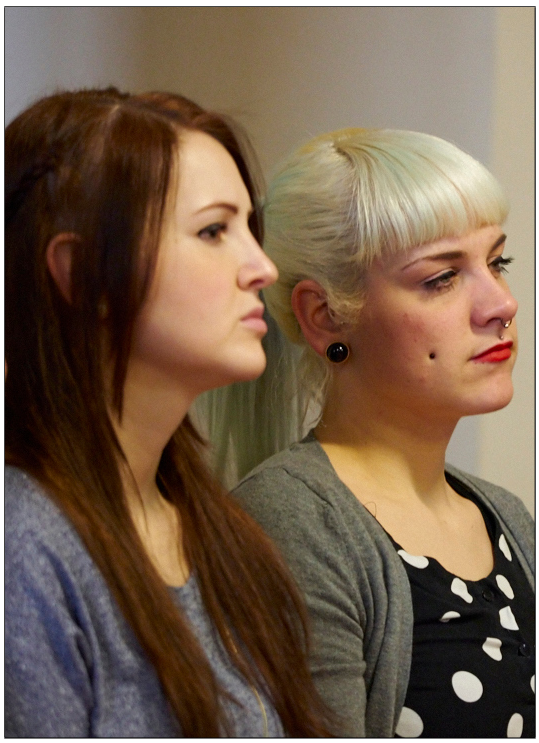
[KT01] Khmelev, Dmitri V. und Fiona J. Tweedie: *Using Markov chains for identification of writer*. Literary and Linguistic Computing, **16**(3):299–307, 2001.

[Urb] Urban, Wolfgang: *Texterzeugung mit Markov-Ketten*. `http://www.hib-wien.at/leute/wurban/mathematik/MarkovTexte.pdf` abgerufen am 20. Mai 2015.

Ich vergesse nichts – das Savant-Syndrom

Evelyn Zinnatova, Lydia Wache

5.1 Das Savant-Syndrom



Hat sich nicht jeder schon einmal gewünscht, aufzuwachen und eine Sache perfekt zu können, ohne sie vorher je geübt zu haben? Beispielsweise ein Fachbuch zu lesen und jede Zeile dieses Buches wiedergeben zu können? Oder gar sich an ein Klavier zu setzen und die 4. Sinfonie von Mozart aus dem Gedächtnis zu spielen, nachdem man diese nur ein einziges Mal gehört hat? Jeder Mensch hat ein bestimmtes Talent oder sogar mehrere. Jedoch sind diese oft verborgen und müssen erst entdeckt werden. Dieses vorhandene Potential wird durch ständiges Lernen und Üben weiterentwickelt. Gibt es aber Menschen mit der außergewöhnlichen Begabung, eine Sache, ohne sie geübt zu haben, von einem auf den anderen Tag perfekt zu beherrschen? Die Antwort ist ja. Es sind Menschen, die mit dem „Savant-Syndrom“ leben. Sie werden Savants oder „Inselbegabte“ genannt. Im folgendem wird dieses Syndrom genauer beschrieben. Außerdem werden vier Personen vorgestellt, die unter diesem Syndrom leiden. Ebenso werden Fragen aufgegriffen, die sich damit beschäftigen, ob auch wir unsere Talente derartig ausbauen können, sodass wir zu solch außergewöhnlichen Fähigkeiten in der Lage sind.

5.1.1 Was sind Savants?

Das Wort „Savant“ wird im französischen, sowie im englischen Sprachgebrauch mit „Gelehrter“ oder „Wissender“ übersetzt. Dies ist jedoch irreführend. Savants sind Menschen, die eine kognitive Behinderung oder eine anderweitige Entwicklungsstörung aufweisen, aber sehr spezielle außergewöhnliche Leistungen in einem kleinen Teilbereich, einer „Insel“ vollbringen können, weshalb sie auch „Inselbegabte“ genannt werden. Savants beschäftigen sich mit trivialen und bizarren Tätigkeiten und lassen sich nicht davon abbringen. Sie speichern Informationen als seien sie alle gleichermaßen erinnerungswürdig. Dabei werden nur die oberflächlichen Fakten, nicht jedoch die Zusammenhänge und zugrundeliegenden Theorien behalten.

Wissenschaftler gehen davon aus, dass jeder Mensch ausnahmslos alle Sinneseindrücke in seinem Gedächtnis speichert, aber nur Zugriff auf die wichtigsten Bereiche hat. Inselbegabte können hingegen unabhängig von ihrer Relevanz oder emotionalen Bedeutung in einem Teilbereich auf jede Information zugreifen. Savants haben Zugang zu ihrem Unterbewusstsein und leben in ihrer inneren Welt. Bei den meisten ist die Sprache deutlich unterentwickelt, jedoch gibt es auch Menschen, welche in kürzester Zeit eine Fremdsprache lernen können und diese anschließend perfekt beherrschen. Ihr Intelligenzquotient liegt überwiegend unter dem Durchschnitt, einige Savants haben einen durchschnittlichen oder sogar überdurchschnittlichen IQ. Der niederländische Psychologie Professor Douwe Draaisma beschreibt einen Savant als ein Produkt aus Konzentration, Einseitigkeit und endloser Wiederholung.

5.1.2 Kurze Fakten

Weltweit sind circa einhundert Menschen mit diesem Syndrom bekannt, 50 Prozent sind davon autistisch veranlagt. Aber nur zehn Prozent der Autisten sind Savants. Erstaunlich ist die Tatsache, dass sechs von sieben Savants männlichen Geschlechts sind. Es gibt jedoch keine zuverlässigen Untersuchungen wie häufig das Savant-Syndrom auftritt.

5.1.3 Arten

Es gibt viele verschiedene Bereiche, in denen Inselbegabte ihre erstaunlichen Leistungen zum Vorschein bringen. Einige besitzen ein außergewöhnliches Erinnerungsvermögen, welches ihnen ermöglicht, Dinge detailgetreu wiederzugeben. Andere haben die Gabe, ein Musikstück nach nur einmaligem Hören fehlerfrei auf einem Instrument zu spielen, z.B. der US-amerikanische Musiker und Komponist Leslie Lemke. Savants, wie Daniel Tammet, Rüdiger Gamm und Jason Padgetts sind wahre Rechenkünstler. Man sagt, dass sie nicht rechnen, sondern aus ihrem Gedächtnis einen Fundus an Zahlenketten, Rohbausteinen und Elementen abrufen und daraus neue Zahlenketten kombinieren. Diese werden wiederum ebenfalls abgespeichert, sodass sie schnell verfügbar sind. Zu den verschiedenen Arten zählen auch Zeichenkünstler wie Stephen Wiltshire. Er hat ein fotografisches Gedächtnis, bei dem das Gesamtbild mit allen, auch den kleinsten Details, in einem Akt in das Gedächtnis aufgenommen wird. Wie oben schon beschrieben, ist die Sprache bei den meisten Savants deutlich

unterentwickelt. Daniel Tammet hat allerdings eine hohe sprachliche Begabung, die es ermöglicht, in kürzester Zeit eine Sprache zu erlernen und zu beherrschen.

5.1.4 Ursachen

Da viele verschiedene Arten von Inselbegabten bekannt sind, ist keine eindeutige Generalisierung möglich. Deswegen ist es schwer, Ursachen zu beschreiben. Inselfertigkeiten sind fast immer angeboren, können jedoch auch später aus einer Hirnschädigung entstehen. Eine mögliche Ursache könnte ein gestörter Filtermechanismus des Gehirns sein, der dafür zuständig ist, nur ausgewählte Informationen des Unbewussten und nur einzelne, für relevant gehaltene Informationen des Gedächtnisses dem Bewussten zuzuführen. Der Hirnforscher Michael Fitzgerald sieht eine herausragende Kreativität als Folge neuronalen Fehlschaltungen, welche bei Autisten besteht. Bei vielen Genies, wie Albert Einstein, Isaac Newton oder auch Wolfgang Amadeus Mozart waren mehr oder minder starke Ausprägungen von Autismus vorhanden. Eine weitere Ursache könnte ein beschleunigtes Gehirnwachstum zwischen der 10. und 18. Schwangerschaftswoche sein. Hierbei führen Störungen der Neuronenverbindungen zu massiven Gehirnschäden. Ein möglicher Störfaktor dabei ist Testosteron, welches die männliche Überpräsenz unter den Inselbegabten erklären könnte. Ein hoher Testosteronspiegel hemmt das Wachstum der Hirnrinde. Jedoch sind sich Hirnforscher einig, dass die Fähigkeiten der Savants nahezu alle typisch rechtshemisphärisch sind. Die rechte Hirnhälfte ist normalerweise für alle künstlerischen, visuellen und motorischen Fähigkeiten zuständig, aber auch für nicht-symbolische und konkrete Fakten. Die linke Hirnhälfte kontrolliert hingegen logisches und abstraktes Wissen, erkennt Zusammenhänge, Abläufe und Symbole.

5.1.5 Bekannte Personen mit Inselbegabung

In dem folgenden Abschnitt werden bekannte Personen mit ihren faszinierenden Einzelfähigkeiten - die so genannten Inselbegabungen - vorgestellt. Um sich das Verhalten besser vorstellen zu können, werden alltägliche Handlungen und die damit verbundenen Schwächen und Stärken der Savants vorgestellt.

Howard Potter

Howard Potter wurde 1966 in England geboren, ist autistisch veranlagt und lebt noch immer bei seinen Eltern. Schon als Baby hatte er ein sehr auffälliges Verhalten: er schlief kaum, war früh von Kalendern beeindruckt und schaute den Menschen nie direkt ins Gesicht. Er isst für sein Leben gern Kartoffelbrei mit Erbsen. Als Kind beschwerte er sich bei seinen Eltern beim Mittagessen, dass sein Bruder zwei Erbsen mehr auf dem Teller hätte als er selbst. Die Eltern waren irritiert

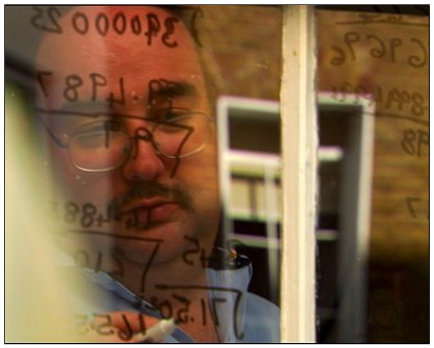


Abbildung 5.1: Howard Potter

und begannen die Erbsen zu zählen und fanden mit Erstaunen heraus, dass Howard sich nicht getäuscht hatte. Er kennt das gesamte Straßen- und Telefonnetz der USA auswendig. Aus diesem Grund gilt er dort als Freak. Sein Kopf kennt nur Zahlen, was womöglich der Grund dafür ist, dass er ein großes Interesse an Primzahlen besitzt. Auch für Fußball begeistert er sich, jedoch interessieren ihn nur die Ergebnisse des Spiels und nicht die Mannschaften. Ohne sein tägliches Ritual, dem Wurzelziehen, würde er sein Leben in seiner Umwelt nicht bewältigen können und diese als bedrohliches unkontrolliertes Chaos empfinden. Das Wurzelziehen beruhigt sein Gehirn. Er blättert außerdem täglich in Telefonbüchern, um neue Primzahlen in den Telefonnummern zu entdecken. Ihm ist es aufgrund des Savant-Syndroms jedoch nicht möglich, selbst ein Telefonat zu führen. Schon als Kind nahm er keine Beziehungen zu anderen Menschen auf. Mit der Zeit hat er aber gelernt, andere Menschen anzulächeln und im Laden an der Ecke Schokolade zu kaufen. [You13a]

Stephen Wiltshire

Der Engländer Stephen Wiltshire wird dank seiner Begabung auch „die lebende Kamera“ genannt. Wie oben schon erwähnt, ermöglicht ihm seine Inselbegabung ein Objekt zu betrachten und danach ein sehr genaues und detailreiches Bild davon zu zeichnen. Auf diese Weise zeichnete er komplette Stadtbilder von London, Rom, Hongkong und Frankfurt am Main nach nur einem Hubschrauber-Rundflug. Mit drei Jahren stellten die Ärzte bei ihm Autismus fest. Er lebte, wie alle anderen Autisten auch, in seiner eigenen Welt und reagierte oft mit Trotzanfällen. Er konnte bis zum 9. Lebensjahr nicht sprechen und somit dienten seine Zeichnungen ihm schon damals zur Kommunikation. Zum Zeichnen ist er durch den Besuch der Queensmill School in London gekommen. Durch einen seiner Lehrer wurde er sehr gefördert und hat durch ihn auch das Sprechen gelernt. Er interessiert sich hauptsächlich für Erdbeben, Fahrzeuge und Architektur. Das Faszinierende an Erdbeben ist für ihn die starke Veränderung der Stadt nach der Katastrophe. [Wan08]



Abbildung 5.2: Stephen Wiltshire

Kim Peek



Abbildung 5.3: Kim Peek

Kim Peek kam in Salt Lake City mit schweren geistigen Behinderungen zur Welt. Die Ärzte sagten damals, er würde unter anderem niemals sprechen und lesen können. Erstaunlicherweise fing er mit 16 Monaten an zu lesen und konnte mit 4 Jahren seine ersten acht Lexika Bände auswendig. Auch er reagierte mit hysterischen Anfällen, wenn er bei seinen Beschäftigungen unterbrochen wurde. Kim wurde aufgrund seines fotografischen Gedächtnisses und seiner Rechenkünste „Kimputer“ genannt. Kim hat über 12 000 Bücher gelesen und kein Wort vergessen. Er hat die Bücher nicht auswendig gelernt, sondern nur einmal gelesen. Kim konnte zwei Seiten parallel in acht Sekunden lesen, ein Auge las jeweils eine Seite. Der Grund dafür ist womöglich, dass seine Gehirnhälften kaum miteinander verbunden waren. Er war Tag für Tag auf seinen Vater angewiesen. Dieser putzte Kim die Zähne, knöpfte ihm das Hemd zu und begleitete Kim in die Bibliothek. Durch seinen Vater steigerten sich seine sozialen Qualitäten auffallend. Kim Peek und das Krankheitsbild eines autistisch veranlagerten Menschen gewann durch den Film „Rain Man“ im Jahr 1988 an Bekanntheit. [Dai09]

Daniel Tammet



Abbildung 5.4: Daniel Tammet

Mit 3 Jahren hatte Daniel Tammet einen epileptischen Anfall und wurde dadurch zum Savant. Er hat ein sehr gutes Erinnerungsvermögen und ist ein Rechenkünstler, der mehr als 22 000 Nachkommastellen von π kennt. Sein Gehirn rechnet, ohne dass er darüber nachdenken muss. Er spricht außerdem neun Sprachen und ihm ist es möglich, eine Sprache in einer Woche zu lernen. Ebenso hat er eine eigene Sprache entworfen, welche sich *Mänti* nennt und dem Finnischem und Estnischen ähnelt. Interessant an Daniel ist, dass er sich, trotz seines guten Erinnerungsvermögens, schlecht Gesichter merken und rechts von links nicht voneinander unterscheiden kann. Außerdem hat er Schwierigkeiten beim Interpretieren von zwischenmenschlichen Handlungen, sodass er in Gesprächen oft nicht weiß, wann und welche Reaktion sein Gegenüber von ihm erwartet. Daniel ist der einzige Savant, der genau beschreiben

kann, was in ihm vorgeht. Dadurch ist er für die Forschung des Savant-Syndroms von großem Nutzen. [Bes13]

5.1.6 Forschung

Je besser wir etwas können, um so weniger Nervenzellen werden dafür aktiviert. Das Gehirn tendiert dazu, möglichst viele Dinge unbewusst zu erledigen. Menschen werden sozusagen vom Unterbewusstsein angetrieben. Alles was wir wahrnehmen wird im Gehirn aufgezeichnet, aber wir haben nicht unbedingt Zugang dazu, es sei denn, wir haben etwas mit einer Emotion oder einem Ereignis verbunden. Nun stellt sich die Frage, ob wir auch solch unglaubliche Fähigkeiten wie die Savants besitzen können? Die Forschung ist geteilter Meinung. Der Hirnforscher Allan Snyder vermutet, dass in den Gehirnen der Savants bestimmte höhere kortikale Funktionen ausgeschaltet sind, die normalerweise dafür sorgen, dass Zusammenhänge hergestellt und Details darüber vernachlässigt werden. [You13a] Er behauptet, dass in jedem Menschen die Fähigkeit steckt, ein Savant zu sein. Unser Gehirn unterdrückt dies aber. Er machte diesbezüglich Versuche, indem er bei Freiwilligen mittels magnetischer Impulse vorübergehend bestimmte Areale des Gehirns ausschaltete. Vor und nach dem Test sollten die Probanden unter anderem Zeichnungen anfertigen. Personen konnten nach der Behandlung genauer zeichnen oder schwierige Kalkulationen besser durchführen als zuvor. [You13b]

Marc Thioux, Forscher für Kalenderrechnen, ist allerdings der Meinung, dass Savants diese erstaunlichen Fähigkeiten nur durch ein großes Maß an Lernen und Üben erwerben. Es beginnt mit dem Interesse daran, sich einzelne Daten zu merken, und entwickelt sich danach zu einer Sucht nach Daten. In beiden Fällen ist jedoch ein großes Interesse an einem Teilgebiet Voraussetzung dafür, dass sich ein Talent ausprägt.

5.2 Kognition

Jeder hegt irgendwann mal den Wunsch, das eigene Gehirn gezielter zu trainieren. Sei es, um ein besseres Gedächtnis zu bekommen, schneller im Kopfrechnen zu sein, manche Situationen besser abschätzen zu können oder Aufgaben besser zu strukturieren und somit schneller eine optimale Lösung zu finden. Wie könnte ein solches „Training“ aussehen, und was müsste dafür beachtet werden? Im folgenden werden dafür zunächst ein paar Begrifflichkeiten, wie Kognition und kognitive Fähigkeiten näher erklärt. Zusätzlich wird eine Technik vorgestellt, die verspricht Gehirntraining zu verwirklichen.

5.2.1 Was ist Kognition?

Der Begriff Kognition stammt aus dem lateinischen Wort „cognoscere“, das soviel bedeutet wie „erkennen“, „erfahren“ und „kennenlernen“. Dabei wird jede Aktivität betrachtet, die zur Verarbeitung von Wissen genutzt wird. Um diese Verarbeitung zu ermöglichen, besitzt der Mensch Strukturen und geistige Prozesse. Der Begriff

beschreibt dabei alle Denk- und Wahrnehmungsvorgänge und deren mentale Ergebnisse, wie zum Beispiel Wahrnehmung, Wissen, Funktionsweise von Langzeit- und Kurzzeitgedächtnis, Einstellungen, Überzeugungen, Kreativität und Erwartungen. Diese Vorgänge werden auch kognitive Fähigkeiten genannt. Hierbei handelt es sich um die gegebenen Leistungen des Gehirns. Die Grundlagen für die Denk- und Wahrnehmungsvorgänge bilden die Sinnesreize. Diese werden durch die Signale, die aus der Umwelt kommen, ausgelöst. Diese Reize werden vom Gehirn verarbeitet und ausgewertet. Im Grunde kann man sagen, dass Kognition immer und überall stattfindet. Sie hilft uns, die Umwelt als einen Teil unseres Lebens wahrzunehmen. Sie bildet die Schnittstelle zwischen der Umwelt und unserem Gehirn.

