

Die Schrift

28. August 2020

Kapitel 1

Wozu diese Schrift?

Diese Schrift soll dich verändern. Jede Schrift, die du liest, verändert dich. Ich will, dass diese Schrift dein Denken in eine bestimmte Richtung verändert. Diese Schrift ist nicht dazu da, mir zum Broterwerb zu dienen. Es geht einzig und allein darum, dich zu verändern. Von solcher Art ist diese Schrift.

Wenn du meinst, dass du dich nicht ändern solltest, zum Beispiel weil du dich bereits perfekt findest, dann kehre jetzt um und lies nicht weiter!

1.1 Warum will ich dein Denken ändern?

Die kurze Antwort ist: aus Mitleid.

Wenn du meinst, dass du kein Mitleid benötigst, dann warte ab und schaue, was dir das Leben bringen wird! Und danach komme wieder, falls du noch kannst!

Die lange Antwort ist: Du wirst sterben. Du wirst leiden. Du wirst nicht verstehen, warum du leiden musst. Während du lebst, wirst du Vielen unnötiges Leid zufügen. Das wirst du teilweise absichtlich machen, viel öfter wirst du es aber unabsichtlich machen. Diese Schrift soll dir helfen zu erkennen, dass du weder deinem eigenen Leiden noch dem Leidzufügen aus dem Wege gehen kannst. Das ist einem Menschen nicht möglich. Dennoch kannst du versuchen, diese Leiden zu verringern.

Vielleicht gehörst du zu den unglücklichen Tröpfen, die sich ständig um das Morgen sorgen. Ich sage dir: du brauchst dich nicht sorgen, denn morgen kannst du schon tot sein. Vielleicht sogar heute schon.

Oder haderst du mit der Welt? Geht sie in eine schlechte Richtung? Ich sage dir: weder kannst du wissen, was gut oder schlecht ist, noch in welche Richtung sie gehen wird. Du kannst nicht mal wissen, ob sie überhaupt geht. Vielleicht bist nur du es, der geht.

Hast du vielleicht Angst vor dem Tod? Du sollst verstehen, warum du diese Angst hast. Doch vielleicht weißt du nicht, was der Tod ist. Vielleicht weißt du nicht mal, was Leben ist?

1.2 In welche Richtung will ich dein Denken ändern?

Dies ist eine philosophische Schrift. Es geht um Erkenntnis. Wenn du als naiver Realist hier hereinkommst, soll diese Schrift dein Denken dramatisch umdrehen. Niemals würdest du dich als naiv bezeichnen?

Wenn du diese Sätze verstehst, dann hast du schon einiges verstanden:

There are no particles!

Die Summe zweier Teile ist ihr Produkt. Im Produkt sind die Teile enthalten und nicht enthalten.

Keine Nachricht enthält eine Bedeutung. Auch diese Schrift enthält keine Bedeutung.

Eigentlich gibt es gar nichts Unlebendiges!

Die Jünger sprachen zu Jesus: „Sage uns, wie unser Ende sein wird.“ Jesus sprach: „Habt ihr denn schon den Anfang entdeckt, daß ihr nach dem Ende fragt? *Denn dort, wo der Anfang ist, dort wird auch das Ende sein.*“

Egal wie du hier hereinkommst, sollst du als Idealist wieder herausgehen.

Hinter dieser Schrift steckt der feste Glaube: wenn du mehr erkennst von der Welt und dir selbst, dann wird sich über kurz oder lang dein Handeln von selbst in die gewollte Richtung ändern. Du wirst weniger wollen, mit weniger zufrieden oder gar glücklich sein. Du wirst Leid vermeiden wollen. Du wirst dein Handeln von der Liebe leiten lassen, weil du wissen wirst, dass es sonst nichts gibt, an dem du dich festhalten kannst.

1.3 Wie werden wir es tun?

Wir beginnen mit dem philosophischen Fundament, das uns Descartes gelegt hat. Wir erkennen die Schleier, die unser Denken vernebeln und uns an der Erkenntnis hindern. Wir sehen nach, was die Wissenschaft uns seit den alten Zeiten der Philosophie Neues gebracht hat. Wir gehen die harte Tour, auch mit Mathematik, weil die Sprache der Mathematik näher an der Wahrheit ist als unsere Alltagssprache, welche einer der Schleier ist.

Kapitel 2

Philosophischer Startpunkt

2.1 ego cogito, ergo sum

Indem wir so alles nur irgend Zweifelhafte zurückweisen und für falsch gelten lassen, können wir leicht annehmen, dass es keinen Gott, keinen Himmel, keinen Körper gibt; dass wir selbst weder Hände noch Füße, überhaupt keinen Körper haben; aber wir können nicht annehmen, dass wir, die wir solches denken, nichts sind; denn es ist ein Widerspruch, dass das, was denkt, in dem Zeitpunkt, wo es denkt, nicht bestehe. Deshalb ist die Erkenntnis: »Ich denke, also bin ich,« von allen die erste und gewisseste, welche bei einem ordnungsmäßigen Philosophieren hervortritt.

Dies war für René Descartes das nicht weiter kritisierbare Fundament der Ontologie, das heißt der Lehre vom Seienden. Wir wissen also sicher

Etwas erkennt, dass da etwas ist (nämlich wenigstens das Erkennende selbst).

Dieses Erkennende mag man als *Ich* bezeichnen, ich will es aber lieber als **Bewusstsein** bezeichnen, also als das, was sich dem Dasein einer Welt bewusst ist. Wir wissen damit sicher, dass Bewusstsein existiert, und darüber hinaus wissen wir nichts. Der hier verwendete Bewusstseinsbegriff hat nichts mit einem Speicher für Erinnerungen oder noch spezieller mit einem Gehirn zu tun. Er ähnelt mehr dem Begriff *Geist*.

Es ist wichtig, dass du diese erste Erkenntnis von Descartes annimmst. Sie ist der allererste Schritt zu weiterer philosophischer Erkenntnis. Arthur Schopenhauer beginnt das 1. Buch seines Hauptwerks *Die Welt als Wille und Vorstellung* hiermit:

»Die Welt ist meine Vorstellung:« – dies ist die Wahrheit, welche in Beziehung auf jedes lebende und erkennende Wesen gilt; wiewohl der Mensch allein sie in das reflektirte abstrakte Bewußtseyn bringen kann: und thut er dies wirklich; so ist die philosophische Besonnenheit bei ihm eingetreten. Es wird ihm dann deutlich und gewiß, daß er keine Sonne kennt und keine Erde; sondern immer nur ein Auge, das eine Sonne sieht, eine Hand, die eine Erde fühlt; daß die Welt, welche ihn umgiebt, nur als Vorstellung da ist, d.h. durchweg nur in Beziehung auf ein Anderes, das Vorstellende, welches er selbst ist.

