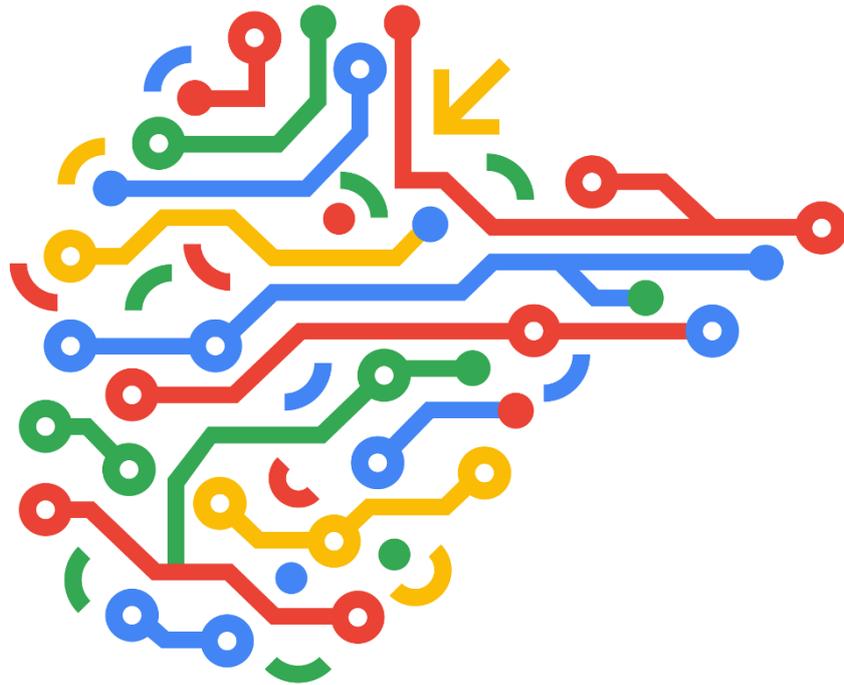


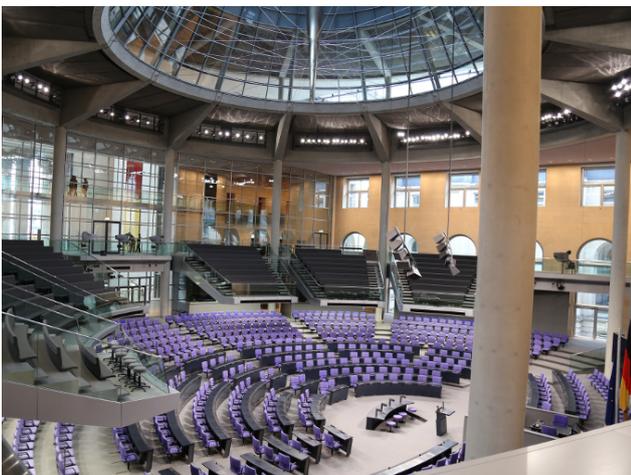
NEOLOGISMUS

AUSGABE 07/2017



Von Bäumen, Netzen und Maschinen – S. 6

Grafik: albyantoniuzzi – flickr.com (CC BY-NC-SA 2.0)



Einmal alles so ein bisschen, bitte! – S. 4

Foto: Pascal Volk – flickr.com (CC BY-SA 2.0)



Alles Gulasch, oder was? – S. 20

Foto: Frank Kriegl

Vorwort und Rätsel

Wir können Sommerpausen auch bei schlechtem Wetter

Liebe Leserinnen und Leser,

vor einem Monat und einem Jahr haben wir schon einmal eine unangekündigte Sommerpause eingelegt, und so dachten wir uns vor einem Monat, Traditionen müssen gewahrt werden – und haben es prompt wieder getan. Anders als im letzten Jahr können wir uns allerdings diesmal leider nicht so leicht mit einem Verweis auf die Hitze herausreden.

Als versöhnliche Geste gibt es diesmal zusätzlich zum entschuldigenden Vorwort ein kleines, natürlich vollkommen sinnvolles Rätsel, das so ihrerzeit die Sphinx gestellt haben könnte und für das nicht unbedingt mathematisch-topologische Fähigkeiten vonnöten sind. Es ist unten abgedruckt.

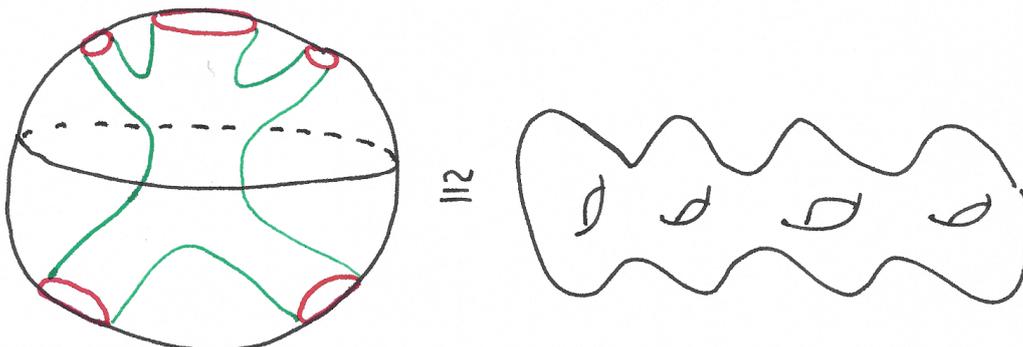
In diesem Sinne möchten wir uns für die unangekündigte Redaktionspause entschuldigen und hoffen, dass Sie auch ohne den Neologismus den Juli überlebt haben und genießen konnten. Wir wünschen viel Freude mit der Lektüre der Juli-Ausgabe des NEOLOGISMUS, die Ihnen hier vorliegt.

Mit freundlichen Grüßen



Florian Kranhold
Chefredaktion
Bonn, der 30. Juli 2017

Was ist das? Antworten bitte an fk@neologismus-magazin.de. Die richtigen und die kreativsten Antworten gewinnen eine anerkennende Mail aus der Chefredaktion.



Inhaltsverzeichnis

Vorwort und Rätsel	2
1 POLITIK UND GESELLSCHAFT	
Einmal alles so ein bisschen, bitte!	4
2 WISSENSCHAFT UND TECHNIK	
Von Bäumen, Netzen und Maschinen	6
Häppchenweise – Von Energie, Materie und Schrödingers Katze	12
3 FEUILLETON	
These games are made for walking	16
Blade Runner – Braucht es ein Sequel?	18
4 LEBEN	
Alles Gulasch, oder was?	20
Leitton, Septim oder h?	22

Chefredakteur:

Florian Kranhold

Layout:

Tobias Gerber, Florian Kranhold,
Michael Thies
Erstellt mit L^AT_EX

Autoren dieser Ausgabe:

Florian Kranhold, Lukas Heimann, Jan-
nik Buhr, Marc Zerwas, Frank Kriegl

Redaktionsanschrift:

Florian Kranhold
Burbacher Straße 108/b
53129 Bonn

Kontakt:

neologismus-magazin.de
facebook.com/neologismus.magazin
info@neologismus-magazin.de
Die gedruckten Artikel geben nicht immer die Meinung der Redaktion wieder. Änderungen der eingereichten Artikel behalten wir uns vor. Trotz sorgfältiger Prüfung übernehmen wir keine Haftung

für die Richtigkeit der abgedruckten Veröffentlichungen.

Der NEOLOGISMUS steht unter einer *Creative Commons*-Lizenz: CC BY-NC-SA 3.0 (Namensnennung, Nichtkommerziell, Weitergabe unter gleichen Bedingungen 3.0 Deutschland Lizenz, creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/). Zur Verwendung enthaltener Inhalte, die nicht durch diese Lizenz abgedeckt wird, nehmen Sie bitte Kontakt zu uns auf.

Veröffentlicht am 30. Juli 2017.

POLITIK UND GESELLSCHAFT

Einmal alles so ein bisschen, bitte!

Partei politik in Deutschland

VON FLORIAN KRANHOLD

In weniger als zwei Monaten ist es schon wieder soweit: Der neue Bundestag wird gewählt! Besonders spannend scheint diese Aktion ja diesmal nicht zu werden; aller Voraussicht nach werden wir sechs Fraktionen ins Parlament wählen: Union, SPD, Grüne, Linke, FDP und AfD. Die SPD scheint schon gar nicht mehr den Versuch zu unternehmen, ihren Kanzlerkandidaten MARTIN SCHULZ als eine Alternative, die der amtierenden Kanzlerin ANGELA MERKEL gefährlich werden könnte, zu präsentieren. Tatsächlich hat Merkel in dieser Wahl auch sehr gute Karten: Sie steht für „Weiter so“ und das ist derzeit offenbar vorherrschender Wunsch – wie schon zu Zeiten Adenauers: Jetzt keine Experimente. Diese Angst, alternative Wege zu beschreiten, ist sicherlich vor allem den außenpolitischen Umständen geschuldet: Wo der Präsident des wichtigsten militärischen Verbündeten Europas ein Totalausfall ist, braucht es Kontinuität und Amtserfahrung. Wo Provokationen selbstermächtigter Autokraten auf der diplomatischen Tagesordnung stehen, braucht es eine Person, die Geduld und Emotionslosigkeit zum Regierungsstil erhoben hat. Also: Wirklich spannend wird hier nichts, die offene Frage ist lediglich, mit wem Frau Merkel in der nächsten Legislaturperiode regieren wird.

Trotzdem ist ein Blick auf das parteipolitische Angebot vor dem Hintergrund der Bundestagswahl durchaus interessant, wenn man ihn von



Foto: Pascal Volk – flickr.com (CC BY-SA 2.0)

der Kanzlerfrage entkoppelt: Denn dann gibt es meines Erachtens Optimierungbedarf. Es ist auffällig, dass voraussichtlich etwa 30 % der Sitze von sogenannten „kleinen Parteien“ gefüllt werden, und es ist unerfreulich, dass eine Partei in den Bundestag einziehen wird, die neben berechtigten konservativen Positionen auch ein gehöriges Maß rechter Chauten mitbringt. Man mag es so sehen, dass sich die linke Kraft, die SPD der 70er Jahre, in drei, hingegen die konservative Kraft, die Union vor Merkel, in zwei Parteien aufgespalten hat. Woran liegt das?

Meine These ist folgende: Erfreulicherweise haben wir bisher das Glück gehabt, dass sich die deutschen Kanzler – ganz gleich welcher Partei – sehr unideologisch den aktuellen Problemen gewidmet haben. Schmidt und Schröder etwa haben während ihrer Kanzlerschaft eine Politik gemacht, die von ihrer SPD als „zu wenig links“, als zu militärstrategisch oder zu marktliberal empfunden worden ist. Merkel macht nun eine Politik, die aus Sicht ihrer Union ihre konservativen Ursprünge vermis-

sen lässt. Diese Form vom Realpolitik ist im Prinzip wünschenswert.

Das demokratische Problem daran ist allerdings, dass dadurch die Profile der jeweiligen Parteien unkenntlicher werden und es von Zeit zu Zeit notwendig wird, ideologische Grenzen zwischen den Parteien neu zu ziehen. Stellen wir uns mal für einen Moment dumm und vergessen, welcher Politiker in welcher Partei ist. Wo sehen wir übereinstimmende Positionen? Ich wage eine ganz grobe Vereinfachung und versuche, einige wenige Politiker einer Grundüberzeugung zuzuordnen:^{1,2}

- (i) LINKSEXTREM
Wagenknecht
- (ii) SOZIAL
Gysi, Ernst, Schulz, Nahles, Özdemir
- (iii) MITTE
Merkel, Kretschmann, Gabriel, Schäuble, Lindner
- (iv) KONSERVATIV
Seehofer, Bosbach, Lucke^{AfD}
- (v) RECHTSEXTREM
Petry, Höcke

¹ Dabei liste ich bewusst nur von „links“ nach „rechts“ und lasse Positionen, die schwerer auf diese Achse passen, wie etwa ökologische oder liberale, beiseite. Es ist auch nicht meine Absicht, Grüne und Liberale mit den großen Parteien zu versöhnen, da sie nunmal ganz spezifische Positionen zu ganz spezifischen Themen betonen.

² Mir ist durchaus bewusst, dass ich hier Landes- und Europapolitiker sowie einen scheidenden Parlamentarier mitnenne.

Was ich damit zum Ausdruck bringen möchte: Es gibt parteiübergreifende Übereinstimmungen und parteiinterne Differenzen in einem Ausmaß, wie ich es aus der Geschichte des deutschen Parlamentarismus nicht kenne.

Es ist nicht zutreffend, dass – wie es ja oft politikverdrossenerweise behauptet wird – die amtierenden Politiker nicht die Meinungen der Bevölkerung widerspiegeln: Wer bürgerlich-konservativ ist, findet seine Position vielleicht nicht in Person der CDU-Vorsitzenden, wohl aber bei Seehofer und Bosbach. Es ist also nicht so, dass die Meinungen nicht vertreten werden – sie sind nur ganz sonderbar verteilt und dadurch quasi unwählbar geworden.

Genau hier liegt das Problem: Im Wesentlichen ist unser Wahlrecht so gebaut, dass ich als Wähler mit meiner Stimme die Mehrheitsverhältnisse der einzelnen Parteien festlege, und damit indirekt auch die Mehrheitsoptionen für koalitionäre Regierungsbildungen, weswegen die Wahl sowohl eine ideologisch-inhaltliche als auch eine personelle ist. Wenn ich mit meiner Wahl nun, wie es ja durchaus wünschenswert ist, vor allem politische Grundüberzeugungen verbinde, so wird es mir derzeit sehr schwer gemacht. Eigentlich möchte man von mehreren Parteien einen Teil.

Grob vereinfacht: Das Angebot ist nicht schlecht, aber komisch gebündelt. Es ist etwa so, als besuchte man ein durchaus rezeptables Restaurant und dürfte bei der Bestellung nur die Seite der Speisekarte angeben, von der der Küchenchef einem dann nach intensiver Interpretation, was man eigentlich wollte, einen Teller zusammenstellt. Soweit wäre das ja noch akzeptabel (das ist ja das Prinzip einer repräsentativen Demokratie!), aber jetzt stellen Sie sich vor, die Karte wäre vollkommen durcheinandergewürfelt und auf einer Seite finden sie die Sahnetorte direkt neben dem Hirschbraten.

Vor einiger Zeit war dies ein *linkes* Problem. Der sozialdemokratische Wähler stand vor dem Problem, dass seine politischen Ziele nicht verwirklicht werden, wenn er die SPD wählt. Es entstanden andere linkere Parteien und die linke Hälfte der po-

litischen Landschaft ist bis heute unaufgeräumt, denn nach wie vor gibt es Teile der SPD, die sich als sozialdemokratisch im klassischen Sinne verstehen. Nun passiert das Gleiche auf der rechten Seite: Es ist richtig, dass die Union unter Merkel progressiver geworden ist und damit Teile der konservativen Wählerschicht parteipolitisch ihrer Heimat beraubt hat. Auf diese Weise entstand (wenn auch noch vorerst mit dem Fokus auf europa- und währungspolitische Fragestellungen) die AfD. Wie auch in umgekehrter Weise bei der SPD beschrieben, heißt diese Verschiebung aber nicht, dass innerhalb der CDU und vor allem der CSU nicht doch noch sehr konservative Ansichten vertreten werden. Die ideologische Spaltung der Union war nicht zuletzt bei der Abstimmung über die „Ehe für alle“ zu beobachten.