5.2.2 Grenzen kognitiver Fähigkeiten

Unsere kognitiven Fähigkeiten können nur eingeschränkt eingesetzt werden, da sie durch mehrere Faktoren begrenzt werden. Müdigkeit, Ablenkbarkeit und Motivationsschwäche können den Gebrauch und die Verbesserung unserer kognitiven Fähigkeiten negativ beeinflussen. Ein weiterer Faktor stellt das Arbeitsgedächtnis dar, welches für die aktuellen Denkvorgänge, sowie vorübergehende Speicherung und Veränderungen zuständig ist. Das Arbeitsgedächtnis wird also rund um die Uhr verwendet.

5.2.3 Applikation NeuroNation

Diverse Technologien versprechen, unsere kognitiven Fähigkeiten zu verbessern und somit unser Gehirn zu trainieren. Eine dieser Technologien ist die App NeuroNation. Diese ist für jedermann zu Hause am PC, auf dem Smartphone und auf dem Tablet zugänglich.



Die App beinhaltet ein zielgerichtetes Gehirntraining, welches durch verschiedene Übungen realisiert wird. Der Großteil des Übungsangebotes ist kostenlos und über unbegrenzten Zeitraum testbar. Diese Übungen wurden in Zusammenarbeit mit neuropsychologischen Professoren und aus Studien entwickelt. Die App passt den Schwierigkeitsgrad der Übungen an die erreichten Ergebnisse eines jeden Anwenders an. Der Fortschritt wird mit einem individuellen Entwicklungsgraphen dokumentiert. Die Wissenschaftler, die bei der Entwicklung der Applikation mitgewirkt haben, empfehlen jeden Tag fünf Minuten zu üben.

5.2.4 NeuroNation Übungen

In den folgenden Abschnitten werden ausgewählte Übungen aus der zuvor im Abschnitt 5.2.3 erwähnten Anwendung, vorgestellt. Diese können von den aktuellen Übungen von NeuroNation abweichen, da die Anwendung regelmäßig aktualisiert wird. Deshalb werden die nachfolgenden Übungen in einer abgewandelten Form präsentiert.



Abbildung 5.5: Übung Zahlenkönig

Zahlenkönig

Die Übung „Zahlenkönig“ soll das Kopfrechnen und das Gedächtnis trainieren. Am Anfang wird eine mathematische Aufgabe gezeigt, diese wird im Kopf gelöst und das resultierende Ergebnis gemerkt. Daraufhin erscheint eine weitere Operation, die mit dem Ergebnis der vorhergehenden Aufgabe verrechnet wird. Danach erscheint eine weitere Operation und der Vorgang wird wiederholt. Diese Abfolge wird so oft abgehandelt, bis die Zeit, welche für diese Übung zur Verfügung gestellt wird, abgelaufen ist. Am Ende dieser Übung wird das errechnete Ergebnis der Aufgabe eingegeben und mit dem des Programms verglichen.

Formdreher

Die Übung „Formdreher“ soll das räumliche Denken und die Konzentration verbessern. Auf dem Bildschirm werden mehrere quadratische Abbildungen dargestellt, Karten genannt. Im Zentrum befindet sich eine Karte mit einem orangefarbenen Rand. In dieser befindet sich, innerhalb eines Gitters, eine Figur. Um diese herum sind noch weitere Karten im ähnlichen Stil platziert, nur tragen diese keinen orangefarbenen Rand. Ziel ist es, aus den äußeren Karten die Karte herauszusuchen, deren Figur mit der mittleren Karte übereinstimmt. Bedenken muss man, dass die mittlere Karte rotiert in den äußeren Karten dargestellt sein kann. Deshalb muss genau auf die Position der Figuren innerhalb der Gitters geachtet werden. Die Figuren können sich zwar sehr ähneln, die Karten müssen aber deshalb nicht übereinstimmen. In der folgenden Abbildung 5.6 kann man erkennen, dass die Karten 1 und 2 die gleiche

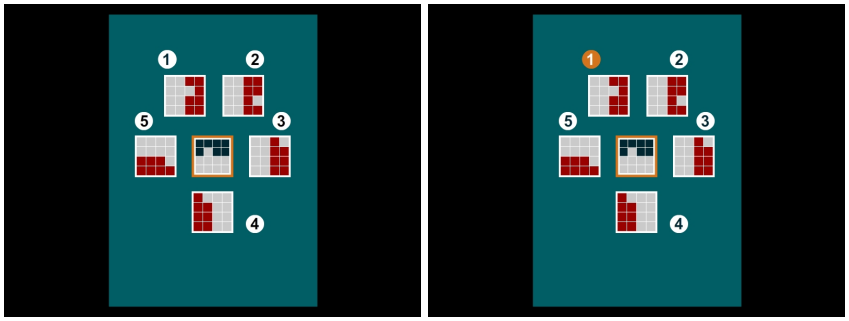


Abbildung 5.6: Übung Formdreher, links: Aufgabe, rechts: richtige Lösung

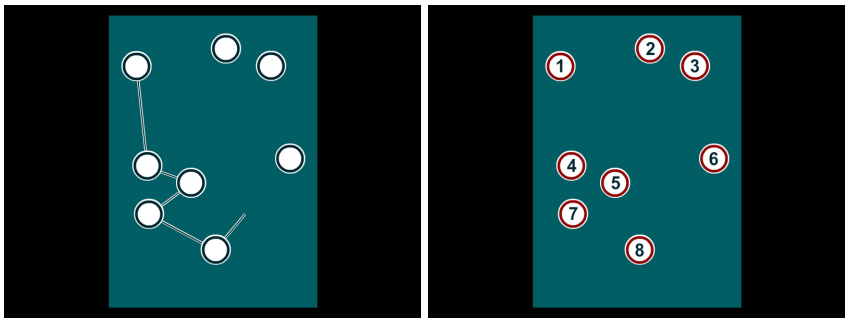


Abbildung 5.7: Übung Pfadfinder, links: Pfad durch Wegpunkte, rechts: Nummerierung der Wegpunkte

Figur im Gitter beinhalten. Allerdings stimmt in diesem Fall nur die erste Karte mit der gesuchten Figur überein. In diesem Beispiel wurde die mittlere Karte um 90° im Uhrzeigersinn gedreht.

Pfadfinder

Die Übung „Pfadfinder“ soll die Merkfähigkeit sowie die räumliche Aufmerksamkeit verbessern. Auf dem Bildschirm werden zunächst wahllos verstreute weiße Wegpunkte angezeigt. Anschließend wird nach und nach ein Pfad durch diese Wegpunkte hindurch gezeichnet. Gemerkt werden soll sich hier die richtige Reihenfolge der Wegpunkte. Sobald alle Punkte durchlaufen wurden, ist der Pfad vollständig. Der gezeichnete Pfad verschwindet im Anschluss, und es werden nur noch die Wegpunkte angezeigt. Diese haben nun rote Ränder, wurden durchnummeriert und signalisieren damit ihre Eingabemöglichkeit. Der Pfad muss, durch Klicken der Wegpunkte, in der richtigen Reihenfolge rekonstruiert werden.

5.3 Fazit

Menschen mit Savant-Syndrom beweisen, dass wir alles, was wir jemals mit unseren Sinnen wahrgenommen haben, im Unterbewusstsein abspeichern und zeitlebens nie wieder vergessen. „Vergessen“ ist somit nur eine Filtereigenschaft, die scheinbar Wichtiges von Unwichtigem trennt. Es gibt nicht den einen Savant, sondern ein breites Spektrum mit sehr unterschiedlichen Hirnstörungen und Teilbegabungen. Deswegen ist es auch schwer, genaue Ursachen zu bestimmen und den Savant-Zustand zu simulieren, um gesunde Menschen vorübergehend in autistische Genies zu verwandeln, wie es der australische Forscher Allan Snyder versucht. [You13a]

Der Wunsch nach einem Superhirn ohne unter körperlichen oder geistigen Einschränkungen zu leiden, wird vermutlich immer ein Traum bleiben. Die App NeuroNation versucht diesem Wunsch ein wenig näher zu kommen. Das Versprechen, das Gehirn trainieren zu können, wirft aber die Frage auf: was genau trainiert die Anwendung NeuroNation? Trainiert sie ausschließlich die Fähigkeiten, die angebotenen Übungen schneller und besser zu lösen, oder werden dabei tatsächlich die kognitiven Fähigkeiten und somit das Gehirn trainiert? Wissenschaftlich wurde

dies bisher nicht bewiesen. Jedoch betonen die Entwickler der App ausdrücklich, dass erst nach einem Zeitaufwand ab zehn Stunden die ersten Verbesserungen zu bemerken sind. Wir meinen allerdings, dass man mit Üben und Wiederholen die kognitiven Fähigkeiten auch ohne spezielle Techniken verbessern kann.

Literatur

[Bes13] BESSAC, STÉPHANE: *Daniel Tammet, la poésie des mathématiques*, 22. August 2013.
http://blogs.paris.fr/portraitsparisiens/2013/08/22/daniel-tammet-la-poesie-des-mathematiques/.

[Dai09] DAILY MAIL ONLINE: *Kim Peek, the savant who inspired Rain Man, dies at the age of 58*, 23. Dezember 2009.
http://www.dailymail.co.uk/news/article-1237758/Kim-Peek-savant-inspired-Rain-Man-dies-age-58.html.

[Def15] DEFINITION-ONLINE: *Kognitive Fähigkeiten*, 2015.
http://definition-online.de/kognitive-faehigkeiten/.

[Hei03] HEIN, TILL: *Autismus*. Die Zeit, (30), 17. Juli 2003.
http://www.zeit.de/2003/30/M-Autismus.

[Neu15] NEURONATION: *Kognitive Fähigkeiten*, 2015.
http://www.neuronation.de/kognitives-training/kognitive-faehigkeiten.

[psy12] PSYCHOMEDA: *Kognition*, 31. März 2012.
http://www.psychomeda.de/lexikon/kognition.html.

[Wan08] WANSELL, GEOFFERY: *Revealed: How autistic genius Stephen Wiltshire drew his amazing picture of London's skyline*. Daily Mail Online, 8. April 2008.
http://www.dailymail.co.uk/news/article-557942/Revealed-How-autistic-genius-Stephen-Wiltshire-drew-amazing-picture-Londons-skyline.html.

[Wik15a] WIKIPEDIA: *Inselbegabung*, 8. April 2015.
http://de.wikipedia.org/wiki/Inselbegabung.

[Wik15b] WIKIPEDIA: *Kognition*, 7. April 2015.
http://de.wikipedia.org/wiki/Kognition.

[You11] YOUTUBE: *Expedition ins Gehirn 1- Gedächtnis-Giganten*, 2011.
https://youtu.be/8ywnZMDYOac.

[You13a] YOUTUBE: *Eine Expedition ins Gehirn - Gedächtnis Giganten - Teil 2*, 2013.
https://youtu.be/pW-dHt0KsDk.

[You13b] YOUTUBE: *Eine Expedition ins Gehirn - Gedächtnis Giganten - Teil 3*, 2013.
https://youtu.be/Qpt93mFJgrM.

Die Riemansche Vermutung – Erinnern und Vergessen

Nina Schumann



Erinnern und Vergessen, das ist die Geschichte eines der berühmtesten und immer noch ungelösten Probleme der Mathematik, die Riemannsche Vermutung. Es ist mir ein Anliegen zu untersuchen, welche Menschen, Biographien und Umstände immer wieder zu einem Fortschreiten auf dem Weg zu einer Klärung der Hypothese geführt haben. Wer mögen wohl die nächsten Personen sein, die sich diesem heiligen Gral der Mathematik weiter nähern?

6.1 Zur Entstehungsgeschichte der Vermutung

Die Geschichte beginnt mit den Primzahlen, von welchen schon Euklid zu zeigen wusste, dass zu der Liste $2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 29, 31 \ldots$ unendlich viele weitere hinzuzufügen sind. Im 18. Jhd. fragte sich Leonhard Euler am Hofe von Katharina der Grossen in St. Petersburg, ob es denn eine Formel gäbe, die die nächste Primzahl in der Liste vorauszusagen vermag. An den Höfen von Luis XV.–Luis XVI in Paris und auch unter Friedrich des Grossen in Berlin stellte man gerne Mathematiker zu militärischen und wirtschaftlichen Zwecken an. Überlegungen zu den Primzahlen wurden nebenher und aus persönlichem Interesse verfolgt. Die magische Primzahlformel blieb aber aus.

Der 15-jährige GAUSS entdeckte 1792 einen Zusammenhang zwischen Logarithmen und Primzahltabellen. Die in Handel und Seefahrt genutzten Logarithmen verwandelten die Multiplikation sehr großer Zahlen in eine einfache Addition, Primzahltabellen erschienen so zufällig und nutzlos.

GAUSS überlegte wieviele Primzahlen wohl unter den Zahlen von 1 bis 1000, 1 bis 10 000, 1 bis N zu finden seien. Diese Überlegung wurde später als Gaußsche Vermutung bekannt und besagt: Jede $\ln(N)$-te Zahl ist eine Primzahl, wobei ln zur Basis e sei. Oder anders ausgedrückt: Es gibt $\frac{N}{\ln(N)}$ Primzahlen kleiner als $N \in \mathbb{N}$.

Immer auf den vollständigen, sicheren Beweis aus, zögerte er aber sehr seine Vermutung zu veröffentlichen, weshalb ein der französische Mathematiker LEGENDRE, der an der École Polytechnique in Paris unter NAPOLEON angestellt war, ihm zumindest zu Lebzeiten viele Ergebnisse bezüglich der Primzahlüberlegungen streitig machte. Dieser formulierte seine Überlegungen unter anderem in seinem Buch über die „Théorie des nombres“, auf das später ein Schüler namens BERNHARD RIEMANN stieß.

6.2 Göttingen, Geburt der Riemannschen Vermutung

Anfang des 19. Jahrhunderts beginnt die Zeit des Humboldtschen Bildungsideals. In Anlehnung an die Antike propagierte WILHELM VON HUMBOLDT die Tradition der Suche nach Wissen um seiner selbst willen, zunächst frei von Zwecken und Anwendungen. Gymnasien entstanden, Lehrer waren keine Geistlichen mehr sondern Hochschulabsolventen.

BERNHARD RIEMANN, Sohn eines Pastors in Quickborn, profitierte von dieser Strömung. Er war Schüler im Gymnasium in Lüneburg, das auch eine gut ausgesuchte Sammlung von Mathematikbüchern besaß. Sein Lehrer Schmalfuß entdeckte bald das außergewöhnliche Talent des Jungen und erlaubte RIEMANN in der Bibliothek, fernab der anderen Schüler, zu studieren. Schließlich legte RIEMANN seine Abschlussprüfung über die Legendresche „Théorie des Nombres“ ab.

RIEMANNS innerer Hang zum Perfektionismus trug schließlich dazu bei, dass er in der Mathematik solch eine Begabung zeigte, dass sein Vater, der eigentlich ein Theologiestudium vorsah, ihm das Studium der Mathematik an der Universität Göttingen erlaubte.

Den Wissensdurst RIEMANNS konnte die Universität jedoch nicht lange stillen, innerhalb eines Jahres waren die mathematischen Ressourcen Göttingens für ihn erschöpft. RIEMANN zog es nach Berlin, wo er mit mathematischen Größen wie DIRICHLET zusammenarbeiten konnte und sich für die neue Sprache der abstrakten Mathematik des französischen Mathematikers CAUCHY begeisterte. 1849 kehrte er zurück nach Göttingen, um bei dem inzwischen 70 Jahre alten GAUSS zu promovieren und seine Habilitationsschrift einzureichen.

Allerdings blieb RIEMANN immer ein Einsiedler, zögerlich seine Gedanken mit anderen Mitgliedern der Fakultät zu teilen. Allein DIRICHLET, der als Nachfolger von GAUSS eingesetzt eine entspanntere Atmosphäre verbreitete, bewegte RIEMANN manchmal dazu, seinen Schreibtisch zu verlassen. Auf einer dieser Spaziergänge entdeckte RIEMANN wohl den Zusammenhang der Zetafunktion mit den Primzahlen.

6.3 Die Riemannsche Vermutung

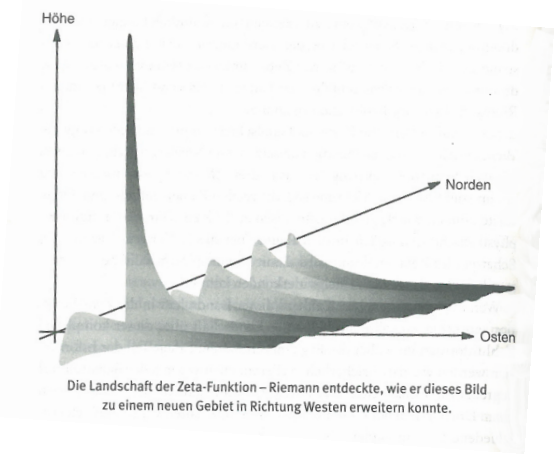
Dirichlet und Riemann arbeiteten mit der Zetafunktion

$$\zeta(z) = \frac{1}{1^z} + \frac{1}{2^z} + \frac{1}{3^z} + \frac{1}{4^z} + \cdots + \frac{1}{n^z} + \ldots \quad z \in \mathbb{C}.$$

Über das sogenannte Eulerprodukt sah Riemann einen direkten Zusammenhang zu den Primzahlen in der Form

$$\begin{aligned}\zeta(z) &= \frac{1}{1^z} + \frac{1}{2^z} + \frac{1}{3^z} + \frac{1}{4^z} + \ldots \\ &= \left(1 + \frac{1}{2^z} + \frac{1}{4^z} + \ldots\right) \times \left(1 + \frac{1}{3^z} + \frac{1}{9^z} + \ldots\right) \times \cdots \times \left(1 + \frac{1}{p^z} + \frac{1}{p^{2z}} + \ldots\right) \times \ldots\end{aligned}$$

Anstatt Potenzen aller natürlicher Zahlen zu betrachten, reicht es für den Wert der Zetafunktion sich auf Potenzen von Primzahlbrüchen zu beschränken. Mit den Ideen Cauchys, der relativ neuen Entdeckung der komplexen Zahlen und deren Anschauung in der komplexen Ebene untersuchte Riemann die Zetafunktion. Er begann die Hintergründe der Gaußschen Vermutung immer besser zu verstehen und konnte schließlich selbst eine bessere Näherungsfunktion für die Anzahl der Primzahlen $p < N \in \mathbb{N}$ angeben. Er merkte, dass mit der Kenntnis der Nullstellen der Zetafunktion der Fehler seiner Näherungsfunktion ausgemerzt werden konnte. Ein zehnseitiger Artikel anlässlich seiner Wahl zum Mitglied der Berliner Akademie blieb jedoch seine einzige Publikation zur Zahlentheorie – darunter auch die Riemannsche Vermutung. Er beschäftigte sich als einer der ersten ausführlich mit den Graphen komplexer Funktionen, hier die dreidimensionale Projektion des Graphen $z \mapsto |\zeta(z)|$.