Dieser Satz führt zum Teil schon weiter. Mir ist hier nur die Verknüpfung zwischen philosophischer Besonnenheit und dem Anzweifeln der Existenz von Sonne und Erde wichtig. So lange du nicht an deren Existenz zweifelst, so lange bleibst du ein naiver Realist.

Natürlich bleibt der Zweifel nicht bei Sonne und Erde stehen. Auch die Existenz von Auge und Hand muss angezweifelt werden, nicht aber die des Vorstellenden, welches er selbst ist. *Er* ist aber *nicht der Mensch*, denn auch die Existenz von Menschen muss angezweifelt werden. *Er* ist das Bewusstsein.

2.2 Zeit

Dem Bewusstsein ist Änderung fest eingebaut. Der treffendere Begriff wäre eigentlich *Bewusstwerden* und nicht *Bewusstsein*. Aus demselben Grund favorisierten Schopenhauer und Dürr den Begriff *Wirklichkeit*, der ein ständiges Werden ausdrückt, vor dem Begriff *Realität*, der ein dauerhaftes Sein von Dingen ausdrückt. Wir können das Bewusstwerden nicht abschalten. Damit einher geht die Vorstellung einer vergehenden Zeit, einer Variable, die unsere Bewusstwerdungen durchnummeriert und ordnet. Wir wollen diese Zeit **psychische Zeit** nennen.

In der Mechanik von Newton ist diese psychische Zeit universell, schlichtweg „die Zeit“. Doch die physikalische Wissenschaft musste, zuerst mit der speziellen Relativitätstheorie, erfahren, dass diese Gleichsetzung nicht aufrecht erhalten werden kann. Wir werden darauf noch zurückkommen.

2.3 Kontinuierliche Empfindungen

Auf das Bewusstsein strömen *kontinuierlich Empfindungen* ein. Dies ist ein ganz wichtiger Punkt: **Es werden keine Einzeldinge bewusst**. Wenn du nur genau genug hinsiehst, dann musst du zugeben, dass sich die Bilder oder Töne oder sonstigen Empfindungen *kontinuierlich* vor dem Bewusstsein wandeln, oder dass das Bewusstwerden ein kontinuierlicher Wandel ist. Diese Erkenntnis ist Jahrtausende alt. Heraklit von Ephesos hat sie so formuliert:

Alles ist im Fluß.

Und Arthur Schopenhauer so:

... ewiges Werden, endloser Fluß gehört zur Offenbarung des Wesens des Willens.

Ja, wir haben in der Zwischenzeit eine Quantentheorie hinzubekommen und wissen, dass sie die genaueste physikalische Theorie ist, die wir besitzen. Den Zusammenhang zwischen Kontinuum und (Quanten-)Information werden wir uns noch genauer ansehen. Dort mag es eine tiefe Wirklichkeitsschicht des *nicht*-kontinuierlichen Wandels geben. Dieser nichtkontinuierliche Wandel ist im Alltag nicht als solcher wahrnehmbar. Um ihn wahrnehmen zu können, benötigst du physikalische Apparate, die deine Wahrnehmungsfähigkeiten erweitern, und die Heraklit und Schopenhauer nicht zur Verfügung standen. Die beiden waren dennoch weiter als fast alle deiner heutigen Zeitgenossen, nämlich als diejenigen, die daran glauben, dass Einzeldinge existieren, die ihrem Bewusstsein vorgestellt werden.

2.4 Gefühle und Wille

Wenn es dir geht wie mir, dann musst du noch mehr als real anerkennen. Wenn Schopenhauer darüber spricht, dann nennt er es *Wille*. Er hat eigentlich vollkommen recht, wenn er diesen Begriff nicht weiter zerteilt. Wenn ich dir das einfach so auftische, dann bekommst du es wahrscheinlich in den falschen Hals. Deswegen muss ich den Begriff zerteilen in Einzelbegriffe, die ich über die Sprache zu dir transportieren kann, wohl wissend, dass dadurch ein Fehler entstehen wird. Wenn du es verstanden hast, dann wirst du erkennen, welcher Fehler auf dem Transportweg entstanden ist. Mir ging es beim ersten Zusammentreffen mit Schopenhauers Wortwahl ungefähr so: „Welt als Wille? Wovon zum Teufel redet er nur?“

Ungefähr das wird auch dir schon widerfahren sein:

- Schmerz, Leiden
- Lust, Freude
- Angst
- Stolz
- Liebe
- Hass
- Gier, Begierde

Manche Empfindungen bekommen offensichtlich eine Gefühlsqualität, sie sind wichtig für dich, sie haben eine Bedeutung für dich. Die Qualität ist vieldimensional. Zum Beispiel kann die Qualität 5 Einheiten auf der Freudenskala und gleichzeitig 7 Einheiten auf der Skala des Stolzes ausschlagen, also in 2 Richtungen von 0 verschiedene Werte liefern.

Andere Empfindungen sind dir unwichtig, und obwohl derartige Empfindungen ständig vor dem Bewusstsein auftauchen, haben sie keine Bedeutung für dich. Obwohl vielleicht stundenlang in deinem Gesichtsfeld erkennbar ist, dass im Café in einiger Entfernung ein Unbekannter auf einem grauen Stuhl sitzt, ist dir die Farbe des Stuhls in der Regel vollkommen gleichgültig, und du wirst dich nicht mehr an die Farbe des Stuhls erinnern können.

Gefühle sind real und vieldimensional. Die Gefühle sind mit dem verbunden, was man üblicherweise als *Wille* bezeichnet. Wir wollen bestimmte Gefühle haben und andere vermeiden, deswegen handeln wir. Bestimmte Empfindungen führen, so wissen wir es aus Erfahrung, zu bestimmten Gefühlen. Unser Handeln ist darauf ausgelegt, bestimmte Empfindungen herzustellen, um dadurch die begehrten Gefühle zu bekommen. Dies ist der Wille im engeren Sinne. **Der Wille ist real.**

Der Wille bildet mit den Gefühlen zusammen eigentlich eine Einheit. Wir könnten beides zusammen mit *Wille* betiteln, wodurch wir wieder am Anfang dieses Abschnitts angekommen wären, einem Willensbegriff, der wenigstens alle Gefühle mit einschließt.