Oft wird, vor allem von der SPD, vor Wahlen versucht, diesem Problem durch das Verfassen von guten Wahlprogrammen zu begegnen: Wahlprogramme, die stets von einer Partei im Gesamten formuliert werden, sollen dem Wähler klarmachen, was genau er wählt. Wähle ich die SPD, dann möchte ich diesen konkreten Spitzensteuersatz usw. Das ist natürlich gut, denn auf diese Weise wurden in den letzten Jahren viele politische Ziele wie etwa der Mindestlohn durchgesetzt. Auch diesmal ist das inhaltliche Programm der SPD meiner Meinung nach glaubwürdig, ambitioniert und realistisch. Es löst aber nicht das allgemeine Problem. Neben konkreten Zielen geht es eben um Grundüberzeugungen. Ein paar konkrete politische Änderungswünsche sind sicherlich nicht verkehrt, aber ein Großteil der politischen Arbeit ist doch der Umgang mit neuen Problemen während der Legislaturperiode, und da interessiert mich die Grundhaltung, aus der heraus meine Repräsentanten reagieren. Daher möchte ich als Bürger die Partei wählen, die im Wesentlichen meine Grundüberzeugungen teilt. Und hier sind die Parteien eben tief gespalten.

Zur AfD: Es ist auffällig, dass sie in Bayern deutlich weniger Stimmen bekommt als in den übrigen Bundesländern. Man mag die CSU inhaltlich kritisieren (auch ich tue das),

aber Seehofer hat Recht, wenn er sagt, der Grund dafür ist die Linie der CSU, die grundsätzlich konservativer als die der CDU ist. Erst das politische Vakuum rechts von Merkel hat es ermöglicht, dass ein Haufen rechter Chaoten einen derartigen Zuspruch bekommt. Um es ganz klar zu sagen: Eine Partei rechts von Merkel ist verkraftbar und vielleicht durchaus notwendig, eine Partei aus Rechtsnationalen und Demokratiefeinden ist es nicht.

Könnte ich mir ein Parlament wünschen, so bestünde dieses – neben kleinen Interessenparteien – aus den oben genannten Fraktionen (II) bis (IV); und mit etwas Glück verlor bei einer solchen Konstellation die extremen Ränder an Zuspruch und fielen unter die 5%-Hürde.

Ich möchte nicht missverstanden werden: Mir ist erstens klar, dass politische Meinungsbildungsprozesse viel komplexer sind und sich Bundespolitik nicht ausschließlich in „links“ und „rechts“ messen lässt, und mir ist auch klar, dass es keinen sinnvollen Weg hin zu meinem Wunschparlament geben kann. Es müssten sich große Teile der Union von Merkel distanzieren und gleichzeitig große Teile der SPD Merkel stützen. So etwas wird nie passieren. Möglicherweise verschwinden die Probleme durch künftige Generationen von Politikern, bei denen die inhaltliche Identifikation mit ihren Parteien klarer ist. Vielleicht ist es allgemein nur ein temporäres Problem, das durch die Komplexität der aktuellen politischen Lage entstanden ist.

Das Blöde bleibt allerdings, dass solche Phänomene extremen Randerscheinungen den Weg ins Parlament ermöglichen und die allgemeine Politikverdrossenheit verstärken, da sich der Eindruck breit macht, mit einer Wahl nichts mehr erreichen zu können. Hoffen wir einfach, dass trotz der ideologischen Unschärfen der politische Entscheidungsfindungsprozess vernünftig, nachvollziehbar und im weitesten Sinne demokratisch bleibt. Denn eines darf und sollte man partei- und ideologieübergreifend stets als wichtigstes Ziel verstehen: Die Glaubwürdigkeit der demokratischen Institutionen und ihre Verantwortung zur politischen Willensbildung.

WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Von Bäumen, Netzen und Maschinen

Drei Klassifizierungsverfahren

VON LUKAS HEIMANN

In der letzten Ausgabe des NEOLOGISMUS habe ich bereits über künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen im Allgemeinen gesprochen.^[1] In dieser Ausgabe möchte ich nun drei ganz konkrete Verfahren des maschinellen Lernens vorstellen, genauer gesagt drei Klassifizierungsverfahren.

Klassifizierung ist ein Teilbereich des überwachten Lernens, bei dem aus einer Reihe von Eingabe-Ausgabe-Paaren eine Regel abgeleitet werden soll, die Eingabe auf Ausgabe abbildet.^[2, S. 811] Diese Lernaufgabe wird im maschinellen Lernen auch „Funktionslernen aus Beispielen“ genannt,^[3, S. 410] die gelernten Regeln häufig „Modelle“. Bei den Eingabedaten spricht man auch von „feature variables“ oder einem Merkmalsvektor, bei den Ausgabedaten von „target variables“,^[4, S. 2] die im Falle von Klassifizierung aus einer endlichen Wertemenge aus zuzuordnenden „Klassen“ oder „Labels“ stammen.^[2, S. 812]

Klassifizierungs-Algorithmen bestehen in der Regel aus drei Phasen: In einer Lern- oder Trainingsphase werden Regeln aus Beispielen,¹ auch Trainingsdaten genannt, abgeleitet. Diese Regeln werden in einer Test- oder Validierungsphase auf andere, ebenfalls beschriftete Daten angewendet, damit geprüft werden kann, wie gut die gelernten Regeln bei anderen Eingabewerten funktionieren.^[4, S. 2] Danach können die so trainierten Klassifikatoren in der praktischen Anwendung auf neue, unbeschriftete Daten angewendet werden. Dies ist ein Thema, mit

dem sich die Literatur in der Regel nicht mehr beschäftigt.

Im Folgenden sollen drei großen Gruppen der Klassifizierungs-Algorithmen sowie ihre jeweilige Funktion beschrieben werden. Zuvor soll jedoch noch ein wichtiges allgemeines Konzept der Klassifizierung eingeführt werden. Lösungen für Klassifikationsaufgaben haben immer das Risiko der *Überanpassung* (englisch „Overfitting“), bei der die Entscheidungs-Regeln zu stark auf die Trainingsdaten angepasst wurden und somit bei den Validierungsdaten und damit in der späteren praktischen Anwendung nicht ausreichend gut funktionieren.

We will say that a hypothesis overfits the training examples if some other hypothesis that fits the training examples less well actually performs better over the entire distribution of instances.^[5, S. 67]

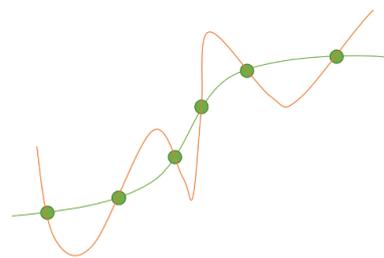


Abb. 2.1: Zu komplexes Modell

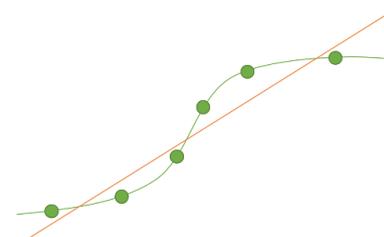


Abb. 2.2: Zu einfaches Modell

Eine Veranschaulichung des Konflikts aus Überanpassung und zu starker Generalisierung ist in den Abbildungen 2.1 und 2.2 dargestellt. Die grüne Kurve beschreibt die tatsächliche Verteilung der Daten in der Realität, die grünen Punkte die zum Training verwendeten Beispiele. Die rote Kurve stellt die gelernte Verteilung der Daten dar, die in Abbildung 2.1 zwar sehr nah an den Beispieldaten ist, aber nicht der realen Verteilung der Daten entspricht. In Abbildung 2.2 hingegen ist die gelernte rote Kurve zu einfach, um die tatsächliche Verteilung der Daten ausreichend gut anzunähern.

Entscheidungsbäume

Entscheidungsbäume gehören zu den einfachsten Methoden des maschinellen Lernens und den intuitivsten Verfahren zur Klassifizierung.^[2, S. 814; 4, S. 87] Sie funktionieren, indem sie die Menge möglicher Eingabewerte durch hierarchische Unterteilung so weit eingrenzen, bis eine Zuordnung einer bestimmten Klasse möglich ist.^[4, S. 87] Ein einfacher Entscheidungsbaum ist in Abbildung 2.3 abgebildet. Um ein neues Eingabebeispiel zu klassifizieren, wird dem Baum entsprechend der an Kanten festgelegten Bedingungen gefolgt, bis man an einem Endknoten eine Klasse erhält.^[5, S. 53]

Grundsätzlich können die unterschiedlichen Attribute der Eingabedaten in jedem Pfad des Baumes in beliebiger Reihenfolge vorkommen. So könnte in Abbildung 2.3 auch „Aussicht“ statt „Temperatur“ der

¹Beschriftete Daten aus Eingabedaten mit zugeordneten Ausgabedaten

Wurzelknoten des Baums sein. Da dies jedoch in exponentiellem Berechnungsaufwand resultieren würde, werden Entscheidungsbäume in einem „top-down“ genannten Verfahren von der Baumwurzel gebildet, so dass für jeden Knoten das Attribut als Entscheidungsvariable verwendet wird, das die „größte Verbesserung der Klassifikationsleistung erbringen würde“.[3, S.414f.]

Um diese Verbesserung messbar zu machen, wurden verschiedene Entscheidungsgrößen entwickelt, die die Basis unterschiedlicher Typen von Entscheidungsbäumen bilden. Einer der ersten Entscheidungsbäume verwendete beispielsweise die Reduktion der Entropie innerhalb der mittels der neuen Entscheidungsvariable eingeteilten Untergruppen als einen solchen Maßstab. Der weit verbreitete CART-Entscheidungsbaum² verwendet den *Gini-Index* als Maßstab für Ungleichverteilung:[4, S.94]

$$\begin{aligned} \text{Gini}(X_i) &:= \sum_{y \in Y} p_{iy}(1 - p_{iy}) \\ &= 1 - \sum_{y \in Y} p_{iy}^2 \end{aligned} \quad (2.1)$$

p_{iy} ist dabei die Wahrscheinlichkeit, zufällig den Wert y aus dem Wertebereich Y in der Menge X_i auszuwählen, $p_{iy}(1 - p_{iy})$ entsprechend die Wahrscheinlichkeit, ihn zufällig falsch zu klassifizieren – was wahrscheinlicher ist, wenn die Werte eher ungleich verteilt sind. Ein Wert nahe 0 bedeutet eine also gleichmäßige Verteilung der Werte aus dem Wertebereich Y in der Menge X_i , ein Wert nahe 1 eine Ungleichverteilung. Für die Entwicklung eines Entscheidungsbaums sind jene Mengen besser, deren Werte gleichverteilt sind, wodurch sie besser zu einer Klasse zugeordnet werden können. Der Informationsgewinn ΔF , den es bei jeder Aufteilung des Entscheidungsbaums zu maximieren gilt, wird wie folgt definiert:[4, S.94]

$$\begin{aligned} \Delta F_{\text{Gini}}(S) &:= \text{Gini}(X) \\ &\quad - \sum_{i \in S} \frac{|X_i|}{|X|} \text{Gini}(X_i) \end{aligned} \quad (2.2)$$

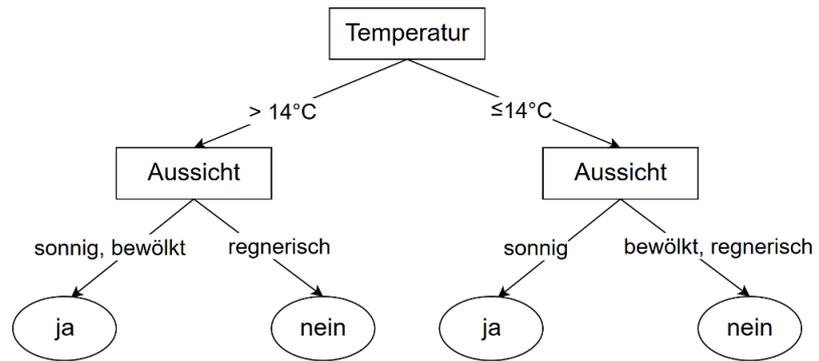


Abb. 2.3: Ein einfacher Entscheidungsbaum: „Soll ich einen Spaziergang machen?“

X ist dabei die Menge der Werte, die es an einem Knoten des Entscheidungsbaums aufzuspalten gilt, S das Kriterium, nach dem Teilmengen X_i aus X gebildet werden. Ziel ist es, das Kriterium S auszuwählen, bei dem ΔF_{Gini} maximal ist.[4, S.94]

Entscheidungsbäume neigen jedoch zur Überanpassung, da der Trainingsfehler auf einer bestimmten Menge Trainingsdaten minimiert wird. Die trainierten Bäume werden daher in der Regel mit einer anderen Datenmenge (Validierungsdaten) in einem zweiten Schritt „gestutzt“ (*Pruning*).[3, S.418] Bei CART-Entscheidungsbäumen wird ein Verfahren verwendet, das Teilbäume anhand eines Komplexitäts-Nutzen-Verhältnisses bewertet und bei Bedarf durch einzelne Blätter ersetzt.[4, S.97]

Ein Problem von Entscheidungsbäumen ist ihre strukturelle Instabilität. Bereits kleine Veränderungen in den Trainingsdaten können wegen des Top-Down-Ansatzes zu einer vollkommen anderen Reihenfolge der Entscheidungs-Attribute auf den einzelnen Ebenen des Baumes führen. Mit Methoden wie *Bagging* und *Boosting* werden daher mehrere Entscheidungsbäume auf unterschiedlichen Teilmengen der Trainingsdaten trainiert. Bei der Anwendung der so trainierten Bäume auf neue zu klassifizierende Daten findet schlussendlich eine (gewichtete) Mehrheitsentscheidung statt.[3, S.419f.] Klassifizieren zum Beispiel 90 Bäume die Daten als „Klasse A“ und nur 10 die Daten als „Klasse B“, wird „Klasse A“ als Gesamtentscheidung angenommen. *Random Forests* sind

eine von LEO BREIMAN entwickelte Umsetzung unter anderem des Bagging-Verfahrens, bei dem Overfitting durch die große Zahl der Bäume vermieden wird.[6, 7]

Neuronale Netze

Ein künstliches neuronales Netz ist ein Graph aus miteinander verbundenen Einheiten, die ein mathematisches Modell biologischer Neuronen repräsentieren.[übersetzt aus 4, S.208] Eine einzelne dieser Einheiten, wie sie in Abbildung 2.4 dargestellt ist, besteht dabei aus mehreren Eingangssignalen s_1, s_2, \dots, s_J , die multipliziert mit Übertragungsgewichten $w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{iJ}$ zu einem Potential u_i aufsummiert werden. Dieses wird mit einer Aktivierungsfunktion Φ in ein Ausgabesignal, die Erregung e_i , umgewandelt.[3, S.366; vgl. 2, S.847].