Die Landschaft der Zeta-Funktion – Riemann entdeckte, wie er dieses Bild zu einem neuen Gebiet in Richtung Westen erweitern konnte.

Die Riemannsche Vermutung besagt:

> **Alle nichttrivialen Nullstellen der Zetafunktion befinden sich auf der sogenannten kritischen Geraden mit** $\mathrm{Re}(z) = 1/2$.

Riemann äußerte bewusst alle Behauptungen als Vermutungen, da ihm strenge Beweise seiner Meinung nach fehlten. Später flüchtete Riemann nach Italien, da in Göttingen 1866 die Heere von Hannover und Preußen aufeinandertrafen. Seine Haushälterin, vernichtete rigide das „Papierchaos“ in seinem Büro, bevor sie von entsetzen Mitgliedern der Universität gestoppt wurde. Damit gerieten weite Teile der Aufzeichnungen des verschlossenen Bernhard Riemanns in Vergessenheit.

6.4 Erinnern interkontinental: Cambridge und Indien

Erst 1924 gelang es einer interkontinentalen Zusammenarbeit sich wieder der Riemannschen Vermutung zu nähern. Auf der einen Seite waren es zwei britische Mathematiker, HARDY und LITTLEWOOD, die in Cambridge zusammen forschten und auf dem Gebiet der Zahlentheorie publizierten. Bisherige Ergebnisse zur Vermutung kamen von HADAMARD: Keine der Nullstellen liegt auf der Geraden $\mathrm{Re}(z) = 1$. LANDAU zeigte: Die meisten der Nullstellen liegen in einem Epsilonschlauch um die kritische Gerade $\mathrm{Re}(z) = 1/2$. Man wusste, dass die Zetafunktion unendlich viele nichttriviale Nullstellen hat, und dass die 71 bekannten darauf liegen.

HARDY bewies, dass unendlich viele auf der kritischen Geraden liegen. Damit wusste man aber nicht, wo genau die Nullstellen liegen und auch nicht, dass es keine Nullstellen fern ab der kritischen Geraden gibt. Der englische Einfluss zu diesem Thema war enorm, auf dem Festland waren die Ideen ausgegangen.

Im Hafen von Madras, Indien, saß damals ein von der Buchführung der Hafenbehörde unterforderter junger Mann namens SRINIVASA RAMANUJAN. In der Zahlentheorie völlig ungebildet, aber auch ohne großen Respekt vor solcherlei Überlegungen notierte er eigene Gedanken, Probleme und Ansätze in seinem kleinen Notizbuch. Inspiration waren ein Buch voll gesammelter (bereits bewiesener) mathematischer Probleme, die dort ohne Beweis aufgeführt wurden. Mit Hilfe seiner Göttin Namaigiri, wie er sagte, löste er sämtliche Probleme und eignete sich eine eigene mathematische Sprache an.

Nach mehreren erfolglosen Versuchen seine Ergebnisse in Form von Briefen nach England zu senden, wandte er sich direkt an HARDY, von dem er sich aufgrund eines Artikels erhoffte, einen ebenso verrückten Kopf gefunden zu haben wie er selbst. In der Tat, nachdem HARDY und LITTLEWOOD einige seiner Briefe durchgesehen hatten, zunächst höchst entrüstet, da sie nie Beweise für die darin aufgestellten Behauptungen enthielten, entschlossen sie sich, RAMANUJAN nach Cambridge zu holen. Die Kombination aus der unglaublichen Intuition RAMANUJANS, die viele Ideen hervorbrachte, und der Fähigkeit der Engländer, diese in nachvollziehbare Strukturen zu fassen, brachte die Mathematik um ein gutes Stück weiter. Der Kulturschock RAMANUJANS, der stets vegetarische Nahrung bevorzugte, nie Schuhe trug und auch das englische Wetter nicht ertrug, ließ RAMANUJAN erkranken und beendete schließlich die Zusammenarbeit.

6.5 Vergessen in den Wirren des 2. Weltkriegs

HILBERT versucht das Mathematische Institut in Göttingen aufrecht zu erhalten, doch durch den Druck der nationalsozialistischen Kräfte verschwinden oder fliehen jüdische und linkspolitische Mathematiker. Auch LANDAU und SIEGEL gehen schließlich. LANDAU, weil nationalsozialistischen Studenten ihm die Lehre zunehmend unmöglich machten, SIEGEL, weil ihm aufgrund der fehlenden Austauschmöglichkeiten mit anderen Mathematikern die Arbeitsgrundlage entzogen wurde. Letztendlich war es aber SIEGEL, der als junger Student den Nachlass RIEMANNS, ein auf den ersten Blick ungeordneter Papierhaufen, genauer durchforstet hat. SIEGEL erkannte in den

notierten Berechnungen, dass Riemann viel detaillierter und gründlicher gearbeitet hatte als von Hardy, Landau und Hilbert vermutet. 1943 stand fest, dass Göttingen als das „Mekka der Mathematik“ der Vergangenheit angehörte.

6.6 Selberg in der Abgeschiedenheit Norwegens

Einer Person kam die Abgeschiedenheit und der Stillstand des Informationsflusses bezüglich mathematischer Zeitschriften während der 2. Weltkriegs zugute. Dem norwegischen Mathematiker Selberg.

„Es war wie ein Gefängnis. Man war vollkommen abgeschnitten; man konnte sich auf seine eigenen Ideen konzentrieren; man konnte nicht abgelenkt werden durch das, was andere tun. In dieser Hinsicht erachte ich die Lage für meine Arbeit eher als vorteilhaft.“

Riemann erwähnte, er könne beweisen, dass sich die meisten Nullstellen der Zetafunktion auf der kritischen Geraden befinden. Hardy zeigte immerhin, dass es unendlich viele Nullstellen auf der kritischen Geraden gibt. Atle Selberg konnte schließlich zeigen, dass der Anteil der Nullstellen auf der kritischen Geraden nicht verschwindend gering ist, sondern mindestens einen kleinen Prozentsatz aller Nullstellen der Zetafunktion ausmacht.

6.7 Arbeiten im Exil: Princeton, USA

An der Universität Princeton in den USA, ähnlich wie Göttingen, ein kleines abgeschiedenes Paradies, fern von ablenkenden Einflüssen Zufluchtsort für sämtliche aus Europa geflohene Wissenschaftler, widmete man sich weiter den Primzahlen und der Riemannschen Vermutung. Über die Erfolgsaussichten waren sich die Köpfe uneinig. Einstein pflegte wohl stets zu behaupten: „Der Herrgott ist raffiniert, aber bösartig ist er nicht.“ Andere pflegten sich Hardy anzuschließen, der der Meinung war, dass in den Primzahlen eine diabolische Bosheit liege. Letztendlich konnte aber eine weitere Fragestellung bearbeitet werden: Ist Abstand zwischen den Primzahlen beliebig groß? Das Postulat von Bertrand besagt, dass wenn man eine natürliche Zahl $n \in \mathbb{N}$ wählt, so findet man unter $2n$ wieder eine Primzahl. Der Mathematiker Erdős behauptete: „Es wird noch mindestens eine Million Jahre dauern, bis wir die Primzahlen verstanden haben.“

6.8 Das Computerzeitalter beginnt

Der englische Mathematiker Alan Turing (1912–1954), der unter anderem durch die Dechiffrierung der *Enigma*, der Verschlüsselungsmaschine der Deutschen Wehrmacht im 2. Weltkrieg bekannt wurde, näherte sich der Riemannschen Vermutung mit einem Vorläufer der heutigen Computer. Er baute eine Maschine, die die ersten 1104 Nullstellen der Zetafunktion überprüfte. Heute im Zeitalter von Hochgeschwindigkeitsrechnern sind 300 Millionen Nullstellen der Zetafunktion untersucht und sie liegen alle auf der kritischen Geraden. Natürlich könnten wir immer weiter rechnen.

Angenommen man fände mit der Hilfe von Rechnern eine Nullstelle, die nicht auf der Geraden mit $\mathrm{Re}(z) = 1/2$ liegt, so wäre die Riemannsche Vermutung widerlegt. Das sogenannte Vier-Farben-Theorem, dass sich jede beliebige Landkarte mit nur vier Farben einfärben lässt, konnte mittlerweile mit Hilfe von Computern gezeigt werden. Ob diese im Fall der Riemannschen Vermutung die Mathematik weiterbringen, ist wohl fraglich. Den Primzahlen, nicht zuletzt auch wegen ihrer Bedeutung für die Kryptographie heute, wird die Mathematik wohl noch lange auf der Spur bleiben.

Welche Gegebenheiten konnten nun dazu beitragen, dass das Arbeiten an der Riemannschen Vermutung nicht in Vergessenheit geriet? Zunächst ist wohl eine offene Haltung der Gesellschaft für wissenschaftliche Forschung von Nöten, die nicht unbedingt einen Zweck oder direkte Anwendung verfolgt, wie es heute oft auf mathematische Forschung zutrifft. Den Querköpfen HARDY und LITTLEWOOD in Cambridge halfen ihre Unkonventionalität und ihre Bereitschaft auf die Verrücktheit RAMANUJANS einzugehen. Ihm half in Indien seine Naivität, dass er keine Ehrfurcht vor den Primzahlen zeigte und seine außergewöhnliche Begabung. Bei SELBERG im 2. Weltkrieg war es vor allem die Isolation, die Früchte trug. Das friedvolle Princeton überzeugte durch die Abgeschiedenheit der Exilmathematiker, dem Mix aus verschiedensten Köpfen, gehobenen Gehältern und die weniger ausgeprägte Etikette, die einen offenen Gedankenaustausch förderte.

Spannend finde ich die Frage, ob das globale Kommunikationsnetzwerk der Mathematikergemeinde die bis heute ungeklärte Riemannsche Vermutung mit einer Art Schwarmintelligenz weiterbringen kann. Auch einen zweiten/eine zweite RAMANUJAN könnte es geben, der/die den heutzutage sehr leichten Zugang zur Wissenschaft durch das Internet nutzt. Eine andere Überlegung wäre, dass im Arbeiten an der Vermutung vermutlich keine einzelnen Mathematiker mehr herausragen, da eine produktive Abgeschiedenheit ohne Ablenkung, wie sie so oft der Fall war, heute medial und räumlich nur noch schwer möglich ist.

Literatur

[dS06] SAUTOY, MARCUS DU: *Die Musik der Primzahlen*. C. H. Beck oHG, 2006.

[Har37] HARDY, GODFREY HAROLD: *The Indian Mathematician Ramanujan*. The American Mathematical Monthly, **44**(3):137–155, März 1937.

[Hod83] HODGES, ANDREW: *Alan Turing: The Enigma*. Simon & Schuster, New York, 1983.

[ML95] MAC LANE, SAUNDERS: *Mathematics at Göttingen under the Nazis*. Notices of the American Mathematical Society, **42**(10):1134–1138, 1995.

Darf ich mich erinnern?

Biographien aus einem politisch schwierigen System

Matthias Seifert



Wie kam ich auf dieses Thema?

Fragt man eine Person „Kannst du dich noch erinnern ... ?“, so ist die Antwort auf diese Frage oft einfach. Doch was ist, wenn man sich an Dinge erinnert, für die man eventuell mit schweren Konsequenzen rechnen muss, wenn man sich öffentlich damit auseinandersetzt? Eine bedrückende Vorstellung, die an George Orwells Buch „1984“ erinnert – eine Vorstellung, die in Teilen Deutschlands bis ins Jahr 1989 nicht sehr realitätsfremd war. Ein einzelnes Wort, das eine Frage in eine völlig andere Richtung dreht, hat in mir einen Stein ins Rollen gebracht, aus dem ein ganzer Vortrag wurde. Als jemand, der Interesse für Geschichte mitbringt, weiß ich, dass reine Fakten nicht wirklich als lebendige Erinnerung taugen. Zeitzeugenberichte hingegen machen aus Fakten Geschichten. Ihnen wohnt Emotionalität inne. Doch sind diese Berichte gerade

aufgrund ihrer Emotionalität nicht selten widersprüchlich, denn sie geben nur den Blickpunkt einer einzelnen Person wieder. Es gibt aber nicht immer nur Schwarz und Weiß oder Richtig und Falsch. Vielmehr ist es ein Puzzle aus verschiedensten Teilen, die je nach Zusammensetzung ganz unterschiedliche Ergebnisse liefern können. Das zeigt sich auch an der Frage im ersten Satz, denn neben den eindeutigen Antworten „Ja“ oder „Nein“ kann es auch hier ein „Ich weiß nicht so recht“ geben. Erinnerungen können verblasst, verfälscht worden oder nur noch teilweise vorhanden sein.

Wovon handelte der Vortrag?

Für den Vortrag selbst habe ich zahlreiche Zeitzeugenberichte ausgewertet, von denen es letztlich vier in den Vortrag geschafft haben. Dabei handelte es sich um sehr unterschiedliche Berichte und Sichtweisen aus einer politisch schwierigen Zeit. Um diese jedoch in einen besseren Kontext zu rücken, war es zunächst notwendig, sich kurz einen Überblick zu verschaffen, wie man in der DDR allgemein mit dem Thema Erinnerung umgeht. Zudem lohnt hier sich ein Vergleich mit der Bundesrepublik Deutschland, wo eine völlig andere Erinnerungskultur herrschte.

7.1 Eine Vergangenheit, zwei Erinnerungskulturen

Erinnerungskultur im Allgemeinen – Ein Vergleich zwischen DDR und BRD

Will man sich damit auseinandersetzen, wie in der DDR mit dem Thema Erinnerung umgegangen wurde, kommt man nicht am historisch größten Thema des 20. Jahrhunderts vorbei – dem zweiten Weltkrieg und der NS-Zeit.

Da sich die DDR von Beginn an als antifaschistischer Staat profiliert hatte, sah man sich als Nachfolger der KPD, der Kommunistischen Partei, deren Widerstandskampf gegen den Faschismus man fortsetzen musste. Durch dieses Selbstverständnis als „neues und besseres Deutschland“, sowie dem Austausch der kompletten politischen Elite, sah man sich in keiner Verantwortung und entging so der Pflicht, sich mit der Vergangenheit auseinanderzusetzen. Dennoch war die Zeit unter Hitler gerade in den ersten Nachkriegsjahren kein Thema, was sich gesellschaftlich ignorieren lies, weswegen zunächst alle als „Opfer des Faschismus“ bezeichnet wurden, die „unter der Hitlerdiktatur heldenmütig für die Freiheit des deutschen Volkes“ gekämpft hatten, sowie die „Hinterbliebenen der von den Faschisten ermordeten Helden des deutschen Freiheitskampfes“. Bei dieser Einstufung war es zunächst egal, aus welcher Überzeugung man Widerstand leistete. Doch schon bei dieser Formulierung zeigen sich erste Differenzierungen, denn das besondere Augenmerk lag auf den Personen, die sich gegen das System aufgelehnt, und dagegen gekämpft haben. Opfer von Verfolgung oder die Toten der Konzentrationslager erfuhren weniger Aufmerksamkeit, da das Bild des tapferen kommunistischen Kämpfers sich für die SED besser als Propagandamittel eignete.

Da man sich so von allen Schuld- und Verantwortungsfragen zu lösen versuchte, wurden bis Mitte der 70er Jahre Entschädigungszahlung an Opfer oder aber Reparationszahlungen verweigert. Trotz dieser starken Abgrenzung vom Faschismus wurden in den Jahren nach dem Krieg bereitwillig frühere NSDAP Mitglieder in die Partei

aufgenommen, sofern sie bereit waren, am Aufbau der DDR mitzuarbeiten. Die Opfer des NS-Regimes zeigten sich aufgrund dieser Tatsachen enttäuscht und schockiert, weswegen sich einige von ihnen zusammenschlossen, und die VVN gründeten, die Vereinigung der Verfolgten des Naziregimes. Gemeinsam versuchten sie so, ein Bewusstsein für die Verbrechen der Nationalsozialisten zu schaffen und sich für eine angemessene Entschädigung der Opfer einzusetzen. Da dies jedoch gegen die Ideologie der DDR verstieß, wurde die VVN schon 1953 aufgelöst und durch das „Komitee der Antifaschistischen Widerstandskämpfer" ersetzt, das allerdings hauptsächlich mit Parteimitgliedern besetzt war. Besonders betroffen von dieser fehlenden Aufarbeitung waren die jüdischen Opfer, was nicht zuletzt daran lag, dass auch die Sowjetunion eher antisemitisch eingestellt war. Dies zeigte sich auch im Fall von Paul Merker, welcher sich für eine Entschädigung der Juden einsetzte und als „Agent und Förderer des Zionismus" verurteilt wurde. All dies führte letztlich zu einer großen Fluchtwelle der Juden aus der DDR, wodurch wiederum die Aufarbeitung noch schwieriger wurde. Letztlich war kaum ein Bewusstsein für das Leiden der jüdischen Bevölkerung vorhanden.

Eine wirkliche Auseinandersetzung mit dieser schwierigen Vergangenheit hat es also in der DDR nie gegeben. Vielmehr wurde versucht, die Opfer des NS Regimes zu instrumentalisieren und für die eigene Propaganda als Widerstandskämpfer in Szene zu setzen.

Vergleich mit der Bundesrepublik Deutschland

Um den Umgang der DDR mit dem schweren Erbe der NS Zeit in einem größeren Kontext betrachten zu können, ist es nötig, auch einen Blick auf die Bundesrepublik und ihre Art der Aufarbeitung zu werfen. Dabei findet man schnell große Unterschiede, aber auch Ähnlichkeiten in der Art und Weise, wie man an diese Zeit erinnert.