2.5 Die Schleier

Diese Schrift wird noch behaupten, dass die Welt ganz anders ist, als du sie dir vorstellst, jedenfalls dann, wenn du in eine der Kategorien „naiver Realist“ oder „kritische / wissenschaftliche Realistin“ einzusortieren bist. Ich muss dir erst begründen, warum so eine kühne Behauptung wahr sein könnte.

Natürlich wirst auch du zugeben, dass die Vorstellungen der Menschen über die Welt sich in der Vergangenheit dramatisch gewandelt haben. Daraus folgt automatisch, dass die meisten der seitherigen Vorstellungen irgendwie falsch gewesen sein müssen. Wieso sollten wir also gerade mit unserem heutigen Bild von der Welt richtig liegen?

Selbstverständlich kann man jetzt immer noch den Entwicklungsgedanken spinnen, demzufolge die Menschen zu Urzeiten in ziemlich falschen Vorstellungswelten lebten, diese aber immer mehr korrigiert wurden, so dass wir heute unsere Leben in den wirklichkeitsnächsten jemals dagewesenen Vorstellungswelten verbringen dürfen. Doch eben das ist nicht der Fall, und dafür sorgen systematisch bestimmte Schleier. Die Existenz solcher Schleier wurde in der ältesten überlieferten menschlichen Philosophie bereits erkannt und mit „maya“ bezeichnet.

2.5.1 Der physikalische Kanal

In Richtungen des Solipsismus wird die Existenz einer Welt außerhalb der bewussten Empfindungen verneint. Damit braucht man sich keine weiteren Gedanken darüber machen, wie genauere Kenntnis über eine äußere Welt zu erlangen ist, denn eine solche gibt es dort nicht. Für Anhänger des Solipsismus ist damit an dieser Stelle Schluss und sie brauchen nicht weiterzulesen.

Alle anderen müssen damit leben, dass nicht die gesamte Welt *direkt* an das Bewusstsein angeschlossen sein könnte. Vielmehr könnte vieles nur sehr indirekt erreichbar sein, wie die obigen Zitate von Descartes und Schopenhauer es ausdrücken. Es ist nicht klar, ob und wie viele andere Bewusstseine es dort draußen gibt. Wenn das eigene Bewusstsein direkt mit den anderen verbunden wäre, so wäre es vielleicht sowieso bereits Eines mit jenen. Wenn nicht, so ist etwas Trennendes zwischen den Bewusstseinen, und dieses Trennende heißt hier *Kanal*.

Der physikalische Kanal sorgt, so lange er da ist, dafür, dass wir anderes, was ist, niemals direkt erkennen können.

2.5.2 Der Wille

Die Ausrichtung des Willens ist ein sehr starker Schleier, denn sie zielt auf die zukünftige Erlangung bestimmter Gefühle. Die Empfindung bestimmter Gefühle wie zum Beispiel Sättigung nach einer Hungerphase hat aber mit der Erlangung von Erkenntnis über die wahre Natur der Außenwelt rein gar nichts zu tun. Oder anders ausgedrückt: der Mensch *will gar nicht wissen*, wie die Welt wirklich ist. Lieber will er satt werden und kann nicht einmal sagen, warum er das will. Deswegen sagt Schopenhauer:

Daher hat auch jeder Mensch beständig Zwecke und Motive, nach denen er sein Handeln leitet, und weiß von seinem einzelnen Thun allezeit Rechenschaft zu geben: aber wenn man ihn fragte, warum er überhaupt will, oder warum er überhaupt daseyn will; so würde er keine Antwort haben, vielmehr würde ihm die Frage ungereimt erscheinen: und hierin eben spräche sich eigentlich das Bewußtseyn aus, daß er selbst nichts, als Wille ist, dessen Wollen überhaupt sich also von selbst versteht und nur in seinen einzelnen Akten, für jeden Zeitpunkt, der nähern Bestimmung durch Motive bedarf.

Die Ausrichtung des Willens erfolgt in einem hochdimensionalen Raum. Keine 2 Willensrichtungen werden darin jemals identisch sein. Die Natur wirft in's Rennen, was möglich ist, und warum du gerade dieses oder jenes willst, kann man bestenfalls als Zufall bezeichnen.

So lange du deinem Willen nachrennst, kannst du nicht unbefangen erkennen, was da auf dich einströmt. Dieser Schleier lässt sich wenigstens zeitweise leicht ausschalten, wenn man erst einmal erkannt hat, dass er im Weg steht.

2.5.3 Die Wortsprache

Welchen Einfluss hat die Wortsprache? Dazu sagt Wilhelm von Humboldt:

Geschriebene und gesprochene Sprache ist ein Medium des Denkens und der Weltauffassung schlechthin.

Sie bestimmt unsere Weltauffassung, unser Modell der Außenwelt. So lange wir in Sprache denken, können wir mit unserem Denken ihren Rahmen nicht verlassen.

Sprache ist eine künstlich geschaffene Informationsschicht. Die Absendung einer Sprachnachricht soll im Empfänger bestimmte Wirkungen auslösen. Ein langer Lernprozess ist notwendig, um geschickt in der Anwendung dieses Werkzeugs zu werden. Sender und Empfänger müssen das Werkzeug beherrschen, was prinzipiell nie vollständig gelingt.

Wenn mehrere dieses Werkzeug beherrschen, so können sie damit ihr Verhalten sehr gut synchronisieren und kooperieren. Die Wahrscheinlichkeit in der Zukunft gewollte Gefühle zu empfinden, kann dadurch höher sein, als wenn jeder alleine unterwegs wäre. Von Weizsäcker drückt das so aus:

Daß Lebewesen Präferenzordnungen, also im pragmatischen, nichtreflexiven Sinn des Worts, Begriffe haben, hängt mit den Bedingungen des Überlebens zusammen.

Und Dürr so:

Wir haben hier auch mit einem sprachlichen Problem zu kämpfen. Unsere Sprache ist von ihrem Ursprung her angepasst an unsere Handlungen. Ich nenne daher unsere Umgangssprache gerne die „Apfel-Pflück-Sprache“.