Durch Verknüpfung der künstlichen Neuronen können so beliebig komplexe Strukturen konstruiert werden. Durch die Definition einer einfachen Aktivierungsfunktion

$$\Phi(u) = \begin{cases} u \geq \vartheta & : 1 \\ \text{sonst} & : 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

und geschickte Wahl der Gewichte w_{ij} sowie des Schwellwerts ϑ kann bereits mit einem einzelnen Neuron das logische UND beziehungsweise ODER dargestellt werden.[6, S.86f.] Fügt man vor die Ebene des Ausgabe-Neurons eine weitere Ebene mit sogenannten „versteckten Neuronen“ (einen *hidden layer*), so lassen sich bereits beliebige Boole'sche Ausdrücke darstellen und beliebige Funktionen annähern.[8, S.9, 12]

²CART steht dabei für *Classification and Regression Tree*

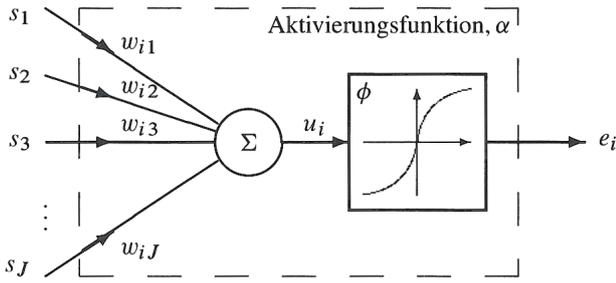


Abb. 2.4: Ein künstliches Neuron. Abbildung aus [3, S. 366].

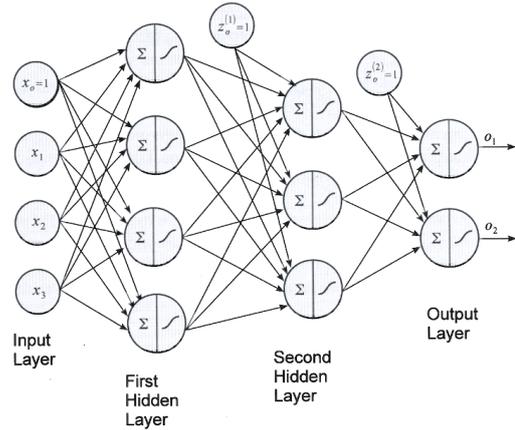


Abb. 2.5: Ein Multi Layer Perceptron mit sigmoidaler Aktivierungsfunktion. Abbildung aus [4, S. 225].

Die Einführung von Ebenen versteckter Neuronen, die jeweils nur vollständig mit der darauffolgenden Schicht verbunden sind (*feedforward*), wie es in Abbildung 2.5 dargestellt ist, ermöglicht die Durchführung selbst komplexer Klassifikationsaufgaben. Man spricht von „multi-layer feedforward networks“ oder *Multi Layer Perceptrons* (MLPs), sowie *Deep Learning*.^[4, S. 207]

Zur Bestimmung der Gewichte w_{ij} wurden verschiedene Lernregeln entwickelt. Effizientes Training von MLPs wurde erst 1986 durch die Entwicklung von *Back-Propagation* möglich,^[9, S. 11; 4, S. 207] das auf Gradientenabstieg (*gradient descent*) basiert und bereits 1974 durch PAUL WERBOS vorgeschlagen wurde.^[8, S. 3, 17; 10] Ziel ist die Minimierung des Fehlers E an den Neuronen i des Output Layers, wobei t_i die entsprechenden Trainingswerte sind. E wird wie folgt definiert:^[3, S. 377; 5, S. 89]

$$E := \frac{1}{2} \sum_i (e_i - t_i)^2$$

$$= \frac{1}{2} \sum_i \left[\Phi \left(\sum_j w_{ij} s_j \right) - t_i \right]^2 \tag{2.4}$$

Dieser Fehler E ist nun abhängig von der Wahl der Gewichte w_{ij} . Jedes einzelne Gewicht w_{pq} wird dann iterativ gemäß der Ableitung des Fehlers nach dem entsprechenden Ge-

wicht angepasst:^[vgl. 4, S. 228; 5, S. 91]

$$w_{pq} \leftarrow w_{pq} + \nabla w_{pq} \tag{2.5}$$

$$\nabla w_{pq} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{pq}} \tag{2.6}$$

In Gleichung 2.6 ist die Veränderung ∇w_{pq} angegeben, die in Gleichung 2.5 iterativ auf das Gewicht w_{pq} angewendet wird. ∇ ist dabei der *Nabla-Operator*, der dazu verwendet wird, den Gradienten anzugeben. η ist dabei ein beim Training zu wählender Faktor, der die Lerngeschwindigkeit bestimmt. In Abbildung 2.6 ist ein Iterationsschritt für ein Gewicht visualisiert. Für Gewichte des Output Layers lässt sich die partielle Ableitung *trivial* bestimmen. Es gilt^[3, S. 377]

$$\frac{\partial E}{\partial w_{pq}} = (e_p - t_p) \Phi'(u_p) s_q$$

$$=: -\delta_p s_q. \tag{2.7}$$

Um die partiellen Ableitungen für die Gewichte \tilde{w}_{pq} eines Hidden Layers zu bestimmen, muss in Gleichung 2.4 für das Eingangssignal s_j des Output Layers die Formel zu dessen Berechnung aus dem Hidden Layer $s_j = \Phi(\sum_k \tilde{w}_{jk} s_k)$ eingesetzt werden, wobei s_k die Eingangssignale des Hidden Layers sind. Durch Umformen erhält man^[3, S. 378]

$$\frac{\partial E}{\partial \tilde{w}_{pq}} = - \sum_{i=1}^I \delta_i w_{ip} \Phi'(\tilde{u}_p) s_q$$

$$=: -\tilde{\delta}_p s_q. \tag{2.8}$$

Wie leicht ersichtlich ist, unterschei-

den sich die Terme zur Berechnung der partiellen Ableitung des Fehlers E für Output Layer (Gleichung 2.7) und Hidden Layer (Gleichung 2.8) nur in δ_p bzw. $\tilde{\delta}_p$. $\tilde{\delta}_p$ enthält insbesondere jeweils die δ_i des nachfolgenden Layers, sodass alle δ_p und $\tilde{\delta}_p$ hierarchisch vom Output Layer bis zum vordersten Hidden Layer berechnet werden können.³ Dies funktioniert theoretisch mit beliebig vielen Hidden Layers.

Wichtige Voraussetzung für Back-Propagation ist Differenzierbarkeit der Aktivierungsfunktion $\Phi(u)$, wobei trotzdem eine „schrittartige“ Struktur wie im naiven Ansatz in Gleichung 2.3 angestrebt werden soll. In der Praxis (und zum Beispiel in Abbildung 2.5) wird häufig eine Sigmoidfunktion wie etwa die logistische Funktion verwendet.^[vgl. 4, S. 211; 3, S. 366; 2, S. 847]

$$\Phi(u) = \frac{1}{1 + e^{-u}} \tag{2.9}$$

Bei Back-Propagation muss beachtet werden, dass insbesondere ein ungeschickt gewähltes η dazu führen kann, dass das Training nur in einem (unter Umständen sehr schlechten) lokalen Minimum statt eines gewünschten globalen resultiert. Eine Erweiterung des Back-Propagation-Algorithmus führt daher den Momentum-Faktor ein, der beim Gradientenabstieg auch die Veränderung der Gewichte bei der letzten Iteration einbezieht. Außerdem beeinflussen die initialen Werte der Gewichte w_{ij} das Trainings-

³Wodurch sich der Name „Back-Propagation“ ergibt.

Ergebnis, weswegen sie häufig gemäß der Standardnormalverteilung zufällig belegt werden. Zudem werden die numerischen Eingabedaten häufig normalisiert, sodass sie im Wertebereich von $[-1, 1]$ liegen.^[4, S. 229]

Für kategorische Variablen hat sich das sogenannte „One-Hot“-Encoding etabliert, bei dem pro Eingangssignal eine Klasse existiert. Ist eine Klasse aktiv, ist der Wert des entsprechenden Signals 1; der aller anderen ist 0. Auch im Output Layer kann diese Kodierung verwendet werden. So wird jene Klasse als ausgewählt angenommen, deren Neuron den größten Ausgabewert hat.^[4, S. 225] Da diese Werte in der Praxis jedoch nie eindeutig 1 und 0 sein werden, können sie auch als Abschätzung der Wahrscheinlichkeit der korrekten Klassifizierung verwendet werden.^[4, S. 226]

Ein wichtiger Teil beim Training von neuronalen Netzen ist die Vermeidung von Überanpassung durch zu häufige Iteration des Back-Propagation-Algorithmus. Eine häufig genutzte Methode ist hierbei die regelmäßige Abschätzung des Klassifizierungs-Fehlers während des Trainings mit einem separaten Satz an Validierungsdaten, um einen geeigneten Zeitpunkt zum Abbruch des Trainings zu finden.^[4, S. 232; 3, S. 380, 387; 2, S. 855] Weitere Herausforderungen sind die Wahl einer geeigneten Netzstruktur⁴ sowie der Umgang mit zu kleinen Mengen an Trainingsdaten bei zu vielen Parametern, was in einer unverhältnismäßig großen Zahl an anzupassenden Gewichten resultiert.^[4, S. 232f.]

Neuronale Netze sind ein sehr mächtiges Werkzeug, das sich in vielen Bereichen einsetzen lässt. So lassen sich MLPs auch für Regressionsprobleme verwenden und mit dem Hinzufügen von „Convolutions“ genannten Schichten lassen sich unter anderem Bilderkennungsprobleme effizient lösen.^[8, S. 33ff.] Die flexible Verschaltung von Neuronen ermöglicht darüber hinaus Netzwerke, bei denen sich Verbindungen nicht nur vorwärts, sondern auch wieder zurück zu Neuronen in vori-

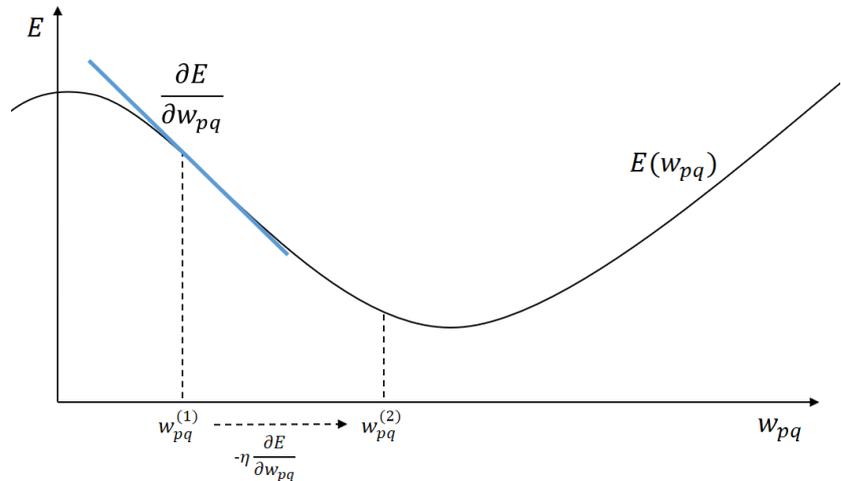


Abb. 2.6: Veranschaulichung des Gradientenabstiegs beim Back-Propagation-Algorithmus

gen Schichten erstrecken. Solche rekurrenten neuronalen Netze ermöglichen die Simulation von Gedächtnisprozessen, was sich zum Beispiel zur Vervollständigung von Mustern nutzen lässt.^[8, S. 19ff.; 2, S. 847] Darüber hinaus können neuronale Netze auch im Bereich des unüberwachten Lernens und des Verstärkungslernens eingesetzt werden. Die vielfältige Nutzung in Forschung und Praxis ist starkes Indiz für die Vorteile neuronaler Netze.^[vgl. 11, S.]

Nachteil neuronaler Netze ist insbesondere die schwere Verständlichkeit der generierten Modelle^[5, S. 85] und die komplexe Anpassung der Struktur und Parameter des Netzes^[2, S. 854; 4, S. 232] sowie die Dauer des Trainings.^[5, S. 85]

Support Vector Machines

Support Vector Machines (deutsch vereinzelt auch „Stützvektormethode“^[3, S. 427]) sind der neueste und zurzeit „populärste Ansatz für überwachtes Lernen“.^[2, S. 863] Sie wurden in den 1990ern von VLADIMIR VAPNIK⁵ et al. mit der Motivation entwickelt, die Überanpassung bestehender Modelle wie Entscheidungsbäume und neuronale Netze zu vermeiden.^[4, S. 187; 12]

Die Idee hinter Support Vector Machines ist es, Klassifizierungsaufgaben nicht durch „Lernen“ einer Funktion (wie etwa bei neuronalen Netzen), sondern durch „Konstruktion“ einer idealen Trennlinie zu lösen.