Wie in der DDR verlief die politische Aufarbeitung der faschistischen Zeit besonders in den ersten Jahren nach dem Krieg eher schleppend, auch wenn die Diktatur von Anfang an ein präsentes gesellschaftliches Thema war. Wirklich tiefergreifende Diskussionen kamen anfangs nicht zustande, weswegen der Holocaust bis etwa Ende der 50er Jahre kaum öffentliche Beachtung fand. Vielmehr sah man sich selbst als eine Art Opfer von Hitlers Regime, der das deutsche Volk für seine Zwecke missbraucht hatte. Eine generelle Erinnerung an die Kriegszeit war zwar vorhanden, allerdings wurde auch hier nicht wirklich zwischen den Opfern unterschieden.

Erst Anfang der 60er Jahre, als eine Kontroverse über die Kriegsschuld am ersten Weltkrieg entstand, kam auch die Frage nach der Verjährung von NS Verbrechen auf. Das führt dazu, dass das öffentliche Interesse an einer Konfrontation mit der Vergangenheit immer größer wurde, vor allem die Studenten drängen mehr und mehr auf eine Aufarbeitung. Als Zeichen für die Aufarbeitung, die nun auch in der Politik präsenter wurde, gilt bis heute der Kniefall Willy Brandts in Polen, welcher mit dieser Geste eine Aussöhnung mit den Opfern anstrebte. Seit etwa Mitte der 70er Jahre existiert nun in der Bundesrepublik eine lebhafte Erinnerungskultur, sowie ein öffentliches Interesse an einer Entschädigung für die Opfer.

7.2 Die Stasi – Der Machtsicherungsapparat der Partei

Motivation und Selbstverständnis des Ministeriums für Staatssicherheit

Viele der folgenden Biographien und Geschichten werfen ein oft schwer nachvollziehbares Bild auf die Stasi und ihre Mitarbeiter. Die Frage, wie und warum sich – Stand 1990 – fast 90.000 Menschen durch ihre Mitarbeit an ihren zweifelhaften Methoden beteiligen, habe auch ich mir gestellt und bin auf der Suche nach Antworten zumindest auf einige Anhaltspunkte gestoßen.

Wie so oft lockte vor allem eines viele Parteitreue zu einem Posten beim Ministerium für Staatssicherheit – das Geld. Denn für DDR-Verhältnisse profitierte man von einem sonst kaum vorhandenen Wohlstand, zahlreichen Privilegien und einem guten Gehalt. Zum Vergleich: Ein studienberechtigter Offiziersanwärter verdiente beim Ministerium ca. 1100 Mark, eine Verkäuferin im Einzelhandel hingegen nur 600-800 Mark. Auch als Ingenieur verdiente man nur bis 1200 Mark. Zudem hegten viele die Hoffnung auf eine schnelle Schreibtischkarriere und ein daraus resultierendes ruhiges Leben mit einem gesicherten und guten Gehalt.

Viele gaben zudem an, dass sie das Verfassen von operativen Analysen, also dem Auswerten der gesammelten Informationen zu den Personen, als eine Art intellektuelle Herausforderung betrachten. Für sie war die Zugehörigkeit zur Stasi ein Privileg, denn durch gezielte Propaganda wurde das Gefühl einer elitären Einheit geschaffen, zu der man gehörte. Man gehörte zum Schild und Schwert der Partei, jede Gefahr für den Staat musste schon präventiv vermieden werden. Die bereits angesprochenen außergewöhnlich hohen Gehälter sowie die Privilegien verstärkten dieses Elite-Gefühl. Das Selbstverständnis vieler hauptamtlicher Mitarbeiter war somit, dass nur die besten und normtreusten Bürger dazu berufen waren, im Dienst des Ministeriums für Staatssicherheit zu stehen. Hier einen Job zu haben, galt in hohen Parteikreisen als Auszeichnung. Man war auserwählt für einen „historischen Auftrag“, dem Schutz des Sozialismus. Dieses mit viel Propaganda erreichte Selbstverständnis schuf einen Überwachungsapparat, den es bis dahin so noch nie gegeben hat. Doch nicht jeder, der bei der Stasi arbeitete, war zwangsläufig auch von ihrer Ideologie überzeugt und nicht nur unter den Oppositionellen regte sich Widerstand. Was es bedeuten konnte, ins Visier der Überwachung zu geraten, zeigen zahlreiche persönliche Zeitzeugenberichte.

7.3 Biographien aus einem politisch schwierigen System

7.3.1 Vera Lengsfeld

Den Beginn machte die spätere Bürgerrechtlerin VERA LENGSFELD, die als Tochter eines Mitarbeiters des Ministeriums für Staatssicherheit ihre ganz eigenen Einblicke in das System der DDR schilderte. Erzogen wurde sie nach den damaligen sozialistischen Ideologievorstellungen. Schon im Elternhaus wurde ihr beigebracht, dass man nach dem Krieg von vorn anfangen muss, aber sich in der DDR langfristig auf der

Siegerstraße befindet. Eines Tages wird es den Bewohnern im Osten viel besser gehen als ihren kapitalistischen Nachbarn. Dass ihr Vater sogar für die Stasi arbeitete, war ihr allerdings zunächst nicht bewusst. Sie dachte, er würde bei der Armee arbeiten. Als sie dann eines Tages beim Reinigen des elterlichen Schlafzimmers auch den Anzug des Vaters abbürstet und dabei der Dienstausweis zum Vorschein kommt, ist sie zunächst schockiert.

Ab dieser Zeit kollidiert Vera immer öfters mit der Ideologie der Eltern, was nach und nach dazu führt, dass sie mit dem Staat und dem System der DDR bricht. So war sie unter anderem als Kind in einem Ferienlager der Staatssicherheit, zusammen mit Kindern von Mitarbeitern, aber auch mit westlichen, aber dennoch sozialistisch erzogenen Kindern. Wie nicht unüblich, freundete sie sich mit einem Mädchen aus Frankreich an, und es entstand eine rege Brieffreundschaft. Da sie mit ihren Eltern aber in einem Wohnviertel für Mitarbeiter des Ministeriums für Staatssicherheit lebte, blieb dies nicht lange unentdeckt. Ein „aufmerksamer“ Nachbar nahm Notiz von den für DDR-Verhältnisse ungewöhnlichen Briefen. Eines Tages lässt er sich eines der Schreiben aus Frankreich vom Postboten aushändigen und meldet der Hausverwaltung, dass das Kind der Lengsfelds Kontakt mit dem Klassenfeind hat. Trotz aller Beteuerungen, dass die Brieffreundin aus Frankreich vertrauenswürdig sei, muss sie die Freundschaft beenden.

Auch weiterhin eckt sie oft an der sozialistischen Ideologie an. Als sie etwa eines Tages eine Freundin besucht, die außerhalb des Stasi Wohnbezirks lebt, stellt sie fest, dass der Lebensstandard, den sie aus der staatlich unterstützten Elternwohnung kennt, weit entfernt vom Standard der DDR-Bevölkerung ist. Vieles, was sie daheim für selbstverständlich hielt, wie etwa ein eigenes Bad in jeder Wohnung, fehlte in anderen Wohnungen noch komplett.

Doch das einschneidende Erlebnis betrifft ihre erste große Liebe. Als sie sich in den Sohn des jugoslawischen Handelsattachés verliebt und aus den beiden ein Paar wird, kommt sie schnell in Konflikt mit der Polizei. Als einer der wenigen Personen hat jener Sohn die Möglichkeit „Westkleidung“ zu tragen, was zwangsläufig auffällt. Nachdem sie einige Zeit versuchte, die Beziehung heimlich fortzuführen, sieht sie irgendwann, dass es so keinen Zweck hat, und trennt sich von ihrer ersten großen Liebe.

Ab diesem Punkt bricht sie komplett mit der Ideologie ihres Vaters, und gerät selbst in das Visier der Staatssicherheit. Das zeigt sich auch nach der Wende, als sie erfuhr, dass ihr erster Ehemann in Wirklichkeit für die Stasi arbeitete und auf sie als Spitzel angesetzt war.

7.3.2 Marko Hermersdörfer & Kerstin Harrabi

Die zweite Geschichte ist die von Marko Hermersdörfer. Er und sein bester Freund Bernhard waren damals Schüler der Erweiterten Oberschule Friedrich Engels in Dresden, wo es zu einem Schüleraustausch mit einer französischen Klasse aus Straßburg kam. Wie schon bei Vera Lengsfeld freundeten sich auch hier die Schüler beider Schulen miteinander an, was dazu führte, dass Marko und sein Freund Bernhard einen Brief an den Bürgermeister von Dresden schrieben, in dem sie sich dafür einsetzten, dass zwischen den beiden Schulen eine Partnerschaft entstehen

sollte.

Unterdessen schreibt einer der Austauschschüler in Straßburg einen Aufsatz über seine Reise nach Dresden und schickt diesen auch an MARKO mit der Bitte, ihn der Klasse zu zeigen. Als jedoch eine Lehrerin den Brief aus Frankreich entdeckt, meldet sie dies umgehend der Schulleitung, die wiederum die lokale Staatssicherheitsbehörde einschaltet. MARKO und sein Freund BERNHARD werden daraufhin zum Rektor gerufen, wo ein Mitarbeiter des MfS auf sie wartet. Dort werden sie damit konfrontiert „Schund und Schmutzliteratur" (so die damalige Bezeichnung für Schrifterzeugnisse aus dem Westen) zu verbreiten. Auch ihr Brief an den Bürgermeister wird für die angebliche Verbindung zum Klassenfeind wieder hervorgeholt.

Während sich MARKO in dieser Situation schnell einschüchtern lässt, und versucht zurück zu rudern, bleibt BERNHARD auf seinem Standpunkt bestehen, nichts Falsches getan zu haben. Das führt jedoch dazu, dass BERNHARD und seine Familie in den Augen der Staatssicherheit zu Staatsfeinden werden, und somit in das Interesse der Bespitzelung rücken.

Da MARKO sich im Gespräch mit dem Schulleiter offenbar als leicht einzuschüchtern erwiesen hat, versuchen Mitarbeiter der Stasi ihn anzuwerben. Als er eines Tages zum Wehrbezirkskommando berufen wird, denkt MARKO, dass es sich um seine Einberufung zum Wehrdienst handelt. Allerdings erwartet ihn ein MfS Offizier, der vom Ministerium zahlreiche private Informationen zu MARKO und seiner Familie erhalten hat, um ihn damit zu einer Zusammenarbeit zu zwingen. Durch die bekannten Informationen versucht man ihn unter Druck zu setzen. So wird ihm angedroht, ihm das Studium zu verweigern und damit seine Zukunft zu verbauen. Das führt dazu, dass MARKO zunehmend in eine persönliche Krise gerät, in der er feststellen muss: Entweder er verrät seine Freunde, oder er opfert seine Zukunft. Da es sich hier um staatliche Erpressung handelt, hat er niemanden, an den er sich wenden kann, und verliert das Vertrauen in alle, sogar seine Familie.

Letztlich entscheidet er sich jedoch gegen eine Zusammenarbeit mit dem Ministerium für Staatssicherheit und ist sich dabei der Folgen bewusst. Auch später versucht man immer wieder, ihn zur Bespitzelung seines besten Freundes zu drängen, doch MARKO lehnt auch weiterhin ab.

Ähnlich erging es auch KERSTIN HARRABI, einer Schülerin aus Thüringen. Sie kam in ihrer Schulzeit nie wirklich in Kontakt mit dem Staatsapparat der DDR und war auch sonst eine eher unauffällige Schülerin mit guten Noten. Um so verwunderter war sie, als sie eines Tages in das Zimmer des Schulleiters gerufen wurde, wo sie jedoch einen Mitarbeiter der Stasi vorfand. Die Stimmung war gelassen, er offerierte ihr sogar eine Zigarette und etwas zu trinken. Fast schon kumpelhaft kam er mit ihr ins Gespräch und erklärte ihr, dass die Staatssicherheit auch Schüler rekrutiert, die dann wiederum andere Schüler ausspähen sollten. Doch sie zögert zunächst, denn sie hat mit niemandem in der Klasse ein Problem. Allerdings erhöht die Staatssicherheit den Druck immer mehr, und letztlich knickt sie ein, um sich selbst nicht die Zukunft zu verbauen. Wöchentlich trifft sie sich nun in der örtlichen Kneipe mit einem Mitarbeiter des Ministeriums für Staatssicherheit, um Bericht zu erstatten. Das ständige Bespitzeln und Beobachten ihrer Klassenkameraden führt allerdings dazu, dass sie sich immer mehr von ihnen abkapselt, sie fühlt sich allein gelassen, da

sie sich an niemanden wenden kann. Letztlich vertraut sie sich ihrem Deutschlehrer an, zu dem sie schon vorher ein gutes Verhältnis hatte. Doch auch er kann ihr in dieser Lage nicht helfen. So geht sie im Auftrag der Stasi sogar Beziehungen mit Jungs ein, deren Eltern oder Verwandte unter Beobachtung stehen. Erst als sie von ihrem Kontaktmann vom Ministerium für Staatssicherheit gedrängt wird, mit einem ihr unbekannten Jungen zu schlafen, um ihm Informationen zu entlocken, kappt sie den Kontakt, wohl wissend, dass sie sich damit selbst schadet und möglicherweise sogar zum Ziel von Bespitzelungen wird.

Diese Art von „Mitarbeiterrekrutierung“ ist, wie die beiden Fälle Marko und Kerstin zeigen, kein Einzelfall in der DDR gewesen. Es gab sogar ganze Abteilungen der Staatssicherheit, die sich auf das Anwerben von Schülern spezialisiert haben. Nur selten lehnten sie eine Zusammenarbeit ab, denn die Stasi hatte Informationen und Möglichkeiten, die Schüler massiv unter Druck zu setzen.

Übrigens: Kerstins Deutschlehrer, dem sie ihren Kummer anvertraut hatte, war, wie sich später herausstellen sollte, selbst ein inoffizieller Mitarbeiter beim Ministerium für Staatssicherheit. Laut eigener Aussage wurde auch er massiv unter Druck gesetzt und so zu einer Zusammenarbeit gedrängt.

Psychoterror als akademisch gelehrte Methodik

Um nachzuvollziehen, welchen Druck die Staatssicherheit aufbauen konnte, und wie sehr die Opfer darunter gelitten haben, ist es nötig, kurz auf die Vorgehensweise der Mitarbeiter einzugehen und zu erläutern, wie mit persönlichen Daten und Informationen umgegangen wurde.

Was damals niemand wusste war, dass die Methoden der Stasi sogar gesetzlich verankert waren. Selbst die so genannte „Zersetzungstaktik“ war ein Teil des offiziellen Plans. Hierbei kam es zu gezielten Eingriffen in das Privatleben und die persönliche Umgebung der betroffenen Person, etwa durch die Organisation von Krisen und Problemen. Die sollten verhindern, dass das Opfer das Gefühl von Stabilität im Leben erhält, und ihm das Gefühl geben, das Leben selbst nicht mehr unter Kontrolle zu haben.

Den Anstoß zu derartigen Maßnahmen gab die politische Öffnung in Richtung Westen in den 70er Jahren. Es sah in den Augen der DDR nicht besonders gut aus, wenn man in den eigenen Gefängnissen zahlreiche politische Gefangene hatte, weswegen man nach alternativen Möglichkeiten suchte, so genannte Staatsfeinde zu bekämpfen. Im Zuge dessen wurde die geheime Richtlinie 1/76 erlassen, die „Zersetzungsmaßnahmen dann erlaubt, wenn das Ansehen der DDR in Gefahr ist“. Man hatte für diese Art des psychologischen Terrors sogar einen Studiengang an der Universität in Potsdam eingerichtet, um zu erforschen, wie man noch effizienter und subtiler agieren könne.

In Schritt 1 der Zersetzungsmaßnahmen sammelte man hauptsächlich Informationen über das Opfer. Dafür griff man auf alles Mögliche zurück. Es wurden Akten gewälzt, oder aber Mitarbeiter im Außendienst darauf angesetzt, möglichst viel über die Person herauszufinden. Man brauchte alle Arten an Informationen, um so die ganz persönlichen Schwachpunkte des Opfers herauszufinden. Selbst die kleinsten Details konnten somit eine große Wirkung entfachen. Zahlreichen Mitarbeitern von

damals ist bis heute nicht klar, wie wichtig möglicherweise die in ihren Augen unscheinbare Information gewesen ist, und welchen nachhaltigen Schaden dies bei vielen Opfern hinterlassen haben könnte. Hatte man ausreichend Informationen beschafft, konnte man mit Schritt 2, der eigentlichen Zersetzungstaktik beginnen. Hier wurde dann direkt in das Leben der Betroffenen eingegriffen, je nach Opfer mit ganz unterschiedlichen Mitteln und Zielen.

7.3.3 Ulrike Poppe

ULRIKE POPPE war selbst Opfer der Zersetzungsmaßnahmen der Stasi. Sie berichtet unter anderem von kleineren Schikanen im Alltagsleben, wie wiederholt zerschnittene Reifen am Fahrrad, während sie Einkaufen war. Lauter Dinge, die auf den ersten Blick eher nach einem „dumme Jungen Streich“ aussahen, und wo man niemals sicher sagen konnte, ob da wirklich ein Angriff der Stasi dahinter steckte. Sie selbst begann nach und nach an sich selbst zu zweifeln und bekam das Gefühl, ihrem eigenen Leben nicht gewachsen zu sein. Eines Tages erhielt ULRIKES Mann einen Anruf von einer unbekannten Person, die ihm mitteilte, dass seine Frau gerade mit einem anderen im Bett liege. Daraufhin rief er selbst bei ULRIKE an und fragte nach. Somit war beiden klar, dass die Staatssicherheit diesen Anruf initiiert hatte, als Teil der perfiden Zersetzungstaktik. Nach der Wende, als man ihnen Einsicht in die Akten gewährte, stellte sich heraus, dass über die Jahre mehrere Versuche unternommen wurden, einen anderen Mann an ULRIKE POPPE heran zu schleusen, um die Ehe der beiden zu zerstören. Funktioniert hat diese Taktik nicht, da beiden bewusst war, dass sie sich im Visier der Staatssicherheit befanden und daher sehr offen miteinander umgingen.

7.3.4 Markus Meckel

Zu spüren bekommen hat diese Art der psychologischen Zersetzung auch der damalige Pfarrer MARKUS MECKEL aus Brandenburg. Er gehörte schon früh zu den Kritikern und Aktivisten gegen das DDR Regime und war damit auch von Beginn an ein Ziel der Staatssicherheit. Doch auch seine tiefe Verbindung zur Religion war ein Problem für den DDR Staatsapparat, da Religion nicht zu dem „real existierenden Sozialismus“ passte. Die ablehnende Haltung der DDR gegenüber der Religion machte sich oft bemerkbar, auch wenn sie zumindest theoretisch die Religionsfreiheit garantierte. So wurde unter anderem die Jugendweihe eingeführt, die als Gegenpol zur kirchlichen Konfirmation gefeiert wurde. Man konnte sich zwar auch konfirmieren lassen, hatte aber als Mitglied der Kirche praktisch keinerlei Karrierechancen in der DDR.