Wir haben bereits festgestellt, dass unsere Empfindungen kontinuierlich auf uns einströmen. Sollte es darin eine Körnung geben, dann wäre sie zu fein, als dass wir sie im Alltagsleben erkennen könnten. Im Gegensatz dazu ist Wortsprache diskret. Eine Sprachnachricht kann nur endlich viel Information enthalten. **Durch Verwendung von Wortsprache verlieren wir unendlich viel Information bei der Modellierung irgendeines Kontinuums.** Das ist der Hauptgrund, warum sie einer der großen Schleier ist.

Das ist aber noch nicht alles. Zum Beispiel könnte es dort draußen so etwas wie „Helligkeit“ geben, die kontinuierlich Werte aus dem nicht-negativen reellen Zahlenbereich annehmen kann, und in der Wortsprache hätten wir als Modell für dieses Kontinuum nur „dunkel“, „halb-dunkel“, „mittelhell“, „hell“, „gleißend hell“ und vielleicht noch ein paar Wörter mehr zur Verfügung. Was soll's, so genau brauchen wir es nicht zu wissen, und wir sind uns des Fehlers bewusst.

Wenn es aber keine Helligkeit gibt? Dann festigt das erfolgreiche kooperative Verhalten, das durch Sprache ermöglicht wird, trotzdem den Glauben daran, dass dieser *Begriff* tatsächlich in die Wirklichkeit *hineingreift*. Und wenn wir den anderen fragen, wird er bestätigen, dass er es genau so sieht, was unsere Vorstellung weiter festigt. Solcherart Prägungen verfestigen sich mit zunehmenden Alter und während der Bildung sozialer Gruppen. Altersstarrsinn steht natürlicherweise am Ende des menschlichen Lebens.

2.5.4 Die Digitalisierung

Eine Meldung der *Zeit* aus dem Jahr 2017:

Danach greifen die Deutschen im Schnitt (Schlafzeiten ausgenommen) alle 18 Minuten zum Gerät, Jugendliche noch häufiger.

Die Kommunikation erfolgt zunehmend über digitale Kanäle. Gemäß dem Stand der Endgerätetechnik im Jahr 2019 können diese maximal bewegte Bilder und Töne übertragen, die auf das menschliche Auflösungsvermögen zugeschnitten sind, was bedeutet, dass das digitale Gehäcksel aus menschlicher Sicht kontinuierlichen Empfindungen ähnelt, aber doch grundsätzlich anders ist. Was wir hierbei verlieren, wissen wir noch gar nicht so genau. Auf jeden Fall bedeutet die Digitalisierung einen weiteren Schritt in die Richtung, die bereits mit der Wortsprache eingeschlagen wurde: Schaffung einer künstlichen Informationsschicht, um praktische Ziele zu erreichen, und Entkopplung von der Wirklichkeit.

2.5.5 Freunde

Wenn du ein gutes Buch liest, also ein Buch, das dir gefällt, so arbeitest du an der weiteren Festigung deiner zufällig entstandenen Willensrichtung. Du verabschiedest dich eine Weile von der äußeren Welt, die dir nicht die Empfindungen hervorruft, die du dir wünschst, und erzeugst dir mit Hilfe des Buches Empfindungen, die du dir wünschst. Je leichter das Lesen fällt, desto mehr ist dies ein Zeichen dafür, dass du gerade eifrig an einer Willensfestigung arbeitest.

Wie „gute“ Bücher sind Freunde Festiger des bereits gerichteten Willens. Sie stellen deine grundsätzliche Ausrichtung nicht in Frage, sonst wären es nicht deine Freunde, sondern bestärken dich in deiner Richtung.

Deswegen sagt Schopenhauer:

Sogar die echte Freundschaft ist immer Mischung von Selbstsucht und Mitleid: erstere liegt im Wohlgefallen an der Gegenwart des Freundes, dessen Individualität der unserigen entspricht, und **sie macht fast immer den größeren Teil aus**; Mitleid zeigt sich in der aufrichtigen Teilnahme an seinem Wohl und Wehe und den uneigennütigen Opfern, die man diesem bringt.

Eine breite zufällige Richtungsverteilung der Willen wird durch zwischenmenschliche Kräfte ausgedünnt auf weniger Vielfalt. Es bilden sich Gruppen ähnlichen Denkens. Man findet zu gemeinsamer Kultur, Religion, Sprache. Abweichungen von der zufällig entstandenen Norm können dabei mehr oder weniger geduldet werden. Und auch für diesen Effekt liefert uns die Digitalisierung inzwischen einen Verstärker:

In seinem Bestseller „Filter Bubble“ hat [Eli] Pariser das Unbehagen am mitdenkenden Internet analysiert: Das Netz zeigte uns, „was es denkt, dass wir sehen wollen“. Zufallsfunde und überraschende Begegnungen werden dadurch immer seltener. Am Ende, so Pariser, vereinzeln die Konzerne uns alle in separate Filterblasen, wo wir nur noch mit den Echos unserer eigenen Überzeugungen leben.

Freunde können ein starker Schleier sein, aber auch helfen, die anderen Schleier zu lüften. Das kommt auf die Freunde an.

2.5.6 Untermauerung dieser Behauptungen

Ich könnte mich auf die Position zurückziehen, dass ich keine Beweise zu liefern brauche. Diejenigen, die das Gegenteil behaupten, nämlich dass unser Modell der Welt für gewöhnlich sehr genau der Wirklichkeit entspricht, sehen in der Regel keine Notwendigkeit dazu, Beweise liefern zu müssen. Die Argumentation jener geht so:

Palmer zum Beispiel stellt im obigen Zitat die plausible Behauptung auf, dass „das Sehen gerade deshalb nützlich ist, weil es so genau ist“. (Palmer, 1999). Geisler und Diehl sind sich einig und nehmen als offensichtlich hin, dass „im Allgemeinen (wahrnehmungsbezogene) Einschätzungen, die der Wahrheit näher kommen, nützlicher sind als solche, die weitab vom Ziel sind“ (Geisler und Diehl, 2002). Feldman hält es auch für offensichtlich, dass „es für einen Organismus eindeutig wünschenswert ist (z.B. aus evolutionärer Sicht), wahrheitsgetreue Wahrnehmungen der Welt zu erreichen“ (Feldman, 2013). Knill und Richards stimmen dieser Ansicht zu „... beinhaltet die Evolution des visuellen Systems eines Organismus, der Struktur der Welt zu entsprechen“ (Knill und Richards, 1996).