Die Trainingsdaten S in der Form

$$S_i = \{(\vec{x}_i, y_i); \vec{x}_i \in \mathbb{R}^n, y_i = \pm 1\},$$

wie sie in Abbildung 2.7 beispielhaft für $n = 2$ dargestellt sind, und sollen durch eine Hyperebene \mathcal{H} , definiert durch eine lineare Funktion $h(\vec{x}) = \vec{w}^T \vec{x} + b = 0$ mit einem Vektor an Gewichten \vec{w} , so voneinander getrennt werden, dass der Mindestabstand M der Punkte \vec{x} von \mathcal{H} maximal ist. Man spricht in diesem Fall vom *Maximum Margin Classifier*.^[4, S. 189; 2, S. 865]

Der Abstand eines Punktes \vec{x} von \mathcal{H} lässt sich definieren als

$$\text{Abstand}(\vec{x}, \mathcal{H}) = \frac{|\vec{w}^T \vec{x} + b|}{\|\vec{w}\|} \quad (2.10)$$

wobei $\|\cdot\|$ ein Abstandsmaß wie zum Beispiel die euklidische Norm $\|\vec{w}\| = \sqrt{\vec{w}^T \vec{w}}$ ist.^[3, S. 429] \vec{w}^T drückt aus, dass der Vektor \vec{w} transponiert wird, sodass das Produkt $\vec{w}^T \vec{x}$ ein Skalar ist. Für Punkte \vec{x} auf der richtigen Seite y von \mathcal{H} gilt^[4, S. 188f.]

$$|\vec{w}^T \vec{x} + b| = y(\vec{w}^T \vec{x} + b). \quad (2.11)$$

Die Maximierung des Abstandes lässt sich also als das folgende Optimierungsproblem formulieren:

$$\begin{aligned} &\text{Maximiere } M \\ &\text{Bedingung } \forall i : \frac{y_i(\vec{w}^T \vec{x}_i + b)}{\|\vec{w}\|} \geq M \end{aligned} \quad (2.12)$$

⁴Anzahl und Größe der Hidden Layer

⁵Dieser Artikel verwendet die englische Transkription des russischen Namens

Das Problem an dieser Formulierung ist jedoch, dass durch Skalierung der Hyperebene unendlich viele optimale Lösungen existieren. Daher wird diese normiert, indem $M\|\vec{w}\| = 1$ gesetzt wird. Wird M maximiert, muss also $\|\vec{w}\|$ minimiert werden. Durch Multiplikation der Nebenbedingungen mit $\|\vec{w}\|$ ergibt sich somit

$$\begin{aligned} &\text{Minimiere } \|\vec{w}\| \\ &\text{Bedingung } \forall i : y_i(\vec{w}^\top \vec{x}_i + b) \geq 1 \end{aligned} \tag{2.13}$$

In der Literatur wird der zu minimierende Term häufig in einen äquivalenten Ausdruck umformuliert, was die spätere Berechnung vereinfacht, da zum Beispiel der Wurzelterm der euklidischen Norm entfällt. [vgl. 4, S. 191; 12, S. 3f.]

$$\begin{aligned} &\text{Minimiere } \frac{1}{2}\|\vec{w}\|^2 \\ &\text{Bedingung } \forall i : y_i(\vec{w}^\top \vec{x}_i + b) \geq 1 \end{aligned} \tag{2.14}$$

Dieses Gleichungssystem kann mit Hilfe von Lagrange-Relaxion gelöst werden, [vgl. z. B. 4, S. 192f.; 12, S. 3f.] auf die hier jedoch nicht näher eingegangen werden soll. Die Lösung besteht aus dem Parameter b sowie einem Vektor $\vec{\alpha}$, aus dem sich unter Zunahme der verwendeten Trainingsdatensätze (\vec{x}_i, y_i) der Gewichtsvektor \vec{w} bestimmen lässt. [4, S. 193]

In Abbildung 2.7 ist leicht erkennbar, dass im Gegensatz zu den bisher besprochenen Verfahren nicht alle Trainingsdaten für die exakte Position der Hyperebene verantwortlich sind, sondern nur diejenigen, die nah an der trennenden Hyperebene liegen. Diese Punkte werden *Support Vectors* genannt. Nur für einen Support Vector \vec{x}_i ist der Wert α_i ungleich 0.

Dieser Ansatz der Support Vector Machines führt zu einer bedeutenden Einschränkung für die Daten: Sie müssen durch eine Hyperebene trennbar, „linear separabel“ [vgl. 13, S. 188] sein. Dies muss jedoch aus zwei Gründen nicht immer der Fall sein. Diesen kann mit unterschiedlichen Maßnahmen begegnet werden:

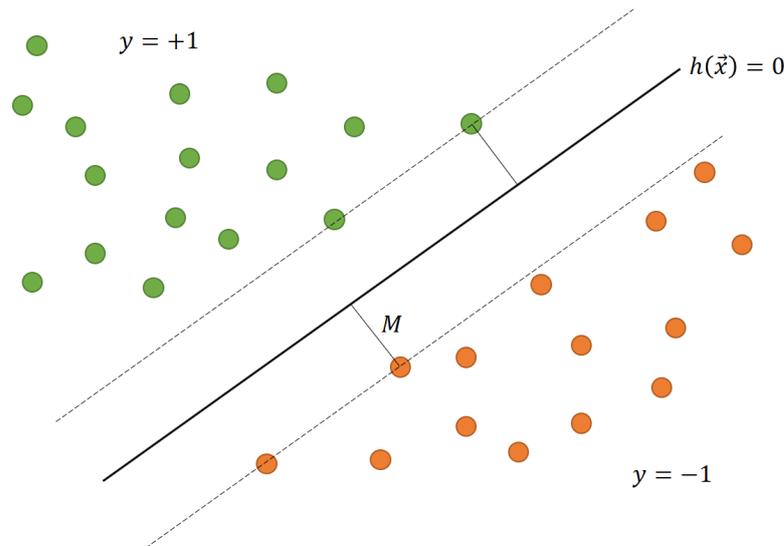


Abb. 2.7: Zwei Klassen von Punkten, die durch eine Hyperebene getrennt werden

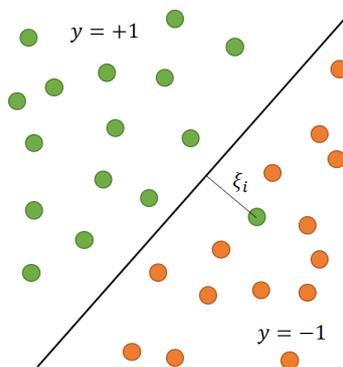


Abb. 2.8: Fehlerhafte/verrauschte Trainingsdaten

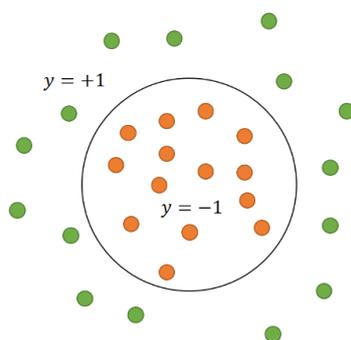


Abb. 2.9: Nicht linear trennbare Daten

Soft-Margin

Wie in Abbildung 2.8 dargestellt, ist es möglich, dass in den Trainingsdaten Fehler vorliegen, zum Beispiel weil sie verrauscht sind. Damit die Berechnung der Hyperebene nicht scheitert, wird eine

Schlupfvariable $\xi(\vec{w}, b; \vec{x}_i, y_i)$ definiert, die fehlerhafte Daten nicht verbietet, aber bestraft. [4, S. 190] Man spricht hierbei von *Soft-Margin*-Klassifikatoren. [2, S. 867] Das Optimierungsproblem kann weiterhin analog mittels Lagrange-Relaxion gelöst werden.

Kernel-Trick

Wie in Abbildung 2.9 dargestellt, ist es möglich, dass die Daten ihrer Struktur nach schlicht nicht linear separierbar sind. Hier wird ein *Kernel-Trick* genanntes Verfahren angewendet: Die Datenpunkte \vec{x} werden mit Hilfe einer nicht-linearen Funktion $\Phi(\vec{x})$ in einen (in der Regel) höherdimensionalen Raum abgebildet, in welchem sie linear trennbar sind (wie zum Beispiel in Abbildung 2.10). Durch Rücktransformation der in diesem höherdimensionalen Raum gelernten Hyperebene können sie beliebigen nicht-linearen Entscheidungsgrenzen entsprechen. [3, S. 432; 4, S. 194] Diese Transformation lässt sich bei der Lösung des Optimierungsproblems in Form einer sogenannten *Kernel-Funktion* $K(\vec{x}, \vec{z}) = \Phi(\vec{x})^\top \Phi(\vec{z})$ einsetzen, sodass zeitaufwendige Berechnungsschritte vermieden und sogar Räume mit unendlich vielen Dimensionen verwendet werden können. [4, S. 195; 2, S. 867]

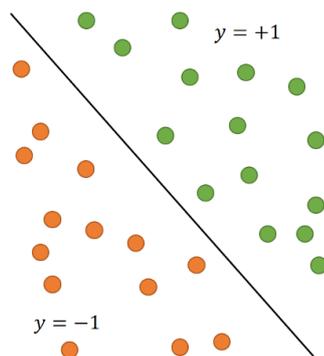


Abb. 2.10: Mit $\Phi(\vec{x}) = [x_1^2 \ x_2^2]^T$ transformierte Daten

Support Vector Machines, wie sie bisher beschrieben wurden, erlauben nur die Unterscheidung zweier unterschiedlicher Klassen. Es existieren jedoch verschiedene Verfahren, mit denen auch Klassifizierungsaufgaben mit mehreren Ziel-Klassen durch die Verknüpfung mehrerer Support Vector Machines gelöst werden können.^[vgl. 4, S. 198 ff.] Auf eine nähere Beschreibung dieser Verfahren wird hier jedoch verzichtet.

Vorteil von Support Vector Machines ist ihre gute Generalisierung^[4, S. 187; 2, S. 865] sowie ihre Anwendbarkeit bei einer sehr großen Zahl an Merkmalen.^[3, S. 428] Nachteil ist die Notwendigkeit der manuellen Auswahl eines geeigneten Kernels bei nicht linear trennbaren Daten.

Fazit

Ich hoffe, ich habe Sie, werter Leser, mit den mathematischen Grundlagen der einzelnen Verfahren nicht

zu sehr abgeschreckt und konnte Ihnen stattdessen die Grundprinzipien, Vorteile und Nachteile von drei sehr wichtigen Methoden innerhalb der künstlichen Intelligenz in fundierter Form nahebringen.

Ich möchte nicht verschweigen, dass es noch einige weitere Verfahren innerhalb des maschinellen Lernens gibt – *K-Nearest Neighbor* und *Naive Bayes* zum Beispiel. Den mathematisch interessierten Lesern kann ich eine mehrwöchige, kostenlose Online-Schulung von ANDREW NG, der unter anderem das Projekt *Google Brain* gegründet hat, nur nahelegen.^[14] Hier werden zwar auch bei weitem nicht alle Themen besprochen, dafür wird jedoch sehr viel Wert auf die Herleitung und die Grundlagen gelegt.

Zum Abschluss kann ich Ihnen nur empfehlen, einmal durch eines der hier angesprochenen Übersichtsbücher durchzublättern⁶ um zu sehen, wie umfangreich dieses Thema, das unseren Alltag immer tiefer durchdringt, doch ist.

[1] **Lukas Heimann.** *Eine kurze Geschichte der künstlichen Intelligenz.* NEOLOGISMUS, Mai 2017, S. 5 f.

[2] **Stuart Russel; Peter Norvig.** *Künstliche Intelligenz: Ein moderner Ansatz.* 3., aktualisierte Auflage. München: Pearson, 2012.

[3] **Günther Görz,** Hrsg. *Handbuch der Künstlichen Intelligenz.* 5., überarbeitete und aktualisierte Auflage. München: Oldenbourg, 2014.

[4] **Charu C. Aggarwal,** Hrsg. *Data Classification: Algorithms and Applications.* Boca Raton: CRC Press, 2015.

[5] **Tom M. Mitchell.** *Machine Learning.* New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1997.

[6] **Leo Breiman.** „Random Forests“. In: *Machine Learning* 45.1 (2001), S. 5–32.

[7] **Adele Cutler; D. Richard Cutler; John R. Stevens.** „Random Forests“. In: *Ensemble Machine Learning: Methods and Applications.* Hrsg. von Cha Zhang und Yunqian Ma. Boston, MA: Springer US, 2012, S. 157–175. DOI: 10.1007/978-1-4419-9326-7_5.

[8] **Haohan Wang; Bhiksha Raj.** „On the Origin of Deep Learning“. In: *CoRR* abs/1702.07800 (2017). URL: <https://arxiv.org/abs/1702.07800> (besucht am 27.03.2017).

[9] **Vladimir N. Vapnik.** *The nature of statistical learning theory.* 2. ed. Statistics for engineering and information science. New York: Springer, 2000.

[10] **Paul Werbos.** „Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences“ Diss. Cambridge, Massachusetts: Harvard University, Aug. 1974.

[11] **Terry T. Um** *Awesome – Most Cited Deep Learning Papers.* 2017. URL: <https://github.com/terryum/awesome-deep-learning-papers> (besucht am 30.03.2017).

[12] **Bernhard E. Boser; Isabelle M. Guyon; Vladimir N. Vapnik.** „A Training Algorithm for Optimal Margin Classifiers“. In: *Proceedings of the Fifth Annual Workshop on Computational Learning Theory.* COLT '92. Pittsburgh, Pennsylvania, USA: ACM, 1992, S. 144–152. DOI: 10.1145/130385.130401.

[13] **Wolfgang Ertel.** *Grundkurs Künstliche Intelligenz: Eine praxisorientierte Einführung.* 1. Auflage. Wiesbaden: Vieweg, 2008.

[14] **Andrew Ng** *Machine Learning.* Online-Schulung der Stanford University auf Coursea. URL: <https://www.coursera.org/learn/machine-learning> (besucht am 28.06.2017).

⁶So es denn in der örtlichen Bibliothek verfügbar ist.

Häppchenweise – Von Energie, Materie und Schrödingers Katze

Über die Natur unseres Universums für nicht-Mathematiker

VON JANNIK BUHR

Vorwort

Herzlich willkommen zu einer neuen Ausgabe von Häppchenweise! Zugegebenermaßen wird dies jedoch ein recht großer Happen, mehr ein hungriger Bissen als ein vornehmes Knabbern. Zu Beginn dieser Serie hatte ich euch, lieben Leserinnen und Lesern, versprochen, gemeinsam großen Fragen des Alltags auf den Grund zu gehen. Die Fragen, mit denen wir uns heute beschäftigen werden, sind hingegen auf den ersten Blick nicht sonderlich alltäglich; und auch auf den zweiten Blick wirken sie vielleicht etwas weit hergeholt. Ich kann euch jedoch versprechen, dass – ihrer Abstraktheit zum Trotz – euch die Antworten faszinierende Einblicke in die Wirkweise unseres Universums geben werden. Wir beschäftigen uns also im Folgenden nicht etwa mit einer einzelnen Facette der Welt, sondern tauchen vollends ein in das zugrundeliegende Geflecht. Die Rede ist von der *Quantenmechanik*.

Es wird euch nicht überraschen, dass im Zuge dessen auch einige mathematische Formeln und Konstrukte unsere Pfade kreuzen werden und uns ein gutes Stück begleiten. Seid jedoch ebenfalls gewiss, dass ich euch nicht im Formelwald alleine stehen lassen, sondern mein Bestes geben werde, um hilfreiche Anschauungen und die ein oder andere Erfrischung bereitzuhalten. Nachdem wir uns über die Grundfesten des Universums den Kopf zerbrochen haben werden, wird noch ein kurzer Ausblick auf die Anwendungen einiger der Erkenntnisse in der Wissenschaft folgen. Zunächst jedoch gilt es, ein Versprechen aus dem letzten Häppchen einzuhalten: Eine Katze!