Als die Meckels eines abends auf der Geburtstagsfeier eines Freundes waren, wurden sie auf der Rückfahrt morgens um 3 von einem Polizisten mitten im Wald angehalten. Bei diesem mussten sie eine ausführliche Verkehrskontrolle durchmachen. Für Pfarrer MECKEL war in dieser Situation klar, dass sich gerade die Staatssicherheit bei ihm daheim umgeschaut hatte, auch wenn es dafür keine Beweise gab. Deutlicher zu spüren bekam er den Eingriff in seine Privatsphäre, als er und seine Familie an die Ostsee in den Urlaub fuhren. Er bekam einen Anruf aus seiner Heimatstadt, wo ihm

mitgeteilt wurde, dass überall Fotos von ihm und seiner Familie verteilt wurden, die sie beim Nacktbaden am FKK Stand zeigten. Dieses Ereignis war besonders für seine Frau schwer zu verarbeiten. Er selbst versuchte aber, jederzeit offen mit dem Eingriff in sein Privatleben umzugehen, auch mit seiner eigenen Gemeinde.

Als dann 1990 die erste wirklich freie Wahl in der DDR stattfand, hat es Markus Meckel für kurze Zeit zum Außenminister der DDR geschafft.

7.3.5 Heiko Lietz & Karin Ritter

Ähnliche Erfahrungen mit der Staatssicherheit hat auch Heiko Lietz und seine Freundin, Karin Ritter, gemacht. Heiko war wie Pfarrer Meckel in der Bürgerrechtsbewegung recht aktiv und wurde dadurch zum Ziel für die Stasi. Dessen war er sich aber jederzeit bewusst, weswegen er begann, kleine Fallen in seiner Wohnung aufzustellen. Das konnte beispielsweise ein Papierschnipsel auf einer Schublade oder ein Haar in der Tür sein. Sobald diese offenbar unwichtigen Dinge nicht mehr an ihrem Platz waren, wusste er, dass er ungebetenen Besuch gehabt hatte. Daher war für ihn auch früh klar, dass er keinerlei Privatsphäre mehr haben würde und sich zu keiner Zeit wirklich sicher und unbeobachtet fühlen konnte. Für Außenstehende sah dies nach einem übertrieben paranoiden Verhalten aus, doch wie real die Gefahr war, wie der Staat hier sein Kontrollinstrument ausüben konnte, wird klarer, wenn man sich einen anderen Fall anschaut. Einem Opfer des Stasi-Terrors wurde extra ein Freund in sein Umfeld eingeschleust, der über viele Jahre eine enge Freundschaft aufbauen sollte und dies auch geschafft hat. Eines Tages fuhren beide sogar gemeinsam mit ihren Familien in den Urlaub, wo der eingeschleuste Freund den Auftrag hatte, das Opfer zu vergiften. Diese Art des tiefen Vertrauensmissbrauchs sorgte unweigerlich dafür, dass sich viele Opfer, die sich verfolgt fühlten, aus dem sozialen Leben zurückzogen.

Wie stark diese Skepsis selbst gegenüber engen Freunden und Familienmitgliedern einem Menschen zusetzen kann, verdeutlicht der Fall von Heiko Lietz' Freundin Karin Ritter. Sie war Kinderärztin, ebenfalls aktiv in der Friedensbewegung, und hatte schon früher mit depressiven Störungen zu kämpfen, was sie für die Staatssicherheit besonders angreifbar machte. Laut Heiko hatte sie ein „wesentlich weniger dickes Fell" als er und hatte entsprechend schwer mit den subtilen Maßnahmen der Stasi zu kämpfen. So wollte sie etwa Artikel für eine oppositionelle Zeitung schreiben und dafür einen Schreibmaschinenkurs belegen. Aus den offiziellen Akten geht hervor, dass „dies mit allen Mitteln zu verhindern" sei, was letztlich auch gelang. Später ging diese Schikane sogar im Beruf weiter, wo extra ein Arzt an sie herangeschleust wurde, der zur Aufgabe hatte, sie im Job zu diffamieren. Er widersprach ihren Diagnosen, griff sie verbal vor Patienten an, und ließ in Karin immer mehr Selbstzweifel wachsen, ob sie nicht den falschen Beruf gewählt hatte. Nachdem sie in ihrem Beruf nicht mehr glücklich war, wurden die Maßnahmen noch weiter auf ihr privates Leben ausgedehnt. Während sie nicht in der Wohnung war, verschafften sich Mitarbeiter der Stasi Zutritt und veränderten kleinere Sachen, wie etwa das Umstellen von Gegenständen, oder das Öffnen von Dosen. Diese scheinbarbanalen Dinge reichten aber aus, um Karins Leben komplett aus der Bahn zu werfen. Da sie schon vorher stark unter Selbstzweifeln litt, fiel dieser Psychoterror auf besonders fruchtbaren

Boden. Sie begann sich zurückzuziehen. Nicht einmal mehr ihre engsten Freunde ließ sie an sich heran, zumal ihr auch viele von ihnen gar nicht glauben wollten, oder es glauben konnten, wie stark die Staatssicherheit in ihr Leben eingegriffen hat. Letztendlich hatte sie keine Vertrauensperson mehr, an die sie sich hätte wenden können, und begab sich in psychiatrische Behandlung. Für die Stasi war dies ein Erfolg, denn die Zersetzungsmaßnahmen hatten genau das bewirkt, was sie sollten. Eine oppositionelle Person aus dem öffentlichen Leben zu drängen, ohne nach außen hin viel Aufmerksamkeit zu erregen. Das Schicksal der einzelnen Personen war für das Ministerium für Staatssicherheit völlig irrelevant.

Leider nimmt die Geschichte von KARIN RITTER nach dem Mauerfall ein tragisches Ende. Zwar ist die Regierung, die sie damals so unter Druck gesetzt und terrorisiert hatte, längst abgesetzt. Vertrauen fassen konnte sie dennoch nicht mehr. Das Gefühl allein zu sein wurde irgendwann zu groß.

Sie wird eines Tages erhängt in ihrer Wohnung gefunden.

7.4 Was ich aus dem Referat mitnehme

Für den Vortrag in Rom habe ich mir viele Schicksale angeschaut. Jedes davon erzählt seine eigene Geschichte, die alle einen Platz in Rom verdient hätten. Diese persönlichen Geschichten haben die Vergangenheit plötzlich sehr real wirken lassen, und obwohl die Zeit, in der dieser staatliche Terror an der Tagesordnung war, noch gar nicht so lang her ist, sind viele schon wieder vergessen. Dadurch wurde aus meinem Vortrag unter dem Titel „Darf ich mich erinnern“ ein auch für mich mahnendes Beispiel für „Wir müssen uns erinnern“.

Zudem zeigen die Geschichten, dass es, wie in der Einleitung schon erwähnt, eben nicht nur schwarz und weiß gibt. Eine simple Unterscheidung in Täter und Opfer ist nicht so einfach. Sind Schüler(innen) wie KERSTIN oder ihr Lehrer Opfer oder Täter? Wie viel kann man auf Aussagen geben, die heute von damaligen Stasi Mitarbeitern getätigt werden? Eine wirklich eindeutige Antwort darauf wird man nicht finden können, aber wir können uns vor Augen halten, dass man mache Dinge nicht vergessen sollte, und man aus Erinnerungen auch heute noch viel lernen kann.

Literatur

[Bun08] Bundeszentrale für politische Bildung: *Erinnerungskultur in der DDR*, 26. August 2008.
http://www.bpb.de/geschichte/zeitgeschichte/geschichte-und-erinnerung/39817/erinnerungskultur-ddr.

[DDR15] DDR-Museum Mühltroff e.V.: *Einkommen und Konsum in der DDR*, 19. Januar 2015.
http://www.ddr-museum-muehltroff.de/ddr-geschichte-einkommen-und-konsum.html.

[DHW09] Dowideit, Anette, K. Haak und J. Wildermann: *War damals in der DDR wirklich alles schlechter?* Die Welt, 24. Oktober 2009.
http://www.welt.de/wirtschaft/kinderleicht/mauerfall/article4936521/War-damals-in-der-DDR-wirklich-alles-schlechter.html.

[GH12] Grimm, Thomas und Ruth Hoffmann: *Stasikinder – Mein Vater war beim MfS*, 2012. Dokumentation, Phoenix.

[Hof13] Hoffmann, Ruth: *Stasikinder*. List Verlag, Berlin, Juni 2013.

[KV14] Krämer, Jenny und Benedikt Vallendar: *Leben hinter Mauern*. Klartext Verlag, Essen, Mai 2014.

[Ler15] Lernen aus der Geschichte, 14. Januar 2015.
http://lernen-aus-der-geschichte.de/Lernen-und-Lehren/content/1028.

[Mü07] Müller, Helmut M.: *Schlaglichter der Deutschen Geschichte*. Bundeszentrale für politische Bildung, Bonn, 3. Auflage, 2007.

[Sch03] Schieck, Dana: *Kirche und Religion in der DDR*, 28. November 2003.
http://www.lehrer-online.de/382224.php.

[WDR14] WDR: *Stasi auf dem Schulhof*, November 2014. Dokumentation.

[Win08] Winkler, Ulrich: *Kompaktwissen Geschichte*. Stark Verlag, 2008.

[ZDF15] ZDF History: *Operation Zersetzung – Terror der Stasi*, 2015. Dokumentation.

Giordano Bruno – Ein Virtuose okkulter Gedächtniskunst in der Renaissance

Tobias Dorweiler



Die Gedächtniskunst war bereits in der Antike ein wichtiges Mittel, um sich sowohl in der Politik als auch vor Gericht Gehör zu verschaffen, da sie eine der rhetorischen Grundlagen für strukturierte und damit kompetente Reden bildete. Das Grundprinzip der Gedächtniskunst bezieht sich dabei auf die Verknüpfung zwischen den zu memorierenden Elementen und bestimmten greifbaren oder vorstellbaren Orten, die konkrete Bilder im Kopf entstehen lassen. Durch die Verknüpfung eines geistigen Elements, wie dem Namen einer Person und eines Gegenstandes, den man mit dieser Person in Verbindung bringt, entsteht eine gefestigte Gedächtnisbrücke, die den Übergang zwischen Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis erleichtern kann.

Als Erfinder dieser Kunst galt sowohl für die Griechen als auch für die Römer der Dichter Simonides von Keos (557–467 v. Chr.). Einer Sage nach soll Simonides nach

einem Vortrag nur einen Teil seines Honorars erhalten haben und daher erbost von der Veranstaltung gegangen sein, um mit zwei Männern vor dem Veranstaltungsort zu sprechen. Während dieses Gesprächs stürzte die gesamte Decke des Gebäudes ein und die Leichen der Gäste waren bis zur Unkenntlichkeit verstümmelt. Simonides gelang es jedoch, anhand der Sitzpositionen, die er mit den Namen verknüpft hatte, alle Leichen zu identifizieren. Diese sogenannte Loci-Methode wurde daraufhin sowohl von Platon und Aristoteles als auch von Cicero und Quintilian aufgegriffen und zu einer Gedächtniskunst ausgearbeitet.

Die Loci-Methode lässt sich jedoch auch umkehren und so erhält man bspw. durch Statuen, die reale Orte darstellen, eine Verbindung zu geistigen Objekten, wie den Namen der Person oder zu den Geschichten, die sich hinter ihnen verbergen. In Statuen spiegelt sich diese Umkehrung wider, denn sie sind in unserer Gesellschaft eine symbolbehaftete Repräsentation von historischen Ereignissen oder den Lebenswerken von Menschen. Eine solche Repräsentation, die auf das Lebenswerk eines Menschen hinweist, das auch noch in der heutigen Zeit die Einwohner Roms in zwei Lager teilt, findet sich auf dem Campo dei Fiori in Rom. Es handelt sich um Giordano Bruno (1548–1600), einen Theologen, Philosophen und Astronomen der Renaissance.

Giordano Bruno versuchte ein „transhumanistisches" magisches System zu erschaffen, das ihm durch Memorierung seines Gedächtnisses ermöglichen sollte, die gesamte irdische Welt zu systematisieren, um somit die Erkenntnis von neuen Welten zu erlangen. Aufgrund dieser Viele-Welten-Theorie, der magischen Arbeiten aber auch der ketzerischen Reden, die sich gegen die Heiligenverehrung, die Trinitätslehre und das kirchliche System wendeten, wurde er nach achtjähriger Haft in der Engelsburg durch den Gubernator von Rom zum Tode verurteilt. Am 17. Februar 1600 wurde er daraufhin am Campo dei Fiori lebendig verbrannt.

Geboren wurde er im Januar 1548 in Neapel als Filippo Bruno. Erst mit 17 Jahren erhielt er den Namen Giordano bei seinem Eintritt in den Dominikanerorden, der ihm eine gesicherte Bildung ermöglichen sollte. Giordano Bruno studierte dort viele philosophische Texte des späten Mittelalters, wie die des Thomas von Aquin (1225–1274) und des Raimundus Lullus (1232–1316), aber auch antike Schriften, unter anderem Platon und Aristoteles. Des Weiteren gab er sich antitrinitarischen Lehren hin sowie magischen Schriften, wie „De Occulta Philosophia" von Agrippa (63–12 v. Chr.), welche einen Teil seines zuvor angesprochenen magischen Systems beeinflussen sollte. Aufgrund dieses Interesse für häretische und magische Schriften wurde er 1576 durch die Patres seines Dominikanerordens bei der Inquisition angezeigt, was ihn zur Flucht aus Neapel nötigte. Diese Flucht zog sich von Italien über Frankreich bis nach England und Deutschland. Sein starker Hang zum Ortswechsel war jedoch nicht nur durch die Verfolgung der Inquisition motiviert, sondern auch durch Konfrontationen, die er in jedem Ort auslöste. Giordano Bruno polarisiert nicht nur in der heutigen Zeit aufgrund seiner ablehnenden Haltung gegen das kirchliche System, sondern er provozierte bereits zu Lebzeiten die meisten anderen Gelehrten und wurde daher meist nach kurzer Zeit verstoßen. Seine provokante Art zeigte sich bereits in seiner Einstellung in Neapel, da er gegenüber einem späteren Mitgefangenen erwähnte, dass die Patres seines Ordens alle „Esel und Ignoranten waren und die Kirche von Ignoranten und Eseln regiert werde." [Blu99, S.13] Auch den Lehren der Professoren in Oxford und in Wittenberg stellt er sich provokant

entgegen. Erst im Jahr 1582 konnte er sich am Hof des französischen Königs Heinrich III. seinen Studien zur Gedächtnistheorie hingeben. Heinrich III. widmete er daher eines seiner ersten bekannten gedächtnistheoretischen Schriften mit dem Titel „De Umbris Idearum“, „Die Schatten der Ideen“. Auf diesem Werk wird im weiteren Verlauf der Fokus der gedächtnistheoretischen Betrachtung Giordano Brunos liegen.

Umbrae, Schatten, sind diejenigen Ausschnitte, die hinter einem direkt beleuchteten Körper liegen und sich dunkel von der helleren Umgebung abheben. Somit ist alles, was sich in diesen Schattenzonen befindet, nicht direkt einzusehen. Giordano Bruno sieht in den Schatten nicht nur die Dunkelheit, sondern er erkennt in jedem Schatten das Anzeichen von Licht, das dem Schatten seine Existenzgrundlage bietet. Genauso wie das Licht Schatten wirft, wirft auch jede neue Erkenntnisse immer wieder einen neuen Schatten, denn es kann keine absolute Erleuchtung geben. Für Giordano Bruno kann eine Erkenntnis nicht zur nächsten direkten Erkenntnis führen, sondern jeder Schatten, den eine Erkenntnis wirft, muss erst erleuchtet werden, um neue Erkenntnisse[1] zu beleuchten, die sich in diesem Schatten befinden:

> „Die Natur erlaubt keinen direkten Fortschritt von einem Extrem zum anderen (vom höchsten Prinzip bis zu den niedrigsten Einzelheiten), sondern bedient sich der Vermittlung der Schatten und abgeschatteten Lichtes.“ [Blu99, 28]

Die Schatten legen den Erkenntnissen somit einen Schleier auf, der jedoch zu lüften ist und nicht als undurchdringliche Barriere vor den Erkenntnissen steht.

Giordano Bruno, der eine Viele-Welten-Theorie vertritt, versucht in seinem Werk „De Umbris Idearum“ das zu Anfang beschriebene mnemotechnische System zu erschaffen, das es ihm erlauben soll, den Schatten, den alles erleuchtete Irdische auf die unbekannten Welten wirft, zu durchdringen, um somit zu neuen Erkenntnissen zu gelangen.

Das erste Bild (Abbildung 8.1) in „De Umbris Idearum“ lässt die Verbindung zwischen der „Figur der Schatten“ („Typus Umbrarum“) und einem magisch anmutenden System eindeutig erkennen. Es lässt jedoch auch direkte Rückschlüsse auf den Ursprung dieses Systems zu, da es in starker Anlehnung an die Lullischen Kreise entstanden ist.



Abbildung 8.1: [Bru62, S.40]

Ramon Llull, latinisiert Raimundus Lullus, auf den dieses System zurückgeht, lebte zwischen 1232 und 1316 als Philosoph, Logiker und Theologe auf der balearischen Insel Mallorca. Seine Lehre und die daraus entstandene Kunst beschreibt kein direktes mnemonisches System, sondern kann als Gedächtniskunst aufgefasst

[1] Die Betrachtung der Erkenntnistheorie von Giordano Bruno lässt die Vermutung aufkommen, dass er sich auf die Platonische Ideenlehre und somit auf das Liniengleichnis bezieht.



Abbildung 8.2: [Blu99, S.33]

und genutzt werden. Als Grundlage dienen LULLUS die Namen bzw. Attribute Gottes: Güte, Größe, Ewigkeit, Macht, Weisheit, Wille, Tugend, Wahrheit, Herrlichkeit. Lullus ordnet jedem Element der Menge der „Dignitates Gottes“ ein Element aus einer Buchstabenmenge

$$L := \{B, C, D, E, F, G, H, I, K\}$$

zu und ordnet diese in einen Kreis (Abbildung 8.2), der als geometrische Figur die größte Gottesähnlichkeit besitzt: Ohne Anfang und Ende. Daher stellt LULLUS Gott symbolisiert durch den Buchstaben A in das Zentrum der Attribute.