Der ursprüngliche Text ist englisch. Bezeichnend ist, dass *perception* mit **Wahrnehmung** übersetzt wird. Die Empfindung soll laut der deutschen Sprache direkt die Wahrheit über die Außenwelt liefern.

Es gibt natürlich keine Beweise dafür, dass es genau anders herum ist. Aber es gibt Simulationen, die es nahelegen. Ein wichtiger Meilenstein auf diesem Weg zur Erkenntnis ist der Artikel *Natural selection and veridical perceptions* von Mark, Marion und Hoffman aus dem Jahr 2010. In den Simulationen treten bewusste Agenten, die die Außenwelt durch eine Zwischenschicht erfahren, gegeneinander im Kampf um's Überleben an. Die Agenten sind verschiedener Art. Die einen nehmen es nicht so genau mit der Wahrheit, die anderen entscheiden erst, wenn sie ein genaues Bild von der Außenwelt haben.

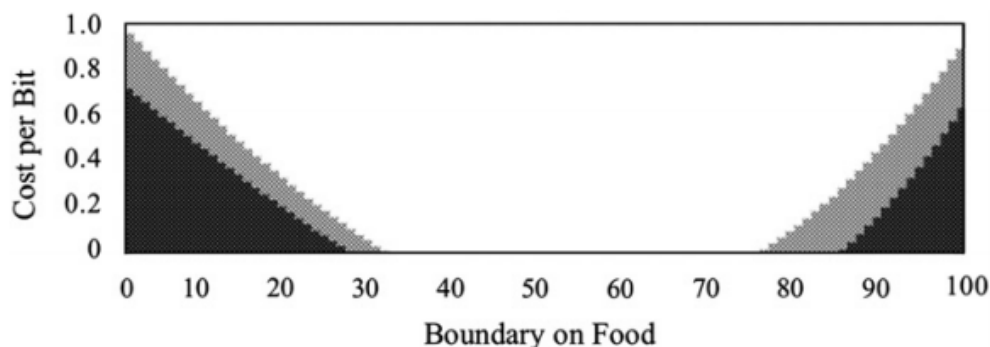


Abbildung 2.1: Genau wahrnehmende Agenten gegen ungenau wahrnehmende

Die genauere Wahrnehmung gibt es nicht umsonst. Jedes zusätzliche Bit an Information kostet Energie und Zeit. Die genau wahrnehmenden Agenten entscheiden sich erst für ein Territorium, wenn sie genau wissen, wieviel Futter - der Wertebereich ist 0..100 - darin ist. Die ungenauen Agenten entscheiden aufgrund eines Schwellwerts (boundary) zunächst, ob das Territorium eines mit viel oder wenig Futter ist, und sich dann für das Territorium mit dem vielen Futter. Die grauen Parameterbereiche bedeuten eine Koexistenz beider Arten. In den schwarzen Bereichen überleben nur die genau wahrnehmenden Agenten, im weißen nur die ungenau wahrnehmenden. Haben die ungenau wahrnehmenden Agenten nur einen halbwegs vernünftigen Schwellwert, dann verdrängen sie die genauen Agenten sogar unabhängig von den Informationskosten.

Ein anderes interessantes Ergebnis, das zeigt, wie wir ticken, wird durch Agenten mit mehr und mehr Kategorien, also nicht nur zweien, erhalten. Es ist günstig, die Dinge dort genauer zu

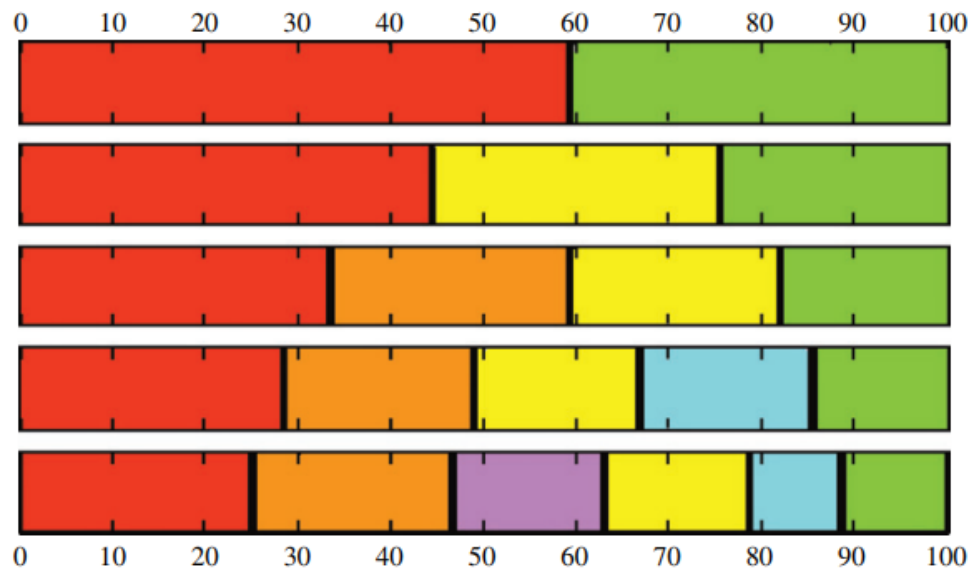


Abbildung 2.2: Optimale Postition der Schwellwerte bei verschiedener Anzahl an Kategorien

wissen, wo es etwas zu holen gibt. Wo es nichts zu holen gibt, da haben wir weniger Kategorien. Man könnte es überspitzt auch so sagen: wir haben keine Wörter für Dinge, die es vielleicht geben mag, die uns aber im Hinblick auf unser Überleben nicht interessieren.

Kapitel 3

Einige Begriffe

3.1 Nachricht und Information

Richtig schwierig ist es, eine vernünftige Definition für den Begriff „Information“ zu recherchieren. Auch Wikipedia redet sich im Jahr 2019 hinaus unter Verwendung von Begriffen wie „Wissen“, „Signal“ und „Code“, wodurch nichts erklärt wird.