Katzenaugen

Br. Etwas kühl hier drin. Und finster. So unglaublich finster. Kein

Lichtstrahl scheint die Pappwände um mich herum zu durchdringen. Die Pupillen meiner Katzenaugen weiten sich bis zum Äußersten, doch es hilft nichts. Weiterhin ist da nur Schwarz. Nicht einmal schwarz wie die Nacht, denn wenn man wie ich regelmäßig im Mondschein über die Hausdächer streift, dann ist keine Nacht mehr wirklich dunkel. Nein. Das hier war nicht schwarz wie die Nacht, das hier war einfach nur Schwarz. Meine Pfoten tasten die Wände ab, etwas rau, und wenn ich dagegen drücke, geben sie ein Stück weit nach. Ich drehe mich um die eigene Achse, erkunde jede der acht Ecken meiner kleinen Kiste. Anfangs hatte es mir noch Angst gemacht, aber mit der Zeit gewöhne ich mich wohl daran. Eigentlich ist es sogar recht gemütlich. Hier drin erscheint alles so nah und doch so weit weg. Heute Morgen hatte ich noch mit Erwin gefrühstückt – er Kaffee und ein Butterbrot, ich dieses neue Futter mit extra Thunfisch – und kurz darauf war auch schon der Paketbote gekommen. „Päckchen für Herrn Schrödinger!“, hatte er im Hausflur gerufen. Dieser war dann eilig im Bademantel zur Tür gehechtet, hatte dem leicht überumpelten Boten das Paket aus der Hand gerissen und mir schusseligerweise aufgetragen, die Empfangsunterschrift zu leisten. Meine Pfoten sind nicht besonders gut zum Schreiben geeignet. Ich hatte also dem Boten stattdessen mit den Krallen meiner linken Vordertatze die Wade unterzeichnet und auf meine Rückfrage („Mau?“), ob das genügen würde, hatte er nur „Ahhhh!“ entgegnet. Ich gehe davon aus, dass er das „J“ schlicht vergessen hatte. Der gute Erwin hatte indes hektisch den Inhalt des Pakets auf seinem Schreibtisch ausgebreitet: Es war neues Papier. Höchste Zeit, denn am Vortag waren ihm inmitten einer wichtigen

Überlegung die Zettel ausgegangen und selbige führt er nun murmelnd fort. Währenddessen sitze ich in der Kiste, die so einladend ausgesehen hatte, mich dann aber heimtückisch unter Verwendung der Schwerkraft und meines eigenen Übermutes gefangen genommen hatte. Nach einigem Herumtoben habe ich mich mit der Situation abgefunden und werde schließlich aus einem kleinen Schlummer geweckt als Erwin laut „Ich hab’s! Also, hm, Eureka!“ ruft. Schwungvoll dreht er die Kiste, in der ich mich befinde, um und hält eine Formel vor meine schläfrigen Katzenaugen:

$$\hat{H}|\Psi\rangle = E|\Psi\rangle$$

Hauptteil

Oha. Ich höre euch schon sagen: „Aber du hast versprochen, dass die Mathematik anschaulich wird! Dieser Blubber da oben ist überhaupt nicht anschaulich.“ Und dem habe ich zunächst nichts hinzuzufügen. Um obige Formel mit Sinn zu füllen, müssen wir uns erst mit einigen Grundlagen der Quantenmechanik befassen und kommen dann später zu Herrn Schrödinger mit seiner Schrödinger-Gleichung und auch auf Schrödingers Katze zurück. Zuvor aber ein paar Worte über die Natur der Materie.

In der Kürze dieses Artikels wird es nicht möglich sein, den Weg der Quantenmechanik und ihre Entstehung komplett nachzuvollziehen. Eine Vielzahl von Experimenten, Ideen, Geistesblitzen und auch Sackgasen war notwendig, um an den Punkt zu gelangen, an dem wir uns heute befinden, und diese Irrungen und Wirrungen möchte ich euch ersparen. Stattdessen werde ich euch vor vollendete Tatsachen stellen und diese dann erklären, ohne genau auf ihre Entdeckung einzugehen.

Tatsache 1. Die Vorstellung von Materie als Teilchen und Licht als Wellen reicht nicht aus, um alle Phänomene dieser Welt zu erklären. Stattdessen spricht man nun in beiden Fällen von einem *Welle-Teilchen-Dualismus*. Elektronen beispielsweise, die man sonst als Teilchen kannte, weisen an einem sogenannten Doppelspaltexperiment Eigenschaften von Wellen auf. Schießt man Elektronen auf eine Wand, die zwei Schlitze besitzt (sehr nah beieinander), und detektiert sie auf der anderen Seite mit einem Leuchtschirm, dann stellt man Interferenzmuster fest, was man bis dahin nur von Licht (also klassischen Wellen) kannte.

Was aber sind Interferenzmuster? Stellt euch vor, ihr werft einen großen Stein in einen See und beobachtet die sich ringförmig ausbreitenden Wellen. Nun macht ihr das Ganze noch einmal, diesmal jedoch mit zwei Steinen nebeneinander (Die Orte, an denen die Wellen beginnen, also eure Stein-Einwurfstellen, entsprechen den beiden Spalten im Experiment der Physiker). Nun stellt ihr fest, dass die Wellen aneinander vorbeirauschen und ein hübsches Muster bilden. Denn Wellen sind nichts anderes als eine Abfolge von Wellentälern und Wellenbergen und je nachdem, wie sie aufeinandertreffen, ist die daraus resultierende Welle höher oder niedriger. Trifft ein Tal auf ein Tal und ein Berg auf einen Berg, so ist die daraus resultierende Welle höher (bzw. tiefer) und man spricht von konstruktiver Interferenz. Löschen sich die beiden Wellen aus, weil ein Tal auf einen Berg trifft, spricht man von destruktiver Interferenz. Eben dies passiert auch mit Elektronen an einem Doppelspalt. Wenn es sich wie ein Welle verhält, fragt man sich natürlich, welche Wellenlänge so ein Elektron hat, wo man es doch bisher nur als Teilchen kannte. Bei Licht ist der Umgang mit Wellenlängen bekannt, für Elektronen muss man ein wenig umdenken. Der findige Physiker DE BROGLIE kombiniert EINSTEINS Formel für die Energie von Materie, $E = m \cdot c^2$, mit PLANCKS Formel für die Energie eines Photons (Licht) $E = h \cdot \nu$ zu der kompakten Formel $\lambda = h/p$ mit der Wellenlänge λ (Lambda), der



Scott Robinson - flickr.com (CC BY 2.0)

Planck-Konstante h und dem Impuls p . Da der Impuls p sich zusammensetzt aus Masse mal Geschwindigkeit ($p = m \cdot v$), können wir jedem Objekt, dessen Masse und Geschwindigkeit wir kennen, auch eine Wellenlänge zuordnen. Hierbei haben Dinge mit einer großen Masse und einer großen Geschwindigkeit auch erwartungsgemäß eine große Energie und damit eine kleine Wellenlänge.

Genau das führt uns zu einem wichtigen Prinzip der Quantenmechanik, dem sogenannten *Korrespondenzprinzip*. Sinngemäß sagt es uns, dass bei großen Energien, großen Massen, vielen Teilchen, also allem, was man so in der „echten“ Welt findet, die sich nicht nur mit isolierten, hypothetischen kleinen Systemen befasst, die Formeln der Quantenmechanik in die Formeln der klassischen Physik übergehen und wir auf makroskopische Ebene die Effekte der Quantenmechanik nur noch sehr indirekt bemerken. So könnte ich natürlich auch mir selbst beim Rennen eine *De-Broglie-Wellenlänge* zuweisen, denn ich kenne meine Masse und Geschwindigkeit, nur wäre diese Wellenlänge unglaublich klein und nicht messbar, da ich im Vergleich zu einem Elektron schon verdammt schwer bin. Gleiches gilt auch für die vielfach zitierte *Heisenbergsche Unschärferelation*:

Tatsache 2. Es ist unmöglich, den Ort und den Impuls eines Teilchens

gleichzeitig beliebig exakt zu messen. Leider taugt dieser Satz nicht als Ausrede bei Polizeikontrollen:

„Wissen Sie, wie schnell sie gefahren sind?“

„Ach, so genau kann ich ihnen das nicht sagen, mein Ort war exakt festgelegt, also gibt es immer eine gewisse Unschärfe ...“

„Haben Sie getrunken?“

„... und selbst wenn ich meine Geschwindigkeit kennen würde, dann beweisen Sie mal, dass ich wirklich an diesem Ort war!“

„Bitten steigen Sie aus dem Fahrzeug.“

Denn schaut man sich die Unschärferelation als Formel

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq h$$

für die Unschärfe des Ortes (Δx) und die Unschärfe des Impulses (Δp) an und macht sich bewusst, dass die Planck-Konstante h eine für makroskopische Verhältnisse sehr kleine Zahl ist, dann wird klar, dass wir zwar nicht genau sagen können, wo sich ein einzelnes Elektron in einem Atom befindet, aber doch mit genügender Genauigkeit angeben können, dass man sich in einer 30er-Zone befand und sich mit 50 km/h fortbewegte. Befassen wir uns nun ein wenig näher mit Atomen und speziell Elektronen in ihnen, um uns an anfangs genannte Schrödinger-Gleichung heranzutasten.

Tatsache 3. Elektronen sind sehr

schwer zu fassen. Sie kreisen auch nicht in regelmäßigen Bahnen um den Atomkern. Misst man, an welcher Stelle sich ein Elektron befindet, so kann es im nächsten Moment schon an ganz anderer Stelle sein, ohne einen erkennbaren Weg dazwischen. Statt der Vorstellung von Elektronen als kleine schwirrende Teilchen bedient man sich eines angemessen eleganten mathematischen Konstrukts, das man *Wellenfunktion* nennt und mit Ψ (Psi) abkürzt. Wellenfunktionen haben tolle Eigenschaften: Sie enthalten z. B. sämtliche Informationen über dieses Elektron oder allgemein das System, das wir betrachten. Wir können zwar nicht voraussagen, wo wir ein Elektron finden werden, wenn wir es suchen (also messen), aber mithilfe der Wellenfunktion können wir eine Wahrscheinlichkeit berechnen, mit der wir es an einem bestimmten Ort finden.

Nun könnte man Angst bekommen, dass der Boden unter unseren Füßen plötzlich verschwinden könnte, wo doch jedes einzelne Teilchen an einem anderen Ort wiederauftauchen könnte, doch ich kann euch beruhigen: Auch hier rettet uns das Korrespondenzprinzip. Die makroskopische Welt besteht immer aus so vielen Teilchen, dass sie in der Summe ausgesprochen stabil und nicht zufällig ist. Wenn ich einen Basketball auf den Korb werfe, ist es kein Zufall, ob ich treffe oder nicht, sondern tatsächlich abhängig von meiner Wurftechnik, dem Wind und so fort, nicht aber von den zufällig an unterschiedlichen Orten auftauchenden Elektronen in den Atomen des Basketballs. Wenn ich mit einer Milliarde Würfeln würfle, dann fällt jeder einzelne Würfel zwar zufällig, doch im Durchschnitt komme ich sehr exakt auf

$$\frac{1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6}{6} = 3.5.$$

und je mehr Würfel ich nehme, desto geringer die relative Abweichungen vom exakten mathematischen Durchschnitt. Aber zurück zu unserem einzelnen Elektron: Die Idee, dass man die Wellenfunktion (genauer: das Quadrat derselbigen, also Ψ^2) als Maß für die Wahrschein-

lichkeit, ein Teilchen an einem Ort zu finden, betrachten könnte, nennt man übrigens *Born'sche Interpretation*. Schauen wir uns nun die Schrödinger-Gleichung an:

$$\hat{H}|\Psi\rangle = E|\Psi\rangle$$

Ψ kennen wir bereits, es ist eine Wellenfunktion, die die gesamte Information unseres Systems enthält. Die Gleichung besitzt die Form einer *Eigenwertgleichung*. Huch, was ist denn das nun wieder? Um diese Frage zu beantworten, müssen wir uns kurz mit *Vektoren* befassen. Ja genau, eben jene Vektoren, die man immer als Pfeile im Raum gezeichnet hatte. Mit Vektoren kann man allerhand machen. Man kann sie im Raum drehen, sie verlängern, verkürzen oder sogar in einer anderen Basis darstellen, also das Koordinatensystem um sie herum ändern. Die mathematischen Konstrukte, die solche Dinge mit Vektoren anstellen können, nennt man *Matrizen*. Diese sehen häufig tatsächlich nur aus wie ein Kasten mit mehreren Zeilen und Spalten gefüllt mit Zahlen, und ich möchte an dieser Stelle nicht auf die zugrundeliegenden Rechenregeln eingehen. Stattdessen wollen wir uns auf das Wesentliche beschränken: Matrizen wirken auf Vektoren und verändern diese.

Stellt euch für einen kurzen Moment einen zweidimensionalen Raum vor, nehmen wir eine flache, quadratische Ebene aus Gummi. Auf diese Ebene können wir Pfeile, also Vektoren malen.

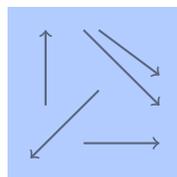


Abb. 2.11: Vektoren in einem zweidimensionalen Vektorraum

Und nun verzerren wir die Ebene, indem wir beispielsweise an zwei gegenüberliegenden Seiten stärker ziehen als an den anderen beiden. Das Ziehen ist unsere Matrix. Wir haben nun aus der quadratischen Ebene eine rechteckige gemacht und zudem die Richtung und Länge vieler Pfeile auf der Ebene verändert. Es gibt jedoch zwei Pfeile, die ihre Richtung

nicht verändert haben, da sie genau senkrecht oder waagrecht zu den Seiten liegen (in Abb. 2.12 rot markiert)

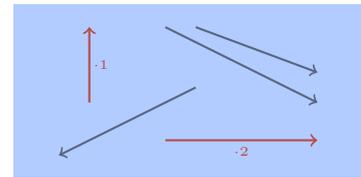


Abb. 2.12: Vektoren nach der beschriebenen Transformation

Diese Vektoren nennt man *Eigenvektoren* der Matrix. Die Werte, mit denen man multipliziert, um die neue Länge der Vektoren zu erhalten, nennt man *Eigenwerte* (des Eigenvektors der Matrix).

Und jetzt, jetzt wird es gedanklich etwas wild, schnallt euch an! Bisher sprachen wir immer von Vektoren als Pfeilen im Raum und meinten damit natürlich unseren anschaulich darstellbaren, dreidimensionalen (oder der Einfachheit auch mal zweidimensionalen) Raum. Dieser Raum hat drei sogenannte Basisvektoren, meist entlang der x -, y - und z -Achse, aus denen wir jeden beliebigen Vektor in diesen drei Dimensionen zusammenbauen können. So sagt uns der Vektor $(1, 3, 2)$ nichts anderes als: „Gehe einen Schritt Richtung Basisvektor x , drei Richtung y und zwei Richtung z “. Wir können jedoch auch andere *Vektorräume* betrachten, mit völlig anderen Basisvektoren und sogar manchmal anderen Definitionen, wie man mit Vektoren darin umgeht.

Ein für uns hilfreicher Vektorraum ist der Raum der Wellenfunktionen. Auch mit Funktionen kann man, genau wie mit den bildlichen Vektoren als Pfeilen, allerhand anstellen. Wir können eine Zahl dazuaddieren, wir können sie multiplizieren, ableiten, integrieren und so fort. Vorschriften, die uns sagen, was mit einer Funktion zu tun ist, nennt man *Operatoren*. Sie entsprechen den zuvor angesprochenen Matrizen, nur eben nun für Funktionen. Auch Operatoren haben Eigenfunktionen und Eigenwerte.