Die jeweiligen Attribute ordnet er in zwei kleinere, drehbare konzentrische Kreise ein. Durch die Drehungen können 729 verschiedene Kombinationen erzielt werden, die als geistige Orte des Memorierens genutzt werden können. GIORDANO BRUNO, der sich in seiner ersten gedächtnistheoretischen Schrift „De compendiosa architectura et complemento artis Lullis“ mit der mnemonischen Struktur und Nutzung der Lullischen Kunst befasst, versucht diese durch ein eigenes, aber angelehntes System in „De Umbris Idearum“ zu erweitern. Wie bereits in Abbildung 8.1 ersichtlich, braucht es ein größeres System, um den Schatten der Welt zu erleuchten. Dieses auch magisch anmutende System besteht aus 30 Segmenten, die mit 23 lateinischen, 4 griechischen und 3 hebräischen Buchstaben gefüllt sind. Bereits in einem zuvor veröffentlichten Artikel beschreibt GIORDANO BRUNO 30 Bindeglieder, die es ermöglichen eine Verbindung mit Dämonen einzugehen. Ebenfalls bezieht er sich auf ein altes magische Papyrus, in dem der Name Gottes aus 30 Buchstaben besteht. (Vgl.[Yat12, S.193]) Es entsteht somit wieder eine Buchstabenmenge $\mathscr{B}$, deren Mächtigkeit jedoch nun bereits $|\mathscr{B}| = 30$ ist:

$$\mathscr{B} := \Big\{A, B, C, D, E, F, G, H, I, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, V, X, Y, Z, \Psi, \Phi, \omega, \theta, \text{ק}, \text{ע}, \text{ש}\Big\}.$$

Da GIORDANO BRUNO bereits in seinem Werk „Über das Unendliche, das Universum und die Welten“ [Gio04] ein gewisses Gespür für die Betrachtungen im Unendlichen



Abbildung 8.3: [3wh]. (Vgl. [Bru62, S.111ff])

entwickelte, konnte er die konzentrischen Kreise, auf denen die jeweilige Menge $\mathscr{B}$ enthalten ist, in ihrem System beliebig erweitern. Dieses Gebilde aus ineinander liegenden und drehbaren konzentrischen Kreisen ermöglicht eine hohe Anzahl von Kombinationen und somit geistigen Orten.

Betrachtet man beispielsweise Abbildung 8.3, so erkennt man ein System aus 3 konzentrischen Kreisen, das aus 3 Teilmengen mit jeweils 30 Elementen besteht:

$$\mathscr{B}^* := \mathscr{B}_1 \times \mathscr{B}_2 \times \mathscr{B}_3 = \left\{(b_1, b_2, b_3) : b_1 \in \mathscr{B}_1, b_2 \in \mathscr{B}_2, b_3 \in \mathscr{B}_3\right\} \Rightarrow |\mathscr{B}^*| = 30^3,$$

also 27.000 Kombinationsmöglichkeiten, die jeweils Orte zur Memorierung bieten.

Verdeutlichen lässt sich ein solcher Ort, in dem man sich ein dreidimensionales „Koordinatensystem“ vorstellt, auf dessen Achsen die jeweiligen 30 Buchstaben der Teilmengen $\mathscr{B}_1, \mathscr{B}_2, \mathscr{B}_3$ liegen. Wählt man nun je ein Element aus diesen Teilmengen, so lässt sich durch das daraus entstehende Tripel (A, Z, θ) ein eindeutig markierter Ort beschreiben, den man mit einem Gedanken verknüpfen kann. Dieses mnemonische System stellt durch seine stetige Ausdehnung eine ausreichende Anzahl an Orten Giordano Bruno so bereit, um alle Erkenntnisse der Welt theoretisch zu verknüpfen. Es erfüllt jedoch kaum das zu Anfang beschriebene mnemonische System der Loci-Methode, da es keine vorstellbaren Abbilder generieren kann, die als Gedankenbrücken dienen können. Das Triple (A, Z, θ) lässt weder die Assoziation eines greifbaren Ortes, noch einer fiktiven Geschichte zu. Dieses Problem versuchte Giordano Bruno im weiteren Verlauf von „De Umbris Idearum“ zu lösen. Er entwickelte ein, in dieser Größe nicht dagewesenes System, das auf dem vorangegangenen System aufbaut und aufgrund seiner Komplexität nur theoretisch beschrieben wird. Erst Mitte des 20. Jahrhunderts wurde dieses theoretische Gebilde von der Historikerin Frances Yates in ein grafisches System übersetzt. Dieses, für Giordano Bruno vollendete Gedächtnissystem sollte es nun ermöglichen, alle Gedanken und Strukturen zu memorieren. Abbildung 8.4 dient an dieser Stelle nicht zu einer Einsicht der Inhalte des konzentrischen Systems, sondern soll nur einen Einblick in die Komplexität geben.

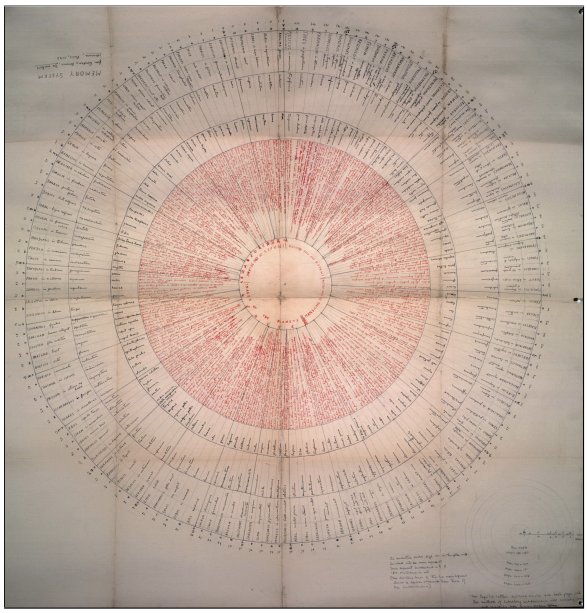


Abbildung 8.4: [Yat12, Anhang]

Dieses „vollendete System“ ist, wie bereits die vorangegangenen Systeme, durch konzentrisch angeordnete und drehbare Scheiben aufgebaut und dementsprechend anzuwenden. Auch die Buchstabenmenge $\mathscr{B}$ lässt sich in der äußersten Kreisscheibe wiederfinden, jedoch mit dem Zusatz der Vokale. Somit entsteht aus der 30-elementigen Menge $\mathscr{B}$ eine 150-elementige Menge V:

$$V := \Big\{Aa, Ae, Ai, Ao, Au, Ba, Be, Bi, Bo, Bu, ..., \mathfrak{w}a, \mathfrak{w}e, \mathfrak{w}i, \mathfrak{w}o, \mathfrak{w}u\Big\}.$$

Diese Menge V enthält dabei jedoch noch keine besseren Gebilde zur Vorstellung und damit Orte zur Memorierung. Dies erfüllt sich in den drei inneren Kreisscheiben, die in ihrem Inhalt alles Weltliche darstellen sollen. Das Zentrum dieses Systems bildet dabei nicht die Einheit Gottes, sondern die fünfte Kreisscheibe, die in ihrem Inhalt alles Astrale darstellt, um das sich alles Irdische dreht. Dieses astrale Zentrum, das in Abbildung 8.4 rot geschrieben steht, dient als „Energiestation“, die das gesamte „vollendete System“ antreiben soll. Besonders in diesem Zentrum liegt eine starke Gewichtung auf dem Magischen und Okkulten. GIORDANO BRUNO legt hierbei großen Wert darauf, dass es sich um konkret vorstellbare Bilder handelt, die der Loci-Methode dienlich sind. Die Liste dieser Astralbilder wird in „De Umbris Idearum“ durch die Überschrift „Imagines Facierum“ zu deutsch „Abbilder von Gesichtern“ eingeleitet und beschreibt daher noch einmal, dass es sich um klar vorstellbare Gegenstände handelt. Diese 150 astralen Elemente, teilen sich in zwölf Sternzeichen auf, denen jeweils drei ausführlich beschriebene Dekane beigestellt sind. Dem Widder ist dabei zuerst ein großer dunkler Mann, weiß gekleidet mit brennenden Augen, zur Seite gestellt. Man erkennt, dass es sich um eindrückliche Bilder handelt, da sie durch Kontraste wie schwarz-weiß und Merkmale wie brennende Augen gekennzeichnet sind. Die Dekanbilder gehen auf altägyptische Zeitgötter zurück, deren Beschreibung GIORDANO BRUNO aus den 36 Bilder des Zodiakus aus AGRIPPAS „De Occulta Philosophia“ übernahm. Auf diese 36 Segmente folgen 49 Bilder der

bekannten Planeten. Es handelt sich dabei um die sieben bekannten Planenten, die mit jeweils sieben Bildern beschrieben werden. Auch hierbei erkennt man eindrucksvolle Beschreibungen, wie ein Bild des Saturns zeigt. Es beschreibt einen Mann mit einem Hirschkopf, der auf einem Drachen sitzt. Er hält in seiner rechten Hand eine Eule, die eine Schlange frisst. (Vgl. [Yat12, S.197]) Die Planetenbilder entnahm Giordano Bruno ebenfalls einem Kapitel aus Agrippas „De Occulta Philosophia". Im Weiteren folgen die 28 Häuser des Mondes, wie Giordano Bruno die Mondphasen benannte, sowie 37 Bilder des Horoskops. Diese Horoskopbilder beschreiben dabei klar vorstellbare Bilder wie Geburt, Reichtum, Brüder, Eltern oder Kinder. Diese Elemente fasse ich in der Menge G zusammen. Verlässt man dieses astrale Zentrum, so gelangt man zu den weltlichen Abbildern. Im zweiten Kreis findet sich eine Aufzählung 150 weltlicher Elemente wie Oliven, Lorbeeren, Myrte oder Rosmarin, aber auch verschiedene Aufzählungen von Vögeln, Steinen oder Metallen, die alle zu der elementaren Welt gehören und die niedere Ebene der Schöpfung darstellen. Diese 150 Elemente definiere ich als Menge W. Die dritte Scheibe stellt eine Liste aus 150 Adjektiven dar, die alle weltlichen Eigenschaften beinhaltetn und als die Menge A definiert werden soll. Es handelt sich dabei um Adjektive, wie knotig, verwickelt, formlos, berühmt usw., die eine möglichste klare Vorstellung ermöglichen. Auf der vierten Scheibe lassen sich die weltlichen Erkenntnisse in Form von Erfindungen und der zugehörigen Erfinder erkennen, diese sollen zur Menge E zusammengefasst werden. Hierunter fallen die landwirtschaftlichen Erfindungen wie das Kastanienbrot von Rhegima, die Joche für Ochsen von Ceres, aber auch eine Gruppe von primitiven Werkzeugen. Erungenschaften wie die Verbindung zu Dämonen von Hostanes und der Erfindung der Magie durch Zarathustra nehmen neben der Ideenlehre durch Platon ebenfalls Platz in dieser Liste ein. Sie endet mit Melicus, der eher bekannt ist als Simonides und bereits zu Anfang vorgestellt wurde. Er gilt auch für Giordano Bruno als der Erfinder der klassischen Gedächtniskunst. Diese Schlussstellung des Simonides lässt den Stellenwert der Mnemonik neben den visualisierbaren Elementen in diesem System noch einmal klar werden. Die letzte Scheibe, die bereits durch die Menge V beschrieben wurde, stellt durch ihre Kombination aus den Buchstaben der damals bekanntesten Sprachen Lateinisch, Griechisch und Hebräisch und den Vokalen die geistigen Elemente der Kommunikation aber auch der Speicherung der Erkenntnisse dar. Für Giordano Bruno ergibt sich somit das „Vollendete System":

$$S := V \times E \times A \times W \times G.$$

Da jeder Faktor über 150 Elemente verfügt, liegt die Mächtigkeit der Menge S bei $|S| = 150^5$, was eine Anzahl von über 75 Milliarden Kombinationsmöglichkeiten ergibt, die wiederum jeweils einen Ort zur Memorierung ermöglichen. Veranschaulicht man sich auch in diesem System wieder einen solchen Ort, so kann dieser durch einen 5-Tupel beschrieben werden, z.B.

(Do, Kastanienbrot von Rhegima, unförmig, Granit, Geburt).

Es entstehen gedankliche Orte, die sowohl als alleinstehende Orte der Loci-Methode dienen können, als auch durch Verkettung, die zu ganzen Geschichten führen können. Die gedanklich bebilderten Orte oder Geschichten können daher mit immer mehr Impulsen verknüpft werden.

Dieses „Vollendete System“ ist jedoch durch seine Komplexität kaum praktisch zu nutzen, da die gedankliche Abspeicherung der 750 Elemente ein eigenes mnemonisches System benötigt. Inwieweit GIORDANO BRUNO dieses System in Bezug auf seine Gedächtniskunst tatsächlich angewendet hat, wird durch die Primär- und Sekundärliteratur nicht eindeutig geklärt. Die Beschreibungen über den okkulten und magischen Nutzen des Systems zur Weltenwanderung und Beschwörung von Geistern und Dämonen lässt aber einen Unterschied zur heutigen Nutzung und Betrachtung der Mnemotechnik klar werden. Heutzutage dient die geistig angewandte Mnemotechnik dem Ziel des Memorierens von beispielsweise schlichten Telefonnummern, Gedichten oder den Bundespräsidenten der BRD. Für GIORDANO BRUNO sollte die Memorierung der menschlichen Erkenntnis im Gegensatz zur heutigen Zeit nicht das Ziel sein, sondern nur der Schritt zur Erleuchtung der Schatten, die es ihm nicht erlaubten, einen Einblick in andere Welten zu erhalten.

Dass diese Gedächtnissysteme allerdings trotz ihrer schweren Handhabung nicht an Aktualität verloren haben, zeigen Forschungen der experimentellen Psychologie, die den gedächtnistheoretischen Ansatz GIORDANO BRUNOS untersuchen. Ebenfalls lassen sich Rechnerarchitekturen in den heutigen maschinellen Gedächtnissen finden, die auf die Grundzüge seiner gedächtnistheoretischen Systeme zurückzuführen sind. (Vgl. [Wil98, Fünfte Vorlesung])

Dies zeigt, dass GIORDANO BRUNO als Virtuose der Gedächtniskunst einen festen Platz in der Geschichte der Mnemotechnik hat. Dabei motiviert seine gedächtnistheoretischen Systeme nicht nur reine Forschungen in Bezug auf die Mnemontechnik, sondern auch semiotische Forschungen bzgl. der einzelnen Elemente dieser Systeme. Diese und viele andere anknüpfende Forschungen können weitere Schatten der bereits illuminierten Erkenntnise beleuchten, die im Zuge von „BigData“ zu einer fortschreitenden Memorierung aller weltlichen Erkenntnisse führen.

Literatur

[3wh] *Frances Yates and the Mnemonic Works of Giordano Bruno*. `http://warburg.sas.ac.uk/library/digital-collections/giordano-bruno/yates-brunos-mnemonics/`.

[Blu99] BLUM, PAUL RICHARD: *Giordano Bruno*. Beck'sche Reihe. Beck, 1999.

[Bru62] BRUNO, GIORDANO: *Jordani Bruni Nolani opera latine conscripta*. Nummer Bd. 1-2 in *Jordani Bruni Nolani opera latine conscripta*. F. Frommann Verlag, G. Holzboog, 1962.

[Gio04] GIORDANO, BRUNO: *Über das Unendliche, das Universum und die Welten*, 2004.

[Wil98] WILDGEN, WOLFGANG: *Das kosmische Gedächtnis: Kosmologie, Semiotik und Gedächtnistheorie im Werke Giordano Brunos (1548–1600)*. Philosophie und Geschichte der Wissenschaften: Studien und Quellen. P. Lang, 1998.

[Yat12] YATES, FRANCES A.: *Gedächtnis und Erinnern: Mnemonik von Aristoteles bis Shakespeare*. Acta humaniora. Akad.-Verlag, 2012.

Mechanische Rechenhilfen – Vorläufer der Computertechnik

Matthias Nowara



9.1 Einleitung

Wenn man heutzutage einen Rechenschieber in die Hand nimmt, kann man sich kaum mehr vorstellen, dass dieser Stab, mit ein paar Strichen drauf, eines der wichtigsten Rechenhilfsmittel war. Er wurde vor allem in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts von Ingenieuren und Physikern verwendet, die mit seiner Hilfe technische Meisterleistungen, wie zum Beispiel den Bau des Empire State Building, der Golden Gate Bridge oder der Boeing 707 [Sto07], erbrachten. Als dann in den 1960er Jahren der elektronische Taschenrechner auf den Markt kam, war das Zeitalter

des Rechenschiebers beendet. Bemerkenswert ist allerdings, dass die Astronauten der NASA bei ihrer Mondlandung noch einen Rechenschieber dabei hatten, für den Fall, dass der elektronische Taschenrechner im Weltall versagt [Sto07].

Was konnte man denn mit ihm alles berechnen? Der Rechenschieber ist primär ein Hilfsmittel, um Multiplikation und Divisionsrechnungen durchzuführen. Mit entsprechenden Erweiterungen sind auch Wurzel ziehen und trigonometrische Berechnungen möglich. Sein Prinzip basiert auf den Logarithmen, für die $\log(x \cdot y) = \log(x) + \log(y)$ gilt. Somit lassen sich Produkte durch Summen berechnen.

9.2 Geschichte

JOHN NAPIER, ein schottischer Mathematiker, Physiker und Astronom, veröffentlichte 1614 unter dem Titel „Mirifici logarithmorum canonis descriptio“ (Beschreibung des wunderbaren Kanon des Logarithmus) ein Werk über die Logarithmen [Sto07] (siehe Abbildung 9.1).


MIRIFICI
Logarithmorum
Canonis descriptio,
Ejusque usus, in utraque
Trigonometria; ut etiam in
omni Logistica Mathematica,
Amplissimi, Facilimi, &
expeditissimi explicatus.
Authore ac Inventore,
IOANNE NEPERO,
Barone Merchistonii,
&c. Scoto.
EDINBURGI,
Ex officinâ ANDREÆ HART
Bibliopolæ, cIↃ. DC. XIV.

Abbildung 9.1: Mirifici logarithmorum canonis descriptio[1]

Er führte auch den Begriff „Logarithmus“ ein, welcher sich vom griechischem „logos“ ableitet, was auf deutsch Verhältniszahl bedeutet. Aber auch vorher gab es weitere, nicht sehr vollständige Werke über die Logarithmen. Von Bedeutung ist die Arbeit des Schweizer Uhrmachers JOST BÜRGI, der 1588 das erste bekannte Logarithmensystem erstellte, aber dies erst 1620 veröffentlichte.

Was war die damalige Motivition? NAPIER, der sich viel mit Astronomie beschäftigte und somit häufig damit konfrontiert war, große Zahlen zu multiplizieren, wollte dies erleichtern und die Multiplikation zur Addition herunterbrechen. Mit Hilfe von komplizierten Rechenmethoden gelang ihm dies. [Son04]

Ein Professor in Oxford, HENRY BRIGGS, beschäftigte sich intensiv mit dieser Schrift und schlug vor, die Logarithmen zur Basis 10 zu verwenden. Dieser Logarithmus wird auch Briggscher bzw. dekadischer Logarithmus genannt.