Der Physiker Anton Zeilinger sagt über Information:

Ich bin überzeugt, dass Information das fundamentale Konzept unserer Welt ist. Sie bestimmt, was gesagt werden kann, aber auch, was Wirklichkeit sein kann. In der üblichen Auffassung des Physikers und im täglichen Leben existiert die Wirklichkeit da draußen primär; durch diese Wirklichkeit spazieren wir wie über eine Bühne, und die Information, die wir darüber haben, ist ein sekundäres Konzept. In der Quantenphysik – zumindest in bestimmten Situationen – ist nach meiner Überzeugung die Information das Primäre: das, was gesagt werden kann.

Ein fundamentales Konzept unserer Welt ist aus philosophischer Sicht höchst wichtig und wir sollten für den entsprechenden Begriff eine klare Vorstellung entwickeln.

Dazu brauchen wir zunächst die Begriffe „Sender“, „Nachricht“, „Empfänger“:

„Sender“, „Nachricht“, „Empfänger“ sind Teile der Welt, die von uns so bezeichnet werden und an einem Prozess in der Zeit teilnehmen.

Dies setzt voraus, dass die Welt in Teile teilbar ist, und das ist eigentlich nie der Fall. Wir kommen darauf noch zurück...

In der Alltagsvorstellung erzeugt ein Sender eine Nachricht dadurch dass er ein Stück Materie oder Energie formt und Richtung Empfänger absendet. Der Empfänger empfängt die Energiematerie und „liest“ ihre Geformtheit.

$$\text{Sender} \xrightarrow{\text{Nachricht}} \text{Empfänger} \quad (3.1)$$

Der Informationsgehalt einer Nachricht ist durch die Anzahl N der verschiedenen Veränderungen bestimmt, die sie maximal in irgendeinem Empfänger bewirken kann.

Nach der Informationstheorie von C. E. Shannon ist der Informationsgehalt I einer Nachricht über das Eintreffen einer von N möglichen Alternativen

$$I = \log_2 N \quad (3.2)$$

und wird in der Einheit *Bit* gemessen.

Beispiel: Wenn nur die Auswahl einer einzigen Farbe aus den Farben rot, grün, gelb, blau möglich ist, hat man 4 Alternativen. Um eine Mitteilung über die ausgewählte Farbe zu kodieren sind 2 Bit notwendig. Die Information I ist allgemein eine positive reelle Zahl, denn die Anzahl der Alternativen muss keine Zweierpotenz sein.

Trifft eine Nachricht auf einen ganz simplen Empfänger, der nur 2 Zustände einnehmen kann, so kann ihr wahrer Informationsgehalt höher sein als $\log_2 2 = 1$ aber verborgen bleiben. Der ganze Informationsgehalt kann sich erst mit Empfängern zeigen, die genügend komplex sind.

Der Prozess der Nachrichtenübertragung stellt sich in der Physik so dar:

$$\begin{aligned} &| \text{Sendernachricht} \rangle \otimes | \text{Empfänger} \rangle \longrightarrow \\ &| \text{Sender} \rangle \otimes | \text{Nachricht} \rangle \otimes | \text{Empfänger} \rangle \longrightarrow \\ &| \text{Sender} \rangle \otimes | \text{Nachrichtempfänger} \rangle \end{aligned} \quad (3.3)$$

Aus einem Vektor, der in einem Produktraum aus Senderraum und Nachrichtenraum lebt und deswegen oben mit $| \text{Sendernachricht} \rangle$ benannt ist, entschränkt sich ein Vektor und wird dadurch zur Nachricht in einem Nachrichtenraum. Diese Nachricht verschränkt sich mit einem anderen Vektor und beide bilden am Ende einen neuen Vektor, der hier mit Nachrichtempfänger bezeichnet ist und in einem Produktraum aus Nachrichtenraum und Empfängerraum lebt. Sender, Nachricht und Empfänger können nur in der Mitte des Prozesses als solche existieren. Wir werden auf das Konzept des Produktraums noch zurückkommen...

Mit dieser Darstellung der Nachrichtenübertragung dürfte der Mainstream der Physikergemeinde im Jahr 2019 zufrieden sein. *Doch die Sache hat einen Haken!* Verschränkung ist subjektiv, und damit hängt es von der Sicht auf das Geschehen ab, ob zum Beispiel in der Mitte des Prozesses tatsächlich ein Produktvektor aus 3 Vektoren vorliegt oder nicht. Auch darauf werden wir noch zurückkommen...

Doch das ist nicht das einzige Problem auf dem Weg zur Information als „fundamentalem Konzept unserer Welt“. Wir haben postuliert, dass es möglich sein soll, Teile der Welt abzuspalten, die *abzählbar endlich* viele Bits enthalten. *Das steht in krassem Widerspruch zur Vorstellung von kontinuierlichen Empfindungen!* Jede kontinuierliche Variable kann *unendlich* viel Information transportieren.

Also hat Zeilinger unrecht? Ist Information nur ein kulturelles Konzept? Weil wir langwierig, nicht zuletzt in der Schule, gelernt haben, ein Kontinuum von Empfindungen in endlich viele Schubladen einzusortieren? Oder hat er recht, und das Kontinuum ist gar keines? Raum und Zeit, Impuls und Energie sind nicht kontinuierlich?

3.2 Bedeutung

Genauso schwierig wie für die Information ist es, eine vernünftige Definition für den Begriff „Bedeutung“ zu recherchieren. Wikipedia redet sich im Jahr 2019 hinaus unter Verwendung von Begriffen wie „Wissenzusammenhang“ und „Sinn“, wodurch wieder nichts erklärt wird.

Wir versuchen es mit folgender einfachen Definition:

Bedeutung ist die Änderung, die der Empfang einer Nachricht in einem bestimmten Empfänger auslöst.

Diese Definition passt gut zur Alltagsvorstellung der Nachrichtenübertragung gemäß (3.1). Obwohl wir nicht bei dieser Definition bleiben werden, liefert sie uns ein sehr wichtiges Ergebnis: **eine Nachricht enthält niemals Bedeutung**, denn ohne Empfänger gibt es keine Bedeutung. So hat auch diese Schrift keine Bedeutung, ohne dass sie jemand liest.

Da du aufmerksam gelesen hast, wirst du einwenden, dass die unabhängige Existenz des Empfängers durch die Verschränkung mit der Nachricht gemäß (3.3) endet. Wie können wir da noch von einer nur auf den Empfänger bezogenen Änderung reden? Wir können es nicht!