Nehmen wir den Operator „Bilde die Ableitung nach x der folgenden Funktion!“ (für Mathematiker d/dx). Wenden wir ihn auf die Funktion e^{2x} an, so erhalten wir $2 \cdot e^{2x}$, also die Funktion selbst multipliziert mit einer Konstanten. e^{2x} ist also eine Ei-

genfunktion des Operators d/dx , mit dem Eigenwert 2.

Die zuvor noch unverständlich aussehende Gleichung $\hat{H}|\Psi\rangle = E|\Psi\rangle$ wird nun klarer. \hat{H} ist ein Operator, den wir auf die Wellenfunktion Ψ anwenden (in diesem Fall der *Hamilton-Operator*, welcher uns die Energie E liefert). Heraus kommt, wenn es eine Eigenfunktion des Operators ist, die ursprüngliche Wellenfunktion multipliziert mit einem Eigenwert. Diese Eigenwerte entsprechen tatsächlich messbaren Eigenschaften unseres Systems, wie z. B. dem Impuls eines Teilchens, den wir berechnen können, indem wir den *Impulsoperator* auf unsere Wellenfunktion anwenden und den Eigenwert bestimmen, oder wir fragen nach dem Ort, an dem sich ein Teilchen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auffinden lässt, indem wir den *Ortsoperator* auf die Wellenfunktion loslassen. Eleganterweise geht auch die oben angesprochene Heisenbergsche Unschärferelation aus dieser Formel hervor, doch die mathe-

matischen Feinheiten, wie man tatsächlich mit solchen Formeln rechnet, würden hier zu weit führen.

Was ich euch jedoch nicht vorenthalten möchte, ist Schrödingers Katze. Ich spreche nicht von der Katze aus dem Intro (es geht ihr gut), sondern von einer rein hypothetischen Katze aus Schrödingers berühmten Gedankenexperiment, das er ansprach, um klar zu machen, wie weit die Quantenmechanik im Bereich der Elementarteilchen von unserer makroskopischen Intuition entfernt ist. Als System wird dabei eine Katze in einer Kiste betrachtet. Zusammen mit dieser Katze befindet sich eine Apparatur, die ein tödliches Gift freisetzen würde, wenn ein bestimmtes radioaktives Teilchen in einem gewissen Zeitraum zerfiel. Der Zerfall ist hierbei völlig zufällig. So, wie wir bei Elektronen nicht sagen können, wo wir sie finden werden, sondern nur Wahrscheinlichkeiten für bestimmte Aufenthaltsorte berechnen können, so ist es uns völlig unmöglich, vor dem Öffnen der Kiste zu sagen, ob die Katze tot oder

lebendig ist.

Die gängigste Interpretation ist die *Kopenhagener Deutung*, nach der das System (also auch die Katze) bis zur Messung alle möglichen Zustände mit ihren jeweiligen Wahrscheinlichkeiten beinhaltet und erst im Moment des Kistenöffnens kollabiert und sich zufällig auf einen Zustand festlegt. Etwas phantasievoller ist die „Viele-Welten-Interpretation“, nach der einfach alles passiert und sich das Universum in die unterschiedlichen Wege aufteilt, wir es aber nicht mitbekommen, weil wir natürlich nur in einer der unendlich vielen möglichen Realitäten leben.

Das war es soweit von mir zur Quantenmechanik, die euch hoffentlich nicht zu sehr erschlagen hat. Wem das Thema Lust auf mehr gemacht hat, dem empfehle ich das Buch *Elements of Physical Chemistry*.^[1] Also, bleibt neugierig!

[1] **Peter Atkins.** *Elements of Physical Chemistry* 7. Auflage. Oxford: Oxford University Press, 2017.

FEUILLETON

These games are made for walking

Ein Review von *The Vanishing of Ethan Carter*

VON MARC ZERWAS



Foto: Vladimir Mijaljević – commons.wikimedia.org (CC BY-SA 3.0)

Seit etlichen Jahren habe ich nun einen großen Bogen um die sogenannten *Walking Simulatoren* gemacht. Soweit ich mich zurückerinnern kann, war der erste und vielleicht limitierteste Vertreter des Genres *Dear Ester* aus dem Jahre 2012. Im Wesentlichen bestand das Produkt aus einer wunderhübschen, relativ linearen Umgebung ohne irgendwelche Interaktionsmöglichkeiten, in der sich in regelmäßigen Abständen an bestimmten Punkten ein Erzähler zu Wort meldet, um eine wohlgeschriebene Handlung zu präsentieren. Verfechter dieses Produktes fanden diese Art der Narration sehr interessant und eine sehr angenehme ein- bis zweistündige Erfahrung. Kritiker (zu denen ich mich ebenfalls zähle) sprechen dem Werk nicht nur die Bezeichnung „Videospiel“ ab, auch beanstanden sie, dass

es lediglich eine Stunde extrem in die Länge gezogenen Inhalts für stolze 10 € liefert.

Allerdings entwickelte sich das Genre weiter: *Gone Home* (2013) baute in die Welt viele interaktive Objekte ein. Man fand versteckte Briefe und Gegenstände, wodurch man dazu ermuntert ist, die Umgebung selbst intensiv zu erkunden und die Puzzleteile der Handlung zusammenzusetzen, was bereits wesentlich interessanter klingt. Auch *Firewatch* (2016) erweiterte das narrativ-fokussierte Konzept durch häufige Dialoge zwischen dem eigenen Charakter und seiner Vorgesetzten über dieses putzige Walkie-Talkie, welches man selbst auch signifikant beeinflussen kann. Durch die herausragende Qualität der Sprecher sorgt diese Interaktion für eine wesentlich intensivere Identifikation mit den

Charakteren und der Spielwelt.

Das Genre scheint sich also weiterzuentwickeln, und der letzte *Steam Summer-Sale* ermutigte mich, mit *The Vanishing of Ethan Carter* (2014) diesem vergleichsweise neuen Genre eine Chance zu geben. Nach guten vier Stunden Spielzeit liefen die Credits über den Bildschirm und tatsächlich war ich weitgehend, mit einigen kleinen Einschränkungen, zufrieden.

Das Spiel beginnt zunächst sehr kryptisch, wenn wir aus einem Eisenbahntunnel heraus ein kleines Waldgebiet betreten. Wir haben zu Beginn weder Ahnung, wer wir sind, noch wissen wir, warum wir hier sind. Alles, was uns bekannt ist, ist, dass der junge Ethan Carter uns um Hilfe gebeten hat. Die Tatsache, dass wir äußerst wenig über die Umstände wissen, gehört jedoch zum narrati-

ven Konzept: Derartige Dinge klären sich gegen Ende, wenn die Handlung eine interessante Wendung genommen hat.

Sonnenstrahlen dringen durch das luftige Blätterdach und illuminieren im warmen Sonnenlicht den detailliert texturierten Waldboden sowie die urig rostigen, seit Jahrzehnten nicht mehr genutzten Bahnschienen. Eine geradezu malerische Landschaft tut sich auf. Doch bereits nach wenigen Metern realisieren wir, dass nicht alles so hübsch ist, wie es scheint. Eine tödlich anmutende und gut versteckte Falle schnappt zu, und auch wenn wir in diesem Spiel nicht sterben können, verändert sich die Erwartungshaltung ein wenig und man wandelt aufmerksamer durch das Dickicht. Wir begehen uns weiter entlang einer Klippe zu einer etwas labil anmutenden Stahlbrücke, welche sich über einen ruhigen See erstreckt. In der Ferne machen wir einige Häuser aus. Dort könnten sich Hinweise befinden, die die Handlung weiter vorantreiben. Nachdem wir eine Brücke überquert haben, finden wir auch schnell eine Blutspur entlang der Schienen. Hier offenbaren sich schließlich auch die Spielmechaniken des Titels. Finden wir ein interessantes Objekt, wie jene Blutspur, erfahren wir in visuell interessanter Art und Weise, welche Gedanken unser Alter Ego mit dem Objekt assoziiert, und man erhält Hinweise, was man weiterhin untersuchen sollte. In diesem Falle folgen wir der Spur und finden die zu erwartende Leiche. Findet man hingegen ein Objekt, von dem noch ein Bestandteil fehlt – wie beispielsweise die Kurbel des Zuges, um diesen in Gang zu setzen –, erhalten wir in einer kleinen Vision einen Hinweis, wo sich die Kurbel befinden könnte.

Haben wir schließlich alle Hinweise für den Mord gefunden und korrekt angeordnet, betreten wir eine Geisterwelt, in der wir versuchen, die Ereignisse in richtiger Reihenfolge anzuordnen. So offenbart sich uns der tatsächliche Hergang und das Puzzle dessen, was in dieser idyllischen Umgebung eigentlich passiert ist, setzt sich immer mehr und mehr zusammen (so glauben wir zumindest). Warum wir solche übernatür-

lichen Fähigkeiten haben, sei an dieser Stelle nicht erwähnt, da dies das Ende des Spieles vorwegnahme.

Die Rätsel des Spiels sind dabei alle nicht furchtbar schwierig und jeder, der mal mit Köpfchen ein vernünftiges Point&Click Adventure gespielt hat oder auch sonst kombinatorisch nicht ganz auf dem Kopf gefallen ist, wird hier keine sonderliche Kopfnuss erleben. Diese kleinen Krimiareale schaffen es ganz erstaunlich gut, einen mehr und mehr in diese mysteriöse und interessante Geschichte hineinzuziehen. Darüber hinaus gibt es hin und wieder sporadische Monologe, während wir durch die Landschaft laufen, welche ebenfalls einige Elemente in den richtigen Kontext rücken.

Doch bevor ich genau über diesen Aspekt meckern will, sollten noch kurz einige lobende Worte zur audiovisuellen Präsentation des Titels gefunden werden. Graphisch ist das Spiel schlicht fantastisch. Der Detailgrad der Waldregionen ist unglaublich hoch und jede kleine Einzelheit ist extrem scharf texturiert. Dazu gesellt sich noch die atemberaubende Beleuchtung, die beispiellose Panoramen ermöglicht. Dies ist ohne Zweifel eines der beeindruckendsten Spiele, die mir je unter die Augen kamen. Dazu gesellt sich der wunderschön geschriebene, aber nicht zu aufdringliche Soundtrack, der die Atmosphäre angenehm bereichert.

Ein kleines Problem, das ich mit dem Spiel habe, ist jedoch, was man zwischen den coolen Rätselpassagen in dieser traumhaften Welt macht. Man läuft. Und läuft. Das hätte mir bei der Produktbeschreibung „Walking Simulator“ vielleicht auch vorher klar sein können und meist ist das auch sehr angenehm und durch die hübsche und glaubwürdige Gestaltung der Welt ziemlich entspannend, doch mit fortlaufender Spielzeit ist man immer mehr von der eigentlichen Geschichte eingenommen und giert förmlich nach Antworten, da die eigenen Fragen immer konkreter werden. Und dann können solche Passagen durchaus etwas nerven. Zu oft läuft man einen optionalen Pfad entlang, nur um festzustellen, dass dort nichts von Interesse stand – aber hin und wieder ist dann

halt doch etwas da und man will ja nichts verpassen, und so läuft man natürlich doch alles ab. Es ist gemessen an der Gesamtspielzeit nicht zu viel, was für solche Exkursionen draufgeht, aber das bisschen ärgert manchmal.

Darüber hinaus gab es einen oder zwei Momente, in denen der eigentliche Weg nicht wirklich klar war, was mich einige Zeit etwas planlos durch die Gegend laufen ließ. So öffnete sich nach einem Storyevent eine Tür nach draußen und ich ging davon aus, dass dort auch der Weg weiterführen würde. Tatsächlich war dahinter aber ein großes Areal von Nichts und ich hätte einen Hebel bedienen und dann ca. 300 m zurück in bekanntes Territorium laufen müssen, von wo es dann weiterging. Im Nachhinein war das auch schlüssig, aber das Spiel signalisierte hier eine falsche Route.

Doch abgesehen davon war es eine außerordentlich interessante Spielerfahrung, welche ich durchaus empfehlen kann, wenn man Interesse an einer ziemlich gut geschriebenen Geschichte mit einem starken Mysteryfokus hat. Außerdem sollte man eine grundsätzlich vielleicht etwas geduldigere Person sein, da das Spiel an manchen Stellen kleine Längen hat und man auf Antworten hin und wieder sehr lange warten muss. Doch wenn man diese Geduld aufbringen kann, erwartet einen eine lohnenswerte Erfahrung. Ein kleines und vielleicht auch offensichtliches Manko sei noch erwähnt: Nach den vier Stunden Spielzeit gibt es eigentlich keinen wirklichen Grund mehr, zu dem Spiel zurückzukehren. Der Preis von fast 20 € kann für viele vielleicht als sehr hoch angesetzt gesehen werden und ich würde das Spiel auch eher in einem Sale empfehlen. Hier werden häufig 75 % vom stolzen Preis abgezogen.

Ich für meinen Teil habe jedenfalls nun langsam ein Interesse an dem Genre gefunden und schaue mir in nächster Zeit vielleicht die beiden oben erwähnten Titel *Firewatch* und *Gone Home* einmal an. Auch weitere interessante Titel erscheinen regelmäßig und ich denke, es lohnt sich, dafür ein Auge offen zu halten.

Blade Runner – Braucht es ein Sequel?