Im Jahr 1620 markierte der Londoner Mathematiker EDMUND GUNTER ein Lineal mit Logarithmen. Er zog eine Zahlenlinie, in der die Zahlen proportional zu ihren Logarithmen positioniert wurden. Auf dieser Skala liegen aufeinanderfolgende Zahlen am linken Ende deutlich weiter auseinander als am rechten, wo sie immer enger zusammenliegen. Nun konnte man zwei Zahlen miteinander multiplizieren, indem man mit einem Stechzirkel den Abstand vom Anfang der Skala bis zum ersten Faktor abtrug, die Zirkelspitze auf den zweiten Faktor setzte, dann den eingestellten Abstand auf das Lineal abtrug und das Ergebnis ablas.

[1] http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/history/Bookpages/Napier10.jpeg



Abbildung 9.2: Rechenstab von Bissaker[2]

Um 1622 schuf William Oughtred, ein anglikanischer Geistlicher, den ersten Rechenschieber, indem er logarithmische Skalen nebeneinander legte. Er erfand auch einen kreisförmigen Rechenschieber, die Rechenscheibe. Oughtred war aber der Meinung, dass seine Erfindung nicht besonders wertvoll sei und veröffentlichte sie nicht. Warum, ist nicht ganz klar, vielleicht, weil er der Meinung war, dass Mathematiker sich Gleichungen ausdenken, sie aber nicht nutzen würden.

Einer seiner Studenten, Richard Delamain, veröffentlichte dies jedoch 1630 als seine Idee. Oughtred wurde aufgrund dieses geistigen Diebstahls wütend und veranlasste seine Freunde dazu, Delamain als geistigen Taschendieb zu beschimpfen. Dieser Streit dauerte bis zum Tod Delamains 1644 an [Sto07].

In der Folgezeit kam es zu wichtigen Verbesserungen des Rechenschiebers. Durch Robert Bissaker bekam er 1654 eine bewegliche Zunge (siehe Abbildung 9.2), hatte aber die Form eines Stabes.

Nach einer anderen Quelle [Kor15], gab es schon vorher einen Rechenschieber mit beweglicher Zunge. Dieser ist aber in der Dresdener Bombennacht geschmolzen und nur noch ein Klumpen, von dem aber noch zu erkennen ist, dass es ein Rechenschieber mit beweglicher Zunge war. Dieses Stück kann man noch heute in Dresden anschauen.

Eine explizite Person, die einen Läufer erfand, um die Werte besser ablesen zu können, kann nicht genannt werden, da schon vorher immer wieder irgendwelche Hilfmittel verwendet wurden, um die Werte besser abzulesen. Prominentester Vertreter ist hier Isaac Newton, der so einen *Läufer* verwendete.

Erst 1850 verhalf ein französischer 19-jähriger Leutnant, Amédée Mannheim, dem Rechenschieber zu großem Ruhm, indem er die 4 wichtigsten Skalen nahm (Quadratskalen A und B, Grundskalen C und D und auf der Rückseite Sinus- und Tangensskala), sie neu anordnete und den Rechenschieber mit einem verschiebbaren Läufer versah. Dieses Gerät nahm dann sogar die französische Armee ein paar Jahre später in ihren Bestand auf. Ab dann verbreitete sich der Rechenschieber über Europa

[2] http://www.sciencemuseum.org.uk



Abbildung 9.3: Fuller-Kalkulator[3]

und kam nach dem ersten Weltkrieg nach Amerika.

Um die Genauigkeit des Rechenschiebers zu verbessern, ist die einfachste Methode ihn einfach größer zu bauen. Da dies dann aber sehr unhandlich wird, wickelte man den Rechenschieber auf. Um zum Beispiel Genauigkeit auf 5 Stellen zu erreichen, hätte man einen 25,3 m langen Rechenschieber gebraucht. Man baute, um dies zu erreichen, eine 12,50 m lange Spirale, die sich um einen gut 30 cm langen Zylinder schlängelt. Solch eine Apparatur war zum Beispiel ein Fuller-Kalkulator (siehe Abbildung 9.3).

Bis circa 1960 war somit der Rechenschieber das wichtigste Werkzeug eines Ingenieurs. Es gab sogar Rechenschieber aus Mahagoni oder aus Elfenbein. Sein Defizit für den Alltagsgebrauch war, dass man mit ihm nicht addieren konnte. Ab 1960 wurde der Rechenschieber jedoch durch elektronische Taschenrechner abgelöst. Zum Beispiel berechnete der erste Taschenrechner mit Transistoren „Friden 130“ von 1963 bis auf 12 und nicht nur auf 3 Stellen genau. Es wurde noch von Faber Castell 1974 der Versuch gemacht, einen elektronischen Taschenrechner mit einem Rechenschieber zu kombinieren. Dies sind die Modelle TR1-TR3, die sich aber nicht etablierten. Circa 1973 wird die Fertigung von Rechenschiebern bei Faber Castell eingestellt [Fab15].

9.3 Verwendung heute

Der Rechenschieber wird heutzutage nur noch von Personen benutzt, die früher in der Schule gelernt hatten, damit umzugehen und es bis jetzt noch nicht für nötig gehalten haben, sich einen Taschenrechner zu kaufen. Außerdem wird er auch gerne als Sammlerstück betrachtet. In Deutschland und auch international, zum Beispiel durch die seit 1991 existierende „Oughtred Society“, finden regelmäßig Treffen von Rechenschiebersammlern statt. So ein Sammlerstück kann bis zu 100.000 Dollar bei Auktionen erzielen. Die wohl wertvollsten Rechenschieber sind die 4 Originalrechenstäbe von WILLIAM OUGHTRED, von denen jedes einzelne einen Wert

[3] http://www.rechenwerkzeug.de/fullan2.JPG

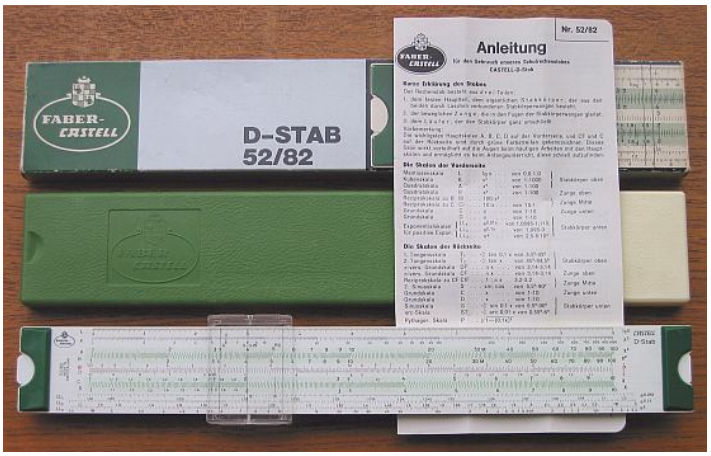


Abbildung 9.4: Faber-Castell D-Stab[4]

von über 250 000 US Dollar besitzt[Wik15]. Alle diese Stücke befinden sich in Museen wie zum Beispiel im Science Museum in London [Rud].

Im Folgenden wird nun das Modell des Schulrechenschiebers von Faber-Castell „Castell D-Stab“ [Fab] erklärt (Abbildung 9.4). Interessant finde ich hierbei, dass in der Anleitung steht: „Die wichtigsten Hauptskalen A, B, C, D auf der Vorderseite und CF und C auf der Rückseite sind durch grüne Farbstreifen gekennzeichnet. Dieses Grün wirkt vorteilhaft auf die Augen beim häufigen Arbeiten mit den Hauptskalen und ermöglicht es beim Unterricht, diese schnell aufzufinden.“ Dies zeigt wieviel Wert auf die Schule und die Schüler gelegt wurde.

9.4 Grundlegendes

Der Rechenschieber besteht aus 3 Teilen:

1. Einem festen Hauptteil, dem Stabkörper. Dieser besteht aus 2 Stabkörperwangen, welche mit 2 Laschen verbunden sind.

2. Einer beweglichen Zunge.

3. Einem Läufer, um die Werte besser ablesen zu können.

Wichtigste Hauptskalen

C,D Skala	Grundskala
A,B Skala	Quadratskala

Eine weitere wichtige Skala ist die $\pi-$versetzte Skala CF.

[4] `http://public.beuth-hochschule.de/hamann/sliderules/fcdstab.html`

Zum Zahlenbereich

Betrachtet man die Hauptskala genauer, dann sieht man, dass diese nur den Zahlenbereich von 1 bis 10 enthält. Man kann aber auch über diesen Bereich hinaus rechnen, da beim Rechnen mit dem Rechenstab die Stelle des Kommas nicht beachtet wird. Das heißt, wenn man zum Beispiel die Zahl 3 abliest, könnte dies 0,3, 0,03 oder auch 3000 bedeuten. Man muss also aus dem Kontext heraus wissen, wie groß die Zahl ungefähr sein muss. Folglich kann man theoretisch mit allen Zahlen rechnen.

Zu den Skalen: Genauigkeit

Man erkennt, dass die Skala von links nach rechts ungenauer wird. Die Skala kann man in 3 Teile aufteilen:

1. Bereich von 1 bis 2.
Hier kann man ohne Probleme 3 Stellen genau ablesen.

2. Bereich von 2 bis 4.
Hier kann man 2 Ziffern genau ablesen. Die 3te Ziffer ist immer eine gerade Zahl, wenn sie auf dem Strich liegt.

3. Bereich von 4 bis 10.
Hier kann man 2 Ziffern genau ablesen. Die 3te Ziffer ist immer eine 5, wenn sie auf den Strich liegt.

Man kann also ungefähr bis auf 3 Stellen genau die Werte ablesen.

9.5 Wie funktioniert das Rechnen mit dem Rechenschieber

Die Grundidee ist wie beim Addieren. Hält man zwei gewöhnliche Lineale nebeneinander, so kann man durch Verschieben addieren und subtrahieren. Um 4 + 6 zu rechnen, schiebt man die 0 des oberen Lineals auf die 4 des unteren Lineals und liest an der Stelle 6 des oberen Lineals auf dem unteren Lineal ab. Hier würde man 10 ablesen. Subtraktion funktioniert anders herum.

Nun möchte man aber multiplizieren. Man verwendet das gleiche Prinzip wie eben beim Addieren, nur dass man eine logarithmische Skala verwendet. Aufgrund der Eigenschaft,

$$\log(x \cdot y) = \log(x) + \log(y)$$

kann man das eben erklärte Prinzip übernehmen.

Solange man in der Skala bleibt, ist dies kein Problem. Falls man jedoch die Zunge zu weit nach rechts geschoben hat, muss man sich etwas einfallen lassen. Es gibt dann 2 Möglichkeiten. Entweder man geht zur x^2-Skala über oder man schiebt die Zunge soweit nach links, dass die 10 über dem Läuferstrich steht. Dies wird „Durchschieben der Zunge“ genannt. Ebenso kann man dividieren, indem man die Methode der Multiplikation andersherum durchführt.

Nützlich ist der Rechenschieber auch beim Umrechnen von Größen wie zum Beispiel Yards in Meter. Hier muss man nur den Faktor wissen, um den sich die beiden Größen multiplikativ unterscheiden. Dann kann man alle weiteren Werte ablesen. Ist zum Beispiel bekannt, dass 82 Yards 75 Metern entspricht, dann stellt man mit dem Läuferstrich 82 auf der D Skala ein und verschiebt die Zunge so weit nach rechts, bis C auf 75 steht. Nun kann man alle beliebigen Werte von Yards in Meter umrechnen.

Berechnung von Quadraten und Wurzeln

Auf unserem Rechenschieber gibt es auch eine x^2-Skala, anhand der man problemlos das Quadrat einer Zahl ablesen kann.

Wurzeln von Zahlen zwischen 1 und 10 liest man auf der ersten Hälfte ab und Wurzeln von Zahlen zwischen 10 und 100 auf der zweiten. Für Zahlen außerhalb muss man durch Zerlegen die Zahl in den Bereich zwischen 1 und 100 bekommen. Zum Beispiel

$$\sqrt{1936} = \sqrt{100 \cdot 19{,}36} = 10 \cdot \sqrt{19{,}36}.$$

Nun kann man ablesen und erhält $\sqrt{1936} = 10 \cdot 4{,}4 = 44$.

Ein anderes Beispiel: Berechnen wir die Wurzel von 0,8 als

$$\sqrt{0{,}8} = \sqrt{\frac{80}{100}} = \sqrt{\frac{1}{100} \cdot 80} = \frac{1}{10} \cdot \sqrt{80} = \frac{1}{10} 8{,}94 = 0{,}894.$$

Warum ist es nicht egal, wo man abliest?

Sei $x_1 \in [1, 10]$ und setze $x_2 := 10 \cdot x_1$. Dann befindet sich x_1 im ersten Teil und x_2 im zweiten. Hierbei unterscheiden sich x_1 und x_2 nur um eine Kommastelle. Dann gilt

$$\sqrt{x_2} = \sqrt{10 \cdot x_1} = \sqrt{10} \cdot \sqrt{x_1}.$$

Folglich unterscheiden sich die Wurzeln von x_2 und x_1 um den Faktor $\sqrt{10}$. Kubiken und dritte Wurzeln kann man analog zu den Quadraten auf der Kubikskala ablesen.

Des Weiteren ist auf unserem Rechenschieber eine reziproke Skala CI abgebildet. Mit ihrer Hilfe kann man zunächst Werte wie $\frac{1}{8} = 0{,}125$ direkt ablesen. Weiter kann man damit folgende Ausdrücke berechnen. Um $\frac{1}{a^2}$ zu berechnen, richtet man den Läuferstrich auf a der Skala CI und liest darüber auf B das Ergebnis ab. Den Wert $\frac{1}{\sqrt{a}}$ kann man ablesen, indem man den Läuferstrich auf a der Skala B stellt und dann auf CI abliest.

Literatur

[Fab] Faber Castell: *Anleitung für den Gebrauch unseres Schulrechenstabes Castell-D-Stab Nr. 52/82*.

[Fab15] Faber Castell: *Ein Streifzug durch die Geschichte des Rechenschiebers*, 2015. `http://www.faber-castell.de/service/slide%20rules`.

[Kor15] KOREY, MICHAEL: *Mündliche Mitteilung*. 2015.

[Mac15] MACTUTOR HISTORY OF MATHEMATICS ARCHIVE: *Richard Delamain*, 2015. http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/Biographies/Delamain.html.

[Rud] RUDOWSKI, WERNER H.: *Wie bekannt waren Rechenschieber in Deutschland, Östereich und der Schweiz vor der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts?* http://www.rechenschieber.org/rechenschieber19.pdf.

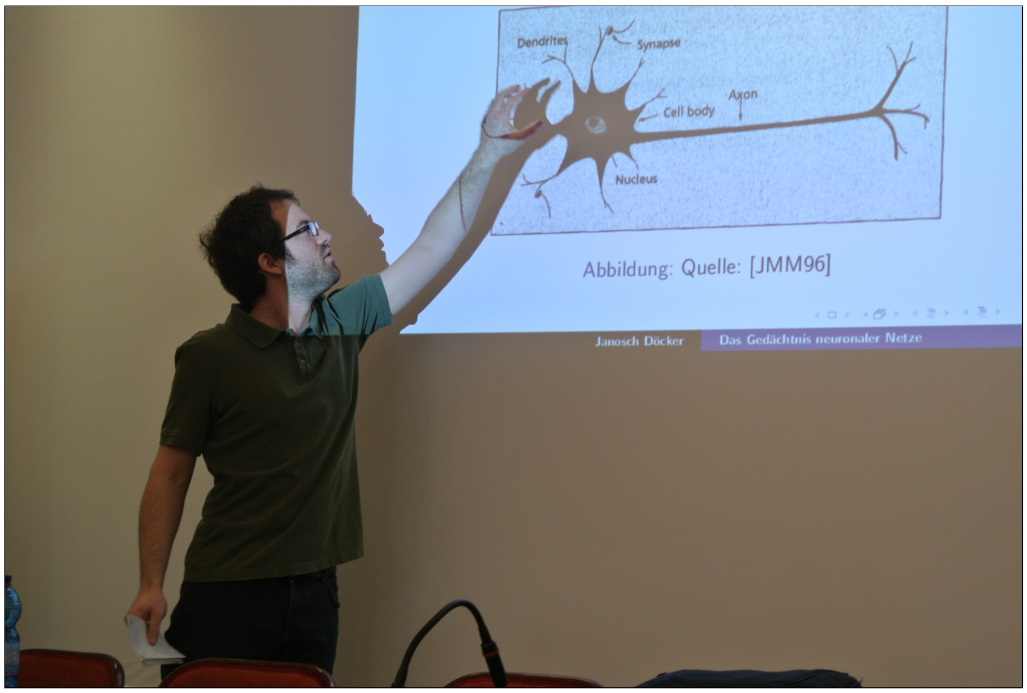
[Son04] SONAR, THOMAS: *Die Berechnung der Logarithmentafeln durch Napier und Briggs*, 27. September 2004. http://www.rechenschieber.org/sonar.pdf.

[Sto07] STOLL, CLIFF: *Als Rechner noch geschoben wurden*. Spektrum der Wissenschaft, April 2007. http://www.rechenschieber.org/sdw.pdf.

[Wik15] WIKIPEDIA: *Rechenschieber*, 2015. http://de.wikipedia.org/wiki/Rechenschieber.

Das Gedächtnis neuronaler Netze

Janosch Döcker



Künstliche neuronale Netze modellieren das Verhalten biologischer neuronaler Netze. Wir betrachten für verschiedene Typen künstlicher neuronaler Netze, wie diese lernen, um definierte Aufgaben zu erfüllen. Durch den Lernprozess verändert sich das Netz, genauer die Gewichte der Verbindungen zwischen den künstlichen Neuronen, was als eine Form von Gedächtnis aufgefasst werden kann. Zudem betrachten wir die Anwendung künstlicher neuronaler Netze als Assoziativspeicher, die Aufgabe kann hier z. B. in der Wiederherstellung verrauschter oder unvollständiger Daten liegen – das Netz „erinnert“ sich an passende gelernte Daten.