Der nächste Versuch:

***Bedeutung* ist die Verschränkung, die sich zwischen Nachricht und Empfänger aufbaut, und zwar bei der Zweiteilung ihres gemeinsamen Produktraums unter der Sicht, unter der sie anfangs entschränkt erschienen.**

Da Verschränkung subjektiv ist, müssen wir die Sicht auf das Geschehen mit festlegen, und das haben wir mit dieser Definition getan. Die Sicht ist genau diejenige, die die in (3.3) gezeigten Verschränkungen zeigt.

Unabhängig von der weit verbreiteten materialistischen Vorstellung, dass ohne bewusstes Zutun ein objektives Geschehen abläuft, von dem hin und wieder Teile bewusst werden, beharren wir auf einem idealistisch-kritischen Standpunkt: So lange eine Änderung niemandem bewusst wird, so lange muss sie nicht existieren! Bis zur Bewusstwerdung wird es immer eine Glaubensfrage bleiben, ob sich im physikalischen Kanal etwas verändert hat oder nicht.

Wir gehen nochmal zurück zur Alltagsvorstellung des Nachrichtenübertragungsprozesses (3.1). Ein Kranker, der Sender, sendet eine Nachricht, einen hochansteckenden Noro-Virus, an einen Empfänger, einen Gesunden. Welche Bedeutung hat diese Nachricht für den Empfänger?

Wenn wir den Gesunden direkt nach dem Empfang des Noro-Virus fragen, wie es ihm geht, wird er sagen: „wie immer gut“. Ein Außenstehender, ein versuchsbegleitender Arzt, wird den Empfänger dagegen als infiziert einstufen. Um die Aussage des Empfängers mit dessen tatsächlichen Zustand in Einklang bringen zu können, entwickelt er das Modell

$$\text{Empfänger} = \text{Leib} + \text{Bewusstsein} \quad (3.4)$$

und erzeugt damit das **Leib-Seele-Problem**: der Leib soll materiell sein und Veränderung nicht bewusst wahrnehmen, während der Arzt mit dem Bewusstsein des Empfängers sprechen kann und sehen kann, dass die Änderung am Leib noch nicht dort angekommen ist. Doch wie funktioniert dann die Kommunikation des Leibes mit dem Bewusstsein, die Kommunikation zwischen

Geist und Materie? Wissenschaftliche Ansätze, die auf diesem Modell basieren, können diese Frage im Jahr 2019 nicht beantworten. *Nicht einmal ansatzweise ist eine Lösung des Leib-Seele-Problems auf diesem Pfad erkennbar.*

Was ändert sich, wenn wir auf das physikalische Nachrichtenübertragungsmodell (3.3) wechseln? Kann damit das Leib-Seele-Problem gelöst werden oder wird alles nur noch schlimmer? Darauf werden wir noch zurückkommen mit Hilfe von Verschränkungsketten und Wigners Freund...

3.3 Nichtkopierbarkeit von Information

Physikalische Information kann im Allgemeinen nicht kopiert werden.

Es soll also nicht möglich sein, 1 Nachricht zu empfangen, sie zu lesen, und weiterzuschicken? Es soll nicht möglich sein, eine Datei zu kopieren? Jawoll, genau das ist hier die Aussage. Und sie ist wahr.

Es geht um physikalische Nachrichten. Natürlich ist es schwer, ein Gemälde von Renoir zu kopieren. In der Alltagsvorstellung ist es zumindest denkbar, dass bei perfekter Technik eine perfekte Kopie prinzipiell gelingen kann. Oder bei genügend vielen Versuchen kann zufällig eine exakte Kopie mit abfallen. Die Physik sagt: nein!

Das **No-Cloning-Theorem** besagt, dass ein Kopierverfahren zwar einzelne Vektoren exakt kopieren kann, aber nur solche, die orthogonal zueinander sind. Nun gibt es immer unendlich viele Linearkombinationen, die neue Vektoren hervorbringen, welche nicht orthogonal zu den anderen sind. Die Wahrscheinlichkeit, bei gegebenem Kopierverfahren auf einen Vektor zu treffen, der exakt kopiert werden kann, ist deswegen 0.

Die Unendlichkeit hat nun ein zweites Mal zugeschlagen. Selbst wenn wir nur endlich viel Information in einer physikalischen Nachricht hätten, und sei es nur ein einziges Qubit, aus dem sich maximal ein klassisches Bit auslesen lässt, könnten wir sie mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit nicht exakt kopieren.

Aufgrund kultureller Übereinkunft tun wir gemeinsam so tun, als seien ungleiche Empfindungen durch gleiche Dinge verursacht.

So sagt Chang Tun-Sun

Wie wir vorstehend gesehen haben, ist die westliche Logik im wesentlichen auf das Gesetz der Identität begründet. Auf ihr beruhen Einteilung, Definition, Syllogismus (Vernunftschluss) und sogar Umkehrung und Widerspruch. Alle diese Begriffe stehen miteinander in Beziehung und bilden ein System. Die grundlegende Struktur des Chinesischen unterscheidet sich von diesem System. Das chinesische System der Logik, wenn wir es überhaupt ein System nennen wollen, beruht nicht auf dem Gesetz der Identität.

und Dürr

Da wir die Zeit nicht anhalten und zwei Gegenstände nie völlig gleich machen können (zu gleicher Zeit unterscheiden sie sich mindestens durch die Lage), ist es von vornherein gar nicht klar, ob man je die Möglichkeit hat, zweimal „denselben“ Vorgang oder „den gleichen“ Gegenstand zu beobachten. Daß es überhaupt so etwas wie Wiederholbarkeit von Beobachtungen gibt, liegt daran, daß man als Voraussetzung nicht die vollständige Wiederherstellung einer bestimmten Situation fordern muß, sondern nur eine Situation wieder vorbereiten muß, in der alle die für die Beobachtung charakteristischen Merkmale dieselben sind.

In unserem Denken gibt es gleiche und ungleiche Dinge, und damit das funktionieren kann muss es unerlaubte Dinge geben, die in der Technik als Sicherheits- oder Störabstand oder dergleichen bezeichnet werden.