VON MARC ZERWAS

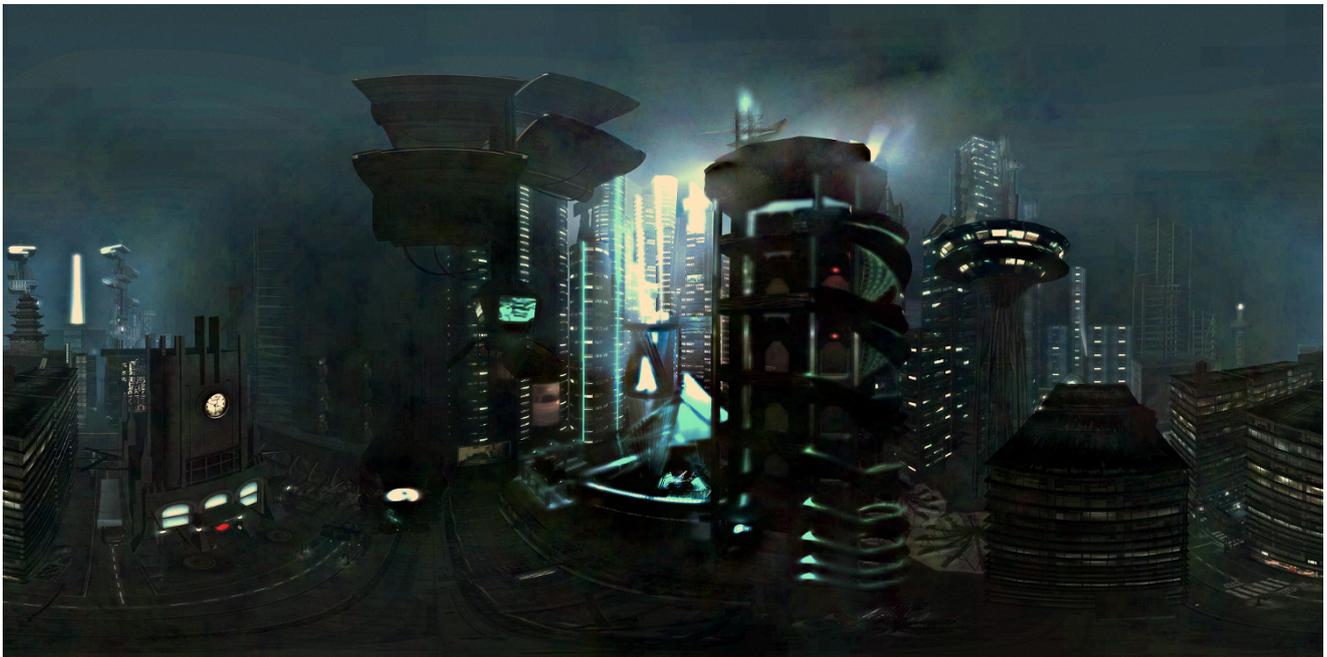


Foto: TORLEY - flickr.com (CC BY-SA 2.0)

Seit Jahren halten sich stets vehement die Gerüchte um einen Nachfolger des Science-Fiction Klassikers *Blade Runner* von 1982. Doch nun ist es so weit: Im Oktober erscheint mit *Blade Runner 2049* der lang ersehnte Nachfolger in den Kinos. Die Reaktionen ob dieser Tatsache sind ziemlich unterschiedlich. Ein großer Teil erinnert sich kaum noch an den Originalfilm oder hat ihn gar nie gesehen. Die Rückkehr dieses Franchises sorgt bei dieser Gruppe also für verhaltene Reaktionen. Andere sind voller Begeisterung, dass dieser einzigartige Film, der sie so inspiriert hat, nun fortgesetzt wird. Ich für meinen Teil gehöre zu einer anscheinenden Minderheit von Skeptikern ob dieses Projektes und nach erneuter mehrmaliger Sichtung des Final Cuts kann ich nicht wirklich dieselbe ungeteilte Vorfreude aufbringen wie mancher andere Fan, auch wenn ich mir von ganzem Herzen wünsche, im Unrecht zu sein.

Doch betrachten wir den Originalfilm und seine Eigenheiten in Ruhe und klären nebenbei, wie gut der Film gealtert ist und ob man sich als Neuling noch an RIDLEY SCOTT'S Werk heranwagen sollte. Denn wie schon oben angedeutet

handelt es sich bei *Blade Runner* um ein ziemlich einzigartiges Projekt. Es fühlt sich an vielen Stellen wie ein Arthouse-Film für eine kleine Zielgruppe an, hatte gleichzeitig jedoch ein Blockbuster-Budget zur Verfügung. Normalerweise würde kein Produzent der Welt so ein Risiko eingehen, was *Blade Runner* zu einem eigentlich ziemlich unmöglichen Projekt macht.

Aber der Reihe nach. Wir befinden uns im Jahr 2019. Die Menschheit hat es vollbracht, sogenannte Replikanten zu erschaffen – künstlich produzierte Menschen mit gesonderten Fähigkeiten, jedoch mit massiv geringerer Lebenserwartung. Aufgrund von Komplikationen in der Vergangenheit ist es diesen Replikanten untersagt, die Erde zu betreten, und sie werden als Arbeitskräfte außerhalb unseres Planeten eingesetzt. Sollte sich ein Replikant dennoch zur Erde verirren, ist es an den sogenannten *Blade Runnern*, diesen zu eliminieren. DECKARD (gespielt von HARRISON FORD) ist ein solcher Blade Runner und zu Beginn des Films werden fünf Replikanten mit terroristischem Hintergrund auf der Erde gemeldet. Deckard nimmt nun die Suche nach diesen Flüchtigen auf,

während wir als Zuschauer mehr und mehr in die Motive dieser angeblichen Maschinen eintauchen und mit moralisch interessanten Fragen konfrontiert werden.

Die Handlung entpuppt sich im Weiteren als relativ ruhiger Krimi, der jedoch höchste Aufmerksamkeit des Zuschauers erfordert. Vieles wird lediglich angedeutet und der Film zwingt einen durch sehr sparsamen Dialog, selbst mitzudenken und die nicht wenig komplexen Charaktere zu interpretieren. Das ist ein sehr spannender Prozess, wenn man sich einmal auf das Erzähltempo eingestellt hat. In der alten amerikanischen Kinofassung (es gibt streng genommen fünf unterscheidbare Schnittfassungen, die Sichtung des Final Cuts reicht nach meiner Einschätzung jedoch vollkommen aus) war der Film noch gefüllt mit einem Voice Over von Deckard, in dem er alle paar Minuten umfangreich seine Gedankengänge schildert. Allerdings wirkte das wie eine schwache Notlösung für ein nicht vorhandenes Problem; das Studio wollte dem Zuschauer anscheinend nichts zutrauen. Die Handlung und das Erzähltempo sind gewiss etwas gewöhnungsbedürftig, doch heutzutage

tage, wo man im Blockbuster diesbezüglich wenig Abwechslung geboten bekommt, ist das eventuell etwas erfrischend. Man muss sich aber drauf einstellen.

Seine gesamte Faszination entfaltet der Film jedoch erst, wenn man sich die ganze audiovisuelle Präsentation vor Augen führt. VANGELIS hat hier einen wunderbar sphärischen Soundtrack geschaffen, welcher besser nicht passen könnte, heute aber so unglaublich fremd wirkt wie damals. Gelegentlich ist ein Science-Fiction-Soundtrack in dem einen oder anderen Track von diesem Werk inspiriert, doch die Konsequenz, mit der hier eine unbeschreibliche Atmosphäre geschaffen wird, ist verblüffend.

Fast noch stilprägender als der Sound ist jedoch die Optik des Filmes. Nahezu der gesamte Film spielt bei Nacht in einer von Neonlichtern überfluteten, düsteren Zukunftsvision. Die Sets sind unheimlich glaubwürdig gestaltet und gefüllt mit zahllosen obskuren Details, welche nicht nur das Bild beleben, auch wird so sehr viel über die sozialen Verhältnisse in der Welt kommuniziert. Das Faszinierende an dem Film ist an dieser Stelle, dass er erstaunlich gut gealtert ist. Die Modelle in den Wideshots sind extrem detailliert und als solche kaum zu erkennen, während die Sets so gut beleuchtet bzw. nach Situation von Rauch überflutet sind, sodass man kaum Alterserscheinungen feststellen kann. Es ist schlicht unmöglich, den Film mit dem Erscheinungsjahr 1982 in Verbindung zu bringen, denn er würde in jedem Jahrzehnt wie ein seltsamer Fremdkörper wirken. Dazu ist jeder Shot, jede Kameraeinstellung und auch sonst nahezu jede künstlerische Entscheidung annähernd perfekt umgesetzt, sodass ich die nicht selten geäußerte These unterstütze, dass es sich bei *Blade Runner* um einen der, wenn nicht sogar *den* visuell schönsten Film aller Zeiten handle.

Neben der oberflächlich soliden, aber interessant erzählten Handlung

und der Präsentation ist *Blade Runner* herausragend gut darin, philosophisch spannende Fragen zu stellen. Er ist gespickt mit wundervoll geschriebenen zitierwürdigen Zeilen und er geht die ganze „Was ist ein Mensch?“-Debatte, die in der Science-Fiction ja nicht unbekannt ist, von einem interessanten Blickwinkel aus an. Außerdem spricht er aus der Science-Fiction bekannte Themen an, wie den Einfluss der Technologie auf die Gesellschaft, den Einfluss zu mächtiger Firmen sowie die Schere zwischen Arm und Reich. Vieles wird jedoch nur angedeutet oder im Hintergrund gezeigt anstatt umständlich stark thematisiert zu werden. Doch eine umfangreichere Besprechung der visuellen und narrativen Themen wäre zu viel für einen kurzen Artikel und eher Material für eine umfassende Analyse.

Insgesamt hat es jedenfalls Spaß gemacht, nach bestimmt zwei Jahren Abstinenz wieder zu dem Film zurückzukehren, und es wurde mir erneut klar, warum ich ihn zu meinen absoluten Lieblingsfilmen zähle. Jedoch ist der Film auch nicht für jeden etwas. Die Kehrseite seiner Einzigartigkeit ist leider eine geringe Massentauglichkeit. Ich finde, man sollte dem Film eine Chance geben, gerade jetzt, wo der Nachfolger in den Startlöchern steht, doch sollte man sich auf die Möglichkeit einstellen, dass man selbst nicht zur Zielgruppe gehört.

Und dies führt mich zurück zum Beginn des Artikels. Das große Blockbusterkino der letzten Jahre ist für mein Empfinden nicht zwangsläufig kompatibel mit den Idealen dieses Klassikers. Dafür ist es zu vorhersehbar und dieser Film zu eigenständig. Folglich eröffnen sich für ein Sequel zwei mögliche Richtungen: Entweder produziert man einen massenkompatiblen Sci-Fi-Thriller und profitiert vom Markennamen. Das würde jedoch Fans enttäuschen, der normale Zuschauer würde dem ebenfalls wenig Aufmerksamkeit schenken und die Reihe an gescheiterten Remakes

der letzten Jahre zeigt, dass dies keine valide Strategie mehr zu sein scheint. Die andere Variante wäre, dass man ein aufrichtiges und würdiges Sequel produziert und damit ein per se riskantes Filmprojekt mit hohem Budget wagt. Dafür ist Hollywood in den letzten Jahren jedoch nicht bekannt. Die ersten Trailer suggerieren dies jedoch, was interessant klingt.

Doch selbst für diesen begrüßenswerten Fall ist ein narrativer Geniestreich vonnöten. Ich versuche hier, nicht zu spoilern, doch wirft das Original in seiner Handlung und besonders am Ende einige sehr spannende Fragen auf, welche große Teile des Filmes auf den Kopf stellen könnten. Fans spekulieren seit Jahren, was es damit auf sich hat, und ein Großteil der Faszination des Filmes stützt sich auch auf diese Tatsache. Regisseur wie Schauspieler und gewiss weitere Verantwortliche haben sich zu diesem Thema zu Wort gemeldet und kommen zu diametral unterschiedlichen Aussagen. Daher liegt es im Auge des Betrachters, welche These ihm glaubwürdiger erscheint, was jede Sichtung von *Blade Runner* umso spannender macht. Es ist mir unverständlich, wie man diese Frage umgehen möchte (was seitens des Regisseurs angedeutet wurde), doch anders würde es dem Original für Viele etwas nehmen.

Jedoch lässt die Tatsache, dass mit DENIS VILLENEUVE (*Sicario*, *Arrival*) ein kompetenter Regisseur das Projekt übernommen hat, dass RIDLEY SCOTT als Regisseur des Originals ebenfalls seine Finger im Spiel hat und dass der Cast ebenfalls sehr überzeugend wirkt, mich hoffen, dass dieses scheinbar unmögliche Projekt doch noch zufriedenstellend Realität werden könnte. Im Oktober dieses Jahres werden wir mehr wissen. Dann erscheint *Blade Runner 2049*, ein Film, von dem ich noch nicht weiß, ob ich ihn überhaupt haben möchte, der aber gleichzeitig der vielleicht spannendste Titel des Jahres werden könnte.

LEBEN

Alles Gulasch, oder was?

GPN17 – Willkommen in der Welt des Cyber!

VON FRANK KRIEGL



Foto: Frank Kriegl

Es ist das erste Mal, dass ich in persona an einem CCC-Event teilnehme. Bisher habe ich solche Events immer nur online verfolgt und mir diverse Talks und Sessions zuhause am Bildschirm angesehen. Im Mai hatte mich ein Bekannter auf die GPN17 aufmerksam gemacht, die mittlerweile jedes Jahr in Karlsruhe vom Entropia e.V., dem lokalen *Chaos Computer Club* (CCC) veranstaltet wird.

Für was GPN17 steht? Nach meiner Auffassung steht die GPN für ein Treffen technikbegeisterter Menschen, die sich dort zu allen möglichen Themen austauschen, an coolen Projekten tüfteln, an Hard- und Software entwickeln oder sich einfach Talks zu diversen (vorwiegend technologischen) Themen anhören und gerne auch fleißig mitdiskutieren. Jeder ist willkommen! Neben Netzpolitik, Sicherheit und Datenschutz geht es aber auch um durchaus brandheiße Themen, z. B.: *Wie kocht man*

das perfekte Gulasch? und *Was ist eigentlich Cybern?*. Achso, was die Abkürzung GPN17 bedeutet? Im letzten Satz habe ich es ja schon fast verraten: *Gulaschprogrammierenacht 2017*. Eine genauere Beschreibung sowie Videolinks zu den Talks findet Ihr im Entropia-Wiki.^[1]

Mal ganz davon abgesehen, dass es leckeres Gulasch geben würde, war ich auch so ziemlich gespannt auf das Event. Das Motto dieses Jahr lautete „Works as intended“. Die GPN fand über das lange Wochenende vom Donnerstag, den 25. Mai, bis Sonntag, den 28. Mai, in den Gebäuden des ZKM (Zentrum für Kunst und Medien) und der Hochschule für Gestaltung statt. Kurz vor fünf setzte ich mich am Donnerstag in eine Bahn und fuhr in Richtung ZKM. Da ich noch nie selbst im ZKM war, stellte ich mir die Frage, wo genau ich denn hinmüsse. Die Antwort, die ich per WhatsApp von einem Freund erhielt, war: „Halte

einfach mal nach alternativ aussehenden Menschen Ausschau.“ Mh ... alles klar? – Alles klar! Keine Minute später sah ich jemanden auf seinem Ledersessel über den Asphalt sausen, ausgestattet mit Elektromotor, Musik und einem Wii-Nunchuck-Controller zur Steuerung. Das sah für mich alternativ genug aus. Hier war ich richtig!

Als ich ankam, war es schon Viertel nach fünf. Also setzte ich mich erstmal in einen der Vortragsräume und hörte mir einen Talk mit dem Titel *The GNOME Challenge* an. Der Vortrag wurde von einem meiner ehemaligen Dozenten gehalten. Am Ende seines Talks ging ich noch kurz auf ihn zu und siehe da, er erinnerte sich sogar noch an mich. Er lud mich ein, an seinem späteren Workshop teilzunehmen. Wie sich herausstellte, war ich dort dann der einzige Teilnehmer, abgesehen von einer Hand voll Leuten, die im Workshop-Raum ihr Gulasch verzehrten. Wir haben

dann einfach etwas geplauscht und gefachsimpelt. Irgendwann später, es dürfte um 22 Uhr herum gewesen sein, war die Ausgabeschlange endlich kürzer geworden, sodass auch ich mir noch eine Portion des abendlichen Gulaschs genehmigen konnte.