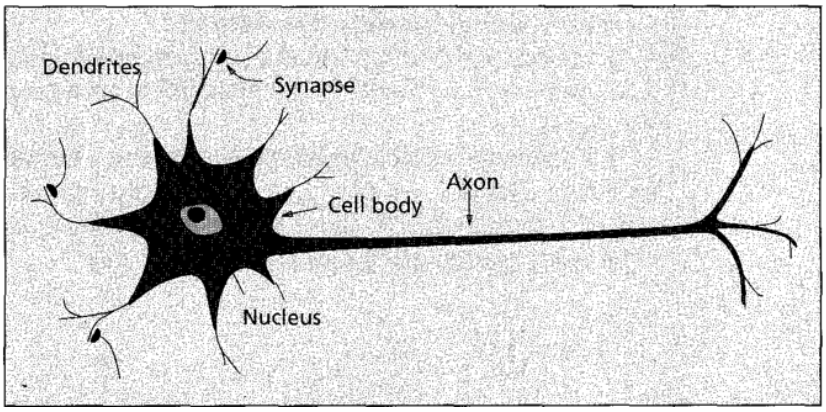


Abbildung 10.1: Ein biologisches Neuron. Quelle: [JMM96, S. 33]

10.1 Biologische Grundlagen

Das menschliche Gehirn besteht aus etwa 100 Milliarden Neuronen [Kra09, S. 120], wobei jedes Neuron mit 1 000 bis 10 000 anderen Neuronen in einer Netzstruktur verbunden ist [JMM96, S. 33]. In Abbildung 10.1 ist ein Neuron schematisch dargestellt. Die Kommunikation zwischen Neuronen erfolgt mittels elektrischer Signale. Ein Neuron nimmt Signale benachbarter Neuronen über die Dendriten auf und überträgt Ausgabesignale über das Axon (vergleiche [Kra09, S. 120], [JMM96, S. 33]). Das Axon eines Neurons kann über Synapsen mit Dendriten anderer Neuronen verbunden sein. Es gibt verschiedene Arten von Synapsen, die sich in ihrer Funktionalität unterscheiden. Synapsen spielen eine zentrale Rolle beim Lernen in neuronalen Netzen, da sie anpassungsfähig sind. Eine Lernregel, die bei neuronalen Netzen häufig Anwendung findet, ist die Hebbsche Regel: Die Effizienz einer Synapse wird erhöht, wenn die beiden beteiligten Neuronen „gleichzeitig“ feuern und verringert, wenn keine Korrelation vorliegt [Roj96, S. 21], d. h. Synapsen können von den Aktivitäten, an denen sie beteiligt sind, lernen [JMM96, S. 33]. Für eine ausführliche Darstellung der biologischen Grundlagen von neuronalen Netzen siehe [Roj96, Kapitel 1].

10.2 Perzeptron

Das Perzeptron ist ein künstliches neuronales Netz, das 1958 von Rosenblatt vorgestellt wurde (vergleiche [Kra09, S. 125]). In Abbildung 10.2 ist ein Modell eines Neurons dargestellt. Die Eingänge x_i mit $1 \leq i \leq n$ entsprechen den Dendriten und der Ausgang auf der rechten Seite dem Axon eines biologischen Neurons. Jeder Eingang x_i hat ein Gewicht w_i, das während des Lernprozesses angepasst werden kann. Die Ausgabe o des Neurons berechnet sich als (vergleiche [Kra09, S. 126])

$$o = \begin{cases} 1, & \text{wenn } \sum_{i=1}^{n} w_i x_i = \mathbf{wx} \geq \theta, \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases}$$

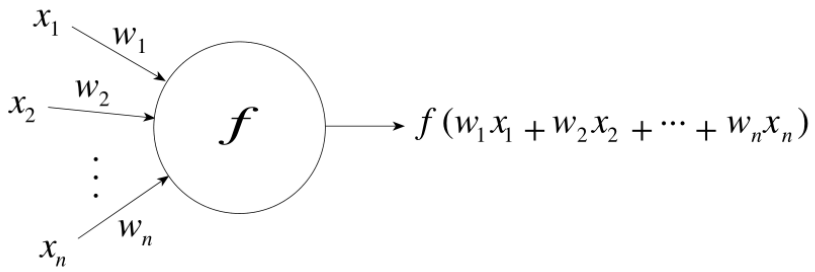


Abbildung 10.2: Ein abstraktes Neuron. Quelle: [Roj96, S. 23]

wobei θ ein Schwellenwert ist und $\mathbf{wx}$ das Skalarprodukt von

$$\mathbf{w} := \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} \text{ und } \mathbf{x} := \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$$

ist (fettgedruckte Buchstaben bezeichnen im Folgenden immer Vektoren). Das Neuron feuert genau dann, wenn die Summe der gewichteten Eingänge den Schwellenwert erreicht oder überschreitet. Das Ziel ist nun, dass das Perzeptron Eingabedaten korrekt in eine von zwei Klassen einordnet. Für linear separierbare Funktionen[1] kann dies durch Anpassung der Gewichte $\mathbf{w}$ durch die Gewichte

$$\mathbf{w}' = \mathbf{w} + \eta(t - o)\mathbf{x},$$

erreicht werden (vergleiche [Kra09, S. 126 f.]), wobei $\eta > 0$ eine Lernrate, t die gewünschte und o die tatsächliche Ausgabe für die Eingabe $\mathbf{x}$ ist. Wenn gewünschte und tatsächliche Ausgabe für alle Datenbeispiele übereinstimmen, so ergibt sich nach der Regel keine Veränderung der Gewichte mehr. Nach der Lernphase hat das Netz ein Gedächtnis, bestehend aus den angepassten Gewichten, das zum Klassifizieren von Eingabedaten verwendet werden kann. Minsky und Papert [MP69] zeigten Grenzen des Perzeptrons auf. Das Perzeptron kann nur linear separierbare Funktionen lernen, damit ist es zum Beispiel nicht in der Lage, die XOR-Funktion zu lernen.

10.3 Backpropagation

Durch das Vernetzen mehrerer Schichten von Neuronen können auch Funktionen gelernt werden, die nicht linear separierbar sind (siehe [Lip87, S. 14–16] für mehr Details). In Abbildung 10.3 ist ein Netz bestehend aus drei Schichten von Neuronen dargestellt. Jedes der Neuronen ist mit allen Neuronen der nächsthöheren Schicht verbunden — die Verbindung darf allerdings das Gewicht 0 haben — und es gibt keine Verbindungen in eine niedrigere Schicht. Die erste Schicht wird als Eingabe- und die höchste als Ausgabeschicht bezeichnet; die Schichten dazwischen heißen verdeckte

[1] Das bedeutet, dass die beiden Klassen durch eine Hyperebene getrennt werden können.

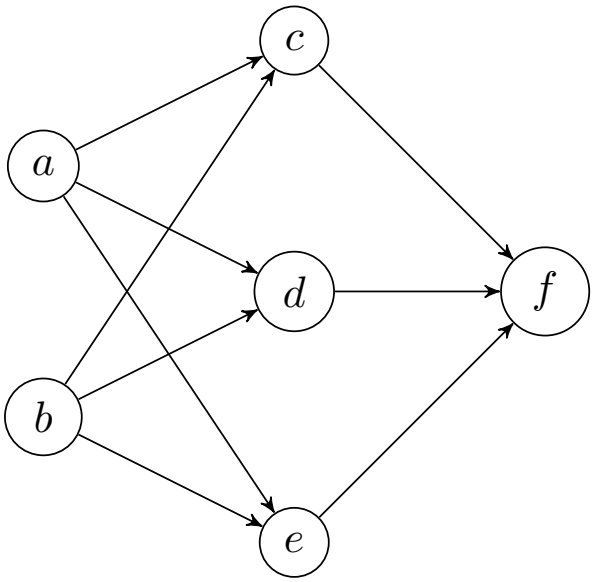


Abbildung 10.3: Ein Feedforward-Netz.

Schichten. Wir betrachten im Folgenden die Idee der Backpropagations-Lernregel (siehe [Roj96, Kapitel 7] für eine ausführliche Darstellung der Theorie, vergleiche auch [Kra09, S. 128–133]). Seien

$$D := \left\{(x_1, t_1), \ldots, (x_{|D|}, t_{|D|})\right\}$$

die Datenbeispiele, mit denen das Netz trainiert werden soll. Wenn dem Netz an der Eingabeschicht x_i präsentiert wird, so ist die gewünschte Ausgabe t_i. Der Fehler E_D des Netzes kann mit der folgenden Funktion ausgedrückt werden (vergleiche [Kra09, S. 130]):

$$E_D = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{|D|}(t_i - o_i)^2,$$

wobei o_i die tatsächliche Ausgabe des Netzes ist. Das Ziel ist, durch Anpassen der Gewichte den Fehler zu minimieren. Die Idee ist hierbei, einen Gradientenabstieg in der Fehlerfunktion durchzuführen. Damit das möglich ist, benötigen wir eine differenzierbare Aktivierungsfunktion für die Berechnung der Ausgabe eines Neurons. Eine geeignete Funktion ist z. B. die in Abbildung 10.4 dargestellte Sigmoidfunktion

$$s\colon \mathbb{R} \to \mathbb{R}^+, \quad s(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

mit der Ableitung

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}s(x) = \frac{e^{-x}}{(1 + e^{-x})^2} = s(x)(1 - s(x)). \tag{10.1}$$

Die Ausgabe eines Neurons berechnet sich dann als

$$o = \frac{1}{1 + \exp(\sum_{i=1}^{n} w_i x_i)}. \tag{10.2}$$

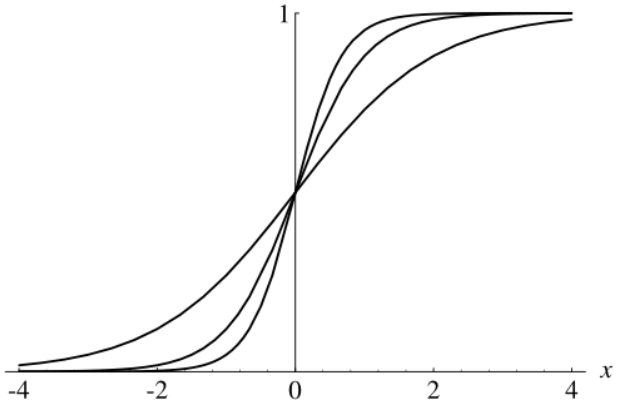


Abbildung 10.4: Sigmoide Aktivierungsfunktionen. Quelle: [Roj96, S. 152]

Wir leiten nun die Fehlerfunktion für ein präsentiertes Datenbeispiel nach den Gewichten ab und betrachten zunächst die Neuronen in der Ausgabeschicht, da für diese eine gewünschte Ausgabe bekannt ist.

In Abbildung 10.5 ist die Situation für ein Gewicht w_{ij} dargestellt (die anderen Eingänge des j-ten Neurons hängen nicht von w_{ij} ab und verschwinden beim Ableiten). Der Fehler für das betrachtete Neuron ist $\frac{1}{2}(t_j - o_j)^2$, wobei der Index hier und im Folgenden zu einem Neuron und nicht zu einem Datenbeispiel gehört. Ableiten nach w_{ij} liefert

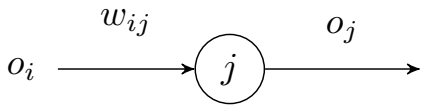


Abbildung 10.5: Ein Neuron j in der Ausgabeschicht. Hier ist nur der vom i-ten Neuron kommende und mit w_{ij} gewichtete Eingang dargestellt.

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial w_{ij}}\frac{1}{2}(t_j - o_j)^2 &= (t_j - o_j)\frac{\partial}{\partial w_{ij}}(t_j - o_j)\\ &= -(t_j - o_j)\frac{\partial}{\partial w_{ij}}o_j\\ &= -\underbrace{(t_j - o_j)o_j(1 - o_j)}_{=:\delta_j}o_i.\end{aligned}$$

Um die zweite Zeile zu erhalten, gilt es zu beachten, dass t_j nicht von w_{ij} abhängt und damit beim Ableiten verschwindet. Die letzte Zeile ergibt sich durch Anwenden der Kettenregel: Die äußere Ableitung erhalten wir mit Gleichung (10.1) und die innere Ableitung mit der Beobachtung, dass von der Summe in Gleichung (10.2) nur $w_{ij}o_i$ nicht verschwindet. Für Neuronen in den verdeckten Schichten berechnen wir δ_j mit dem Fehlersignal der Nachfolger N_j

$$\delta_j = o_j(1 - o_j)\sum_{q \in N_j} w_{jq}\delta_q.$$

Die Summe ersetzt hierbei die Abweichung $(t_j - o_j)$ von der gewünschten Ausgabe, d. h. der Fehler wird von der Ausgabeschicht in die niedrigeren Schichten propagiert

(deshalb wird dieses Vorgehen als Backpropagation bezeichnet). Die Anpassung der Gewichte erfolgt dann in entgegengesetzter Richtung des Gradienten mit

$$w'_{ij} = w_{ij} + \eta o_i \delta_j,$$

wobei $\eta > 0$ ein Lernparameter ist.

Das Lernen der XOR-Funktion ist mittels Backpropagation z. B. für ein Netz mit der in Abbildung 10.3 dargestellten Topologie möglich. Für die Gewichte

$$\begin{aligned} w_{ac} &= 3.91 & w_{bc} &= -9.86 & w_{ad} &= -0.99 \\ w_{bd} &= -1.01 & w_{ae} &= -9.73 & w_{be} &= 3.88 \\ w_{cf} &= 7.04 & w_{df} &= -16.0 & w_{ef} &= 6.99 \end{aligned}$$

liefert das Netz die folgende Ausgabe[2]

a	b	o_c	o_d	o_e	o_f
0.1	0.1	0.36	0.45	0.36	0.1
0.1	0.9	0.00	0.27	0.93	0.9
0.9	0.1	0.93	0.27	0.00	0.9
0.9	0.9	0.00	0.14	0.01	0.1

Hier ist 0 mit 0.1 und 1 mit 0.9 kodiert. Eine Ausgabe o mit $|o - 0.1| < 0.1$ interpretieren wir als 0 bzw. mit $|o - 0.9| < 0.1$ als 1. Die Ausgabe o_f des Netzes ist damit das Ergebnis der XOR-Verknüpfung der Eingaben a und b.

10.4 Hopfield-Netz

Wir betrachten in diesem Abschnitt das Hopfield-Netz, das z. B. die Wiederherstellung von verrauschten Daten ermöglicht, die zuvor gelernt wurden (siehe [Lip87, S. 10 f.]). In [Roj96, Kapitel 13] ist eine ausführliche Übersicht zu Hopfield-Netzen zu finden, siehe auch [JMM96, S. 41 f.], [Lip87, S. 10 f.]. Bei diesem Netztyp handelt es um ein Netzwerk von Neuronen, die jeweils mit allen anderen Neuronen verbunden sind (außer mit sich selbst). Die Gewichte sind symmetrisch, d. h. für die Verbindungsstärke zwischen zwei Neuronen i und j gilt $w_{ij} = w_{ji}$. Ein Neuron kann zwei Zustände annehmen, entweder 1 oder -1. Das Hopfield-Netz ist ein asynchrones Netzwerk, es wird zufällig ein Neuron für eine Aktualisierung des Zustands ausgewählt. Hierfür kann z. B. eine modifizierte Signumfunktion verwendet werden (vergleiche [Roj96, S. 341 f.])

$$\operatorname{sgn}\colon \mathbb{R} \setminus \{0\} \to \{-1, 1\}, \quad \operatorname{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & \text{wenn } x > 0 \\ -1, & \text{wenn } x < 0 \\ \text{undefiniert}, & \text{wenn } x = 0. \end{cases}$$

Dadurch kann sich der Zustand des Neurons nicht ändern, wenn die Summe der gewichteten Eingänge Null ergibt. Ein Hopfield-Netz hat die Eigenschaft, dass es

[2] Die Lernrate war hier $\eta = 0.3$ und die zufällig zwischen 0 und 0.1 gewählten Startgewichte $w_{ac} = w_{bc} = w_{cf} = 0.08$, $w_{ad} = w_{be} = 0.04$, $w_{bd} = w_{df} = 0.03$ sowie $w_{ae} = w_{ef} = 0.05$.

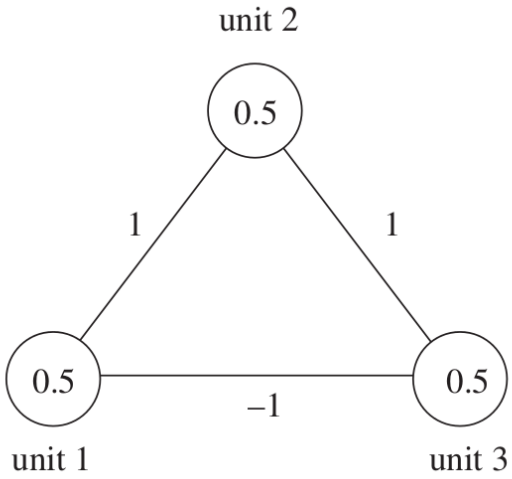


Abbildung 10.6: Hopfield-Netz mit drei Neuronen. Quelle: [Roj96, S. 350]

schließlich immer in einen stabilen Zustand gelangt, in dem für kein Neuron ein Zustandswechsel möglich ist (siehe [Roj96, S. 350–354] für einen Beweis).

In Abbildung 10.6 ist ein Beispiel für ein Hopfield-Netz mit drei Neuronen dargestellt. Die Gewichte sind $w_{12} = w_{21} = w_{23} = w_{32} = 1$ und $w_{13} = w_{31} = -1$. Der Schwellenwert ist für alle Neuronen 0.5. Wenn sich das Netz z. B. in dem Zustand $(-1, 1, -1)$ befindet — also wenn Neuronen 1 und 3 im Zustand -1 bzw. Neuron 2 im Zustand 1 ist — und das Neuron 2 für eine Aktualisierung ausgewählt ist, so ist die Summe der gewichteten Eingänge kleiner als 0.5 und das Netz wechselt in den stabilen Zustand $(-1, -1, -1)$ (für eine Darstellung aller möglichen Zustände und Zustandswechsel siehe [Roj96, S. 351]). Um ein Hopfield-Netz als Assoziativspeicher zu verwenden, ist es notwendig die Gewichte so einzustellen, dass die zu lernenden Daten stabile Zustände des Netzes sind. Hierfür kann z. B. Hebbsches Lernen verwendet werden (siehe [Roj96, S. 354 f.]).

Literatur

[JMM96] Jain, Anil K., Jianchang Mao und K.M. Mohiuddin: *Artificial Neural Networks: A Tutorial*. Computer, **29**:31–44, 1996.

[Kra09] Kramer, Oliver: *Computational Intelligence*. Springer-Verlag, 2009.

[Lip87] Lippmann, Richard P.: *An Introduction to Computing with Neural Nets*. ASSP Magazine, IEEE, **4**:4–22, 1987.

[MP69] Minsky, Marvin und Seymour Papert: *Perceptron: An Introduction to Computational Geometry*. MIT Press, 1969.

[Roj96] Rojas, Raúl: *Neural Networks: A Systematic Introduction*. Springer-Verlag, 1996.