Am Freitag habe ich erstmal ausgeschlafen. In einem kleinen Anflug von Euphorie hatte ich nämlich in der Nacht noch bis drei Uhr morgens die Logik meiner Eigenimplementierung der KVV-Live-Auskunft in das Server-Backend meiner Website verschoben. Um 14 Uhr war ich dann aber wieder am ZKM bei einem Vortrag zu *Smart Meter* in Deutschland. Interessant waren auch die Lightning Talks, denen ich noch eine Weile lauschte, ehe ich mich auf den Heimweg machte, um weiter an meiner Bachelorarbeit zu schreiben.

Ein anderer Vortrag, zu dem ich es leider nicht selbst geschafft habe, war das Galaxy S8 Iris-Scanner Hacking von Hacker *Starbug*. Ich habe mir die Aufzeichnung aber später online angesehen. Wen die Kurzfassung interessiert, sucht mit der Suchmaschine seines geringsten Misstrauens einfach mal nach der *Sendung mit dem Chaos – Iris-Scanner im Samsung Galaxy S8*. In dem Video ist zu sehen, wie Starbug den Scanner ganz einfach austrickst und sich somit Zugang zum Smartphone verschafft.

Was ich auch toll fand: Sticker! Ich hatte Gelegenheit, wieder ganz viele tolle Aufkleber zu sammeln, die ich auf meinen neuen Laptop kleben kann. Sticker habe ich schon als Kind in meinen Stickeralben gesammelt. Vielleicht ist das mitunter ein Grund, wieso ich mich auch heute noch so sehr an diesen kleinen klebrigen Abzeichen mit coolen Aufdrucken und lustigen Sprüchen erfreue.

Zwischen den Talks und Workshops trieb ich mich am Donnerstag, Freitag und Samstag auch immer wieder zwischen den zahlreichen Tischen umher, auf die überall Patch- und Glasfaserkabel wie Lianen von der Decke herabhingen. Auf den Tischen war allerlei Technik aufgebaut: alte Vermittlerkästen, unzählige Laptops, 3D-Drucker, ... Zwischen den Tischen düsten verschie-

denste Gefährte herum: von Mate-Kisten auf Rädern über den bereits bekannten fahrenden Ledersessel bis hin zu einem ferngesteuerten Auto, dessen Besitzer eine selbstgebaute VR-Brille zur Navigation nutzte. Abseits von dem mir Bekannten war da auch ein Tisch, auf dem viele verschiedene Schlösser herumlagen. Die Personen, die mit den Schlössern hantierten, stellten sich als Hobby-Lockpicker vor: Menschen, die aus Spaß Schlösser knacken. Meine Neugier war geweckt. Ich ließ mir kurz das Prinzip erklären und keine zehn Minuten später hatte ich mein erstes Schloss *gepickt*.

Interessant war auch ein Ein-Quadratmeter-Sandkasten, in dem mehrere Hände Sand immer wieder neu zu Bergen, Tälern und Schluchten formten. Über dem Sandkasten waren eine Kinect Kamera und ein Projektor installiert. Die Kamera machte dreidimensionale Aufnahmen von den Höhenunterschieden im Sandkasten, während der Beamer aus den berechneten Daten eine Höhenkarte auf den Sand projizierte. So entstand ein Bild von Hügeln, Gebirgsgipfeln, Flüssen und Seen, das sich mit jedem Umformen live veränderte. Dieses Projekt entdeckte ich am Samstag. Das war auch der letzte Tag, an dem ich die GPN besuchte. Ich hatte mich mit meinem Kommilitonen und NEOLOGISMUS-Autor Lukas verabredet, der am Nachmittag an einem Workshop zum Thema Podcasting teilnehmen wollte. Lukas war merklich begeistert. Ich fand die Gestaltung der Runde als offenen Workshop zwar auch recht interessant, war aber hauptsächlich damit beschäftigt, meiner Bachelorarbeit noch den formalen Feinschliff zu verpassen. Danach gab es wieder Gulasch, das wir auf einem Stückchen Wiese vor dem ZKM-Gebäude verzehrten. Plötzlich war es auch schon wieder fast dunkel und Lukas und ich schauten uns bei einem Becher *Tschunk* noch die Demo-Show an. Was das sein soll? Computerkunst! Damit meine ich natürlich die Demo-Show, nicht das *Tschunk*, wenngleich letzteres auch auf spektakuläre Art und Weise in einem kleinen Zementmischer angerührt wurde.^[1] Aber zu-

rück zu den Demos. In der Demo-Szene geht es darum, kurze Videos von etwa 3 bis 5 Minuten Länge in möglichst kleine Dateien zu packen. Genauer gesagt bis zu 4kB kleine Dateien. Für all diejenigen unter euch, die mit Speichergrößen überhaupt nichts anfangen können: Das ist in etwa so, als würde man das Mobiliar eines ganzen Hauses in einer Streichholzsachtel unterbringen. Üblicherweise werden in diesen Demos geometrische Formen generiert und animiert. Es sind also keine mit einer Kamera aufgenommenen Videos. Das Ganze wird noch mit elektronischer Musik und viel Bass unterlegt und fertig ist die Demo. Klingt so, wie ich es eben beschrieben habe, vielleicht einfach, ist es aber mitnichten! Wer sich das mal ansehen möchte, sucht einfach auf YouTube nach „*Revision Demoparty*“. Die Demo-Videos waren für mich nicht nur ein visuelles Highlight, sondern gleichzeitig auch mein persönlicher Abschluss der GPN17, denn am Sonntag stand nur noch die Preisverleihung zu den Badges an. Ach ja, richtig! Die hätte ich beinahe vergessen. Natürlich konnte man an der GPN auch einfach nur das superschnelle Internet genießen und an seinen eigenen Sachen coden. Es gab aber auch einen kleinen Wettbewerb um das beste GPN-Badge-Projekt. Der GPN-Badge besteht aus einer Platine mit einem quadratischen 128 Pixel-LCD-Display, diversen Sensoren und Chips, sowie einem Mikrocontroller. Damit wurden die unterschiedlichsten Projekte realisiert. Infos dazu findet ihr im GPN17-Wiki.^[2]

Nun, was bleibt mir abschließend zu sagen? Ich hatte auf der GPN17 eine Menge Spaß, habe viele interessante Dinge gesehen und gehört, coole Sticker gesammelt und mich mit vielen Leuten zu spannenden Themen unterhalten. Ich empfehle jedem, der noch nie auf solch einem Event war, spätestens die nächste GPN zu besuchen. Es lohnt sich!

[1] <https://tschunk.org/> und Twitter: @SlushieMixer

[2] Weitere Informationen im Wiki der Entropia e. V.: <https://entropia.de/GPN17>

Leitton, Septim oder h?

Wie denken wir Musik?

VON FLORIAN KRANHOLD

Hin und wieder treffe ich mich mit befreundeten Sängern, um neue musikalische Stücke vom Blatt zu erarbeiten. Auffällig dabei ist, dass manche Stücke dem einen und andere Stücke dem anderen leicht fallen. Offenbar gibt es also unterschiedliche musikalische Fähigkeiten, deren Zusammenspiel hier zum Einsatz kommt. Dies führt mich zu der Frage, wie Musik in unserem Kopf erklingt. Dies ist abzugrenzen von der Frage, welche emotionale Wirkung Musik auf uns hat, und auch von der nach dem Mechanismus, einen gehörten Ton korrekt wiederzugeben, also das grundsätzliche musikalische Gehör.

Ich möchte dies an einem Beispiel motivieren: Im Rahmen eines Musikurses haben wir unsere Teilnehmer Intervalle hören lassen, d. h. es werden (hintereinander oder gleichzeitig) am Klavier zwei Töne gespielt und man soll den Abstand heraus hören und benennen. Es gab drei Typen von Antworten:

- (i) „Das war d und h, wie heißt das nochmal? Ach ja, große Sext!“
- (ii) „Das entspricht dem Liedanfang von ‚My Bonnie‘, also ist es eine große Sext.“
- (iii) „Rahmenintervall eines Durakkordes in Terzlage oder Mollakkordes in Oktavlage, also eine große Sext.“

Alle drei Teilnehmer sind sich am

Ende über das Ergebnis einig, aber offensichtlich ist das, was bei ihnen im Kopf abläuft, etwas grundsätzlich Anderes. Ich bin der Auffassung, dass sich diese drei Typen auch auf weniger isolierte Situationen übertragen lassen, weswegen ich versuche, sie am Beispiel des Singens vom Blatt näher zu beschreiben. Natürlich überzeichne ich total und schildere nur Extreme. Wenn wir also grob vereinfachen, gibt es meiner Meinung nach drei Typen:

Der Absolut Hörer

Dieser Typ Musiker ist sehr leicht zu beschreiben. Sein Kopf funktioniert quasi wie ein Klavier, es gibt eine direkte Verknüpfung zwischen Notennamen und klingenden Tönen. Diese Fähigkeit ist anscheinend angeboren, auch wenn es einige Musiker gibt, die sich ein absolutes Gehör antrainiert haben.

Absolut Hörer haben offensichtlich kein Problem, vom Blatt zu singen oder gar zwischen den Stimmen hin- und herzuspringen; sie müssen wie ein Pianist nur schnell genug mit dem Notenlesen hinterherkommen, die Töne liefert das innere Gehör sofort.

Nachteil von Absolut Hörern ist ihre Unflexibilität: Möchte man ein Stück transponieren (d. h. in einer anderen Tonart als der geschriebenen singen, etwa weil es jemandem zu hoch ist), so muss sich der Absolut Hörer während des Singens im

Kopf die Noten stets transponiert vorstellen, wie ein Pianist, dem gesagt wird, er solle doch mal schnell einen Ton tiefer spielen. Noch schlimmer ist es, wenn das Ensemble sinkt, etwa um einen Viertelton. Dann kann es unter Umständen sein, dass der Absolut Hörer gar nicht mehr mitsingen kann, da es für ihn die Tonart, in der gerade gesungen wird, einfach nicht gibt.

Der Melodische

Vermutlich ist diese Herangehensweise die üblichste: Solche Musiker haben ein besonders gutes Gedächtnis für horizontale melodische Linien. Sie können gut horizontale Intervalle hören und singen.

Singt ein Musiker diesen Typs ein neues Stück vom Blatt, so stellt er sich Sprünge in der Melodie als horizontale Intervalle vor, weiß etwa, wie es jetzt zu klingen hat, wenn er eine Quarte nach oben springen muss, und singt dies.

Auf diese Weise hat ein solcher Musiker keine Probleme mit polyphonen Sätzen (also solche, bei denen die einzelnen Stimmen rhythmisch unabhängig sind), da es für das Finden der Töne nicht wichtig ist, die Stimmen um sich herum mitzulesen und in einen entsprechenden Kontext zur eigenen Stimme zu stellen. Folgende Passage ist für den melodischen Typus vermutlich nicht besonders knifflig:



Abb. 4.1: Johann Christoph Bach. *Fürchte Dich nicht*. Takte 32–25

Der Harmonische

Für Musiker wie mich ist eine Stelle wie die oben zitierte allerdings ein Graus, sofern er nicht gerade Bass

singt und sich über die Kadenz freuen darf. Für ihn passieren hier viel zu viele Dinge gleichzeitig und vor allem versetzt, die man alle mitlesen muss, um den Satz zu singen.

Was passiert hier? Wenn ich beim Blattsingen nach Tönen suche, so fällt es mir schwer, mir die horizontalen Intervalle, die der Melodische singt, vorzustellen. Wohl aber kann

ich lesen, welcher Gesamtklang als nächstes kommen soll (z. B. die Subdominante) und sehen, welchen Ton des Akkordes ich zu singen habe (z. B. die Terz). Das klingt auf den ersten Blick viel komplizierter, ist es aber nicht zwingend.

Der große Unterschied besteht also darin, dass ich *vertikal* denke, wo der Melodische *horizontal* denkt.

Beide Herangehensweisen müssen an unterschiedlichen Stellen ästhetisch optimiert werden: Beim harmonischen Denken besteht die Gefahr, dass die Klarheit und Artikulation eines melodischen Bogens verloren geht, da ja jeder Ton nach einem Sprung neu gedacht und nicht der Sprung an sich geplant wird. Auf der anderen Seite muss man sich bei ste-

henden Klängen nicht mehr klarmachen, welche Töne etwa als Terzen für den reinen Klang leicht höher oder leicht tiefer intoniert werden müssen.¹ Wenn ich sehe, dass ich eine Terz im Bass habe, weiß ich, wie der Sextakkord zu klingen hat.

Hier ein Beispiel, das bei der harmonischen Herangehensweise leicht ist:



Abb. 4.2: Wolfgang Amadeus Mozart. *Lacrymosa* aus dem *Requiem d-Moll* (KV 626). Takte 24–28

Schaut man sich etwa die Alt-Stimme an, so hat sie im melodischen Verlauf nicht besonders viel Sinn. Irgendwelche Halbtonschritte und Rahmentritoni sind auch für melodisch begabte Sänger schwer vorstellbar. Fasst man das ganze hingegen als kleinen Ausflug nach g-Moll, mit Subdominant-Terz und dann Quint der vollverminderten Doppeldominante auf, lässt es sich viel leichter singen.

Dieses 3-Typen-Modell ist sicherlich sehr vereinfacht. Ganz oft werden verschiedene Herangehensweisen unterbewusst gemischt – selbst Absolut Hörer tun dies, wie ich erfahren habe: Je nach Situation sin-

gen sie ganze Bögen melodisch oder aber konkrete Noten. Auch ich als grundsätzlich harmonisch denkender Mensch würde im Leben nicht darauf kommen, eine Skala, die lediglich aus nicht-alterierten Schritten besteht, harmonisch zu denken, sondern sängel lediglich Schritte.

Insofern ist es natürlich fraglich, ob so ein scharfes Modell überhaupt Sinn hat. Es erklärt jedoch, warum unterschiedliche Musiker mit unterschiedlichen Stücken Schwierigkeiten haben.

Wie sieht es in anderen musikalischen Bereichen aus, etwa beim analytischen Hören oder beim Spielen eines Instruments? Auch hier funk-

tioniert dies sicherlich teilweise: Mir fällt es viel leichter, den harmonischen Verlauf eines Stückes beim Hören aufzuschreiben als etwa die Melodie der Hauptstimme. Ich weiß nicht genau, wie, aber ich höre zum Beispiel Subdominanten oder Doppeldominanten, die haben einen besonderen Klang. Ich höre aber keine einzelnen Intervalle. Beim Klavierspielen mache ich selten Fehler bei Vorzeichen, weil diese mir sehr logisch erscheinen, wohl aber an allen möglichen anderen Stellen.

Welcher Typ Musiker sind Sie? Oder scheint Ihnen die Klassifizierung unzureichend? Schreiben Sie mir: fk@neologismus-magazin.de

¹ Wohltemperierte gegen reine Stimmung, ist etwas komplizierter.