Am Beispiel der sogenannten Transistor-Transistor-Logik (TTL) mit 5 Volt Betriebsspannung liest sich dies in Wikipedia so: „Die Schaltkreise sind so dimensioniert, dass Eingangsspannungen $U_E < 0,8V$ als Low-Pegel, und $U_E > 2,0V$ als High-Pegel erkannt werden. Die Ausgangsspannung U_A beträgt typisch $< 0,4V$ für den Low-Pegel und $> 2,4V$ für den High-Pegel bei der zulässigen Last. Der statische Störabstand beträgt somit sowohl für High- als auch für Low-Pegel $0,4V$.“

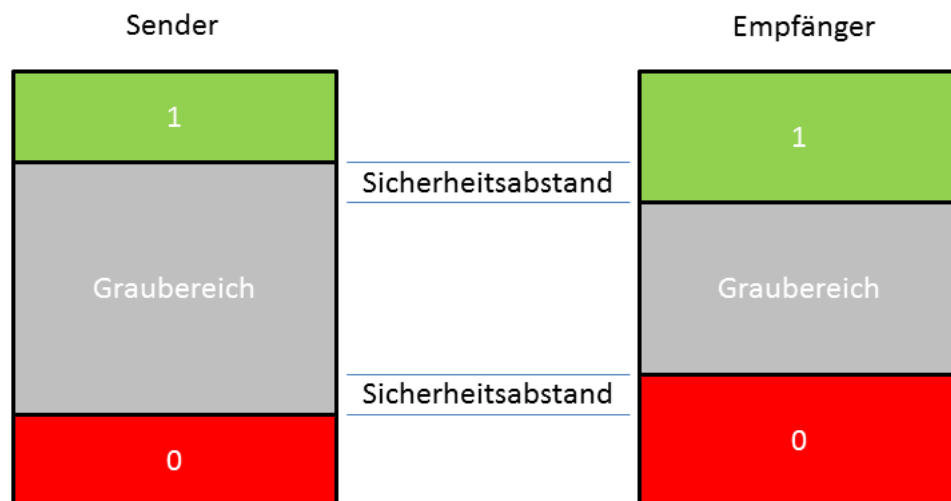


Abbildung 3.1: Wertebereiche für ein versendetes Bit

Der Empfänger muss eine andere Auffassung davon haben, was 0 und 1 ist, als der Sender, damit Information aus beider Sicht höchstwahrscheinlich kopierbar werden kann. Um auf das Kopieren von Dateien zurückzukommen: selbst wenn die Kopie auf derselben magnetischen Festplatte landen sollte, wird das Magnetfeld anders sein, wenn man nur genau genug hinsieht. Beim Schreiben sind die Feldstärken am Schreiblesekopf viel höher als beim Auslesen. Ganz zu Schweigen davon, dass „die vollkommen gleiche Datei“ auf einer DVD vollkommen anders realisiert ist.

Nur durch kulturelle Übereinkunft gelangen wir zu Nachrichten mit definiertem Informationsgehalt. Wie soll Information ein wesentliches Konzept dieser Welt sein, wenn Menschen zu ihrer

Entstehung notwendig sind? Ist Zeilinger noch zu retten?

3.4 Komplexität

Der Hirnforscher Wolf Singer hat das Gehirn mit seinen rund 500 Billionen Verkehrsknotenpunkten als „die komplexeste Materie des Universums“ bezeichnet. Und der Haufe-Verlag legt nach, denn er weiß, dass „Komplexität heißt: viele Elemente und viele Verbindungen“. Damit hat er auch gleich die Ontologie geklärt: alles besteht aus Elementen und Verbindungen. In diesem Abschnitt geht es darum zu zeigen, dass solcherlei Gefasel völliger Quatsch ist.

Um über viel oder wenig reden zu können, braucht man ein *Maß*. Wir brauchen also ein Maß für Komplexität. Tatsächlich gibt es in der Informatik wohldefinierte Komplexitätsmetriken. In der Informationstheorie versteht man unter der Komplexität von Daten bzw. einer Nachricht ihren Informationsgehalt, also die Anzahl der Bits. Es gibt alternative Maße wie die Kolmogorow-Komplexität, die den Informationsgehalt als die Größe (für uns idealerweise wieder in Bits gemessen) des kleinsten Programms definiert, das in der Lage ist, die betrachteten Daten zu erzeugen. Bei unendlicher Laufzeit kann ein solches Programm unendlich komplexe Nachrichten erzeugen. Dagegen betrachtet Algorithmische Tiefe die Zeitkomplexität eines optimalen Algorithmus zur Erzeugung der Daten als Maß für den Informationsgehalt.

Wie wir noch sehen werden, hängt eine Nachricht im physikalischen Kanal, die man zum Beispiel als $\psi(x, t)$ schreiben könnte, nach heutiger Vorstellung praktisch immer von kontinuierlichen Variablen, hier x und t für Position und Zeit, ab. Die Mächtigkeit (oder Kardinalität) dieser Nachrichtenmenge wird in der Mathematik als Kardinalität des Kontinuums $|\mathbb{R}|$ bezeichnet. Vollkommen uneingängig mag erscheinen, dass eine endliche Strecke dieselbe Mächtigkeit besitzt wie eine unendliche Fläche oder ein unendlicher fünfzigmilliardendimensionaler kontinuierlicher Raum, aber genau so ist es. Es ist

$$|\mathbb{R}| = |\mathbb{C}| = |\mathbb{R}^2| = |\mathbb{C}^2| = \dots \quad (3.5)$$

In der Abbildung unten sehen wir die ersten 3 Iteration (rot, grün und gelb) auf dem Weg zur Füllung des dreidimensionalen Raumes durch eine Kurve.

Schon in der Schule kann man lernen, dass die Kardinalität des Kontinuums größer ist als die unendliche Anzahl von Brüchen, ganzen oder natürlichen Zahlen.

$$|\mathbb{R}| > |\mathbb{Q}| = |\mathbb{Z}| = |\mathbb{N}| \quad (3.6)$$

Jegliches Maß, das auf Abzählbarkeit beruht, ist dem Kontinuum nicht angemessen! Hinzu kommt, dass wir auch die psyische Zeit bislang als kontinuierlich angenommen haben. Damit hat jedes Geschehen automatisch die „Verhaltens“-Komplexität des Kontinuums.

Wir halten also fest:

Nach dem bisher Gesagten müssen wir annehmen, dass ein Gehirn genau gleich komplex ist wie ein Stein, und das vollkommen unabhängig von beider Größen. Auch ihr Verhalten müssen wir als gleich komplex ansehen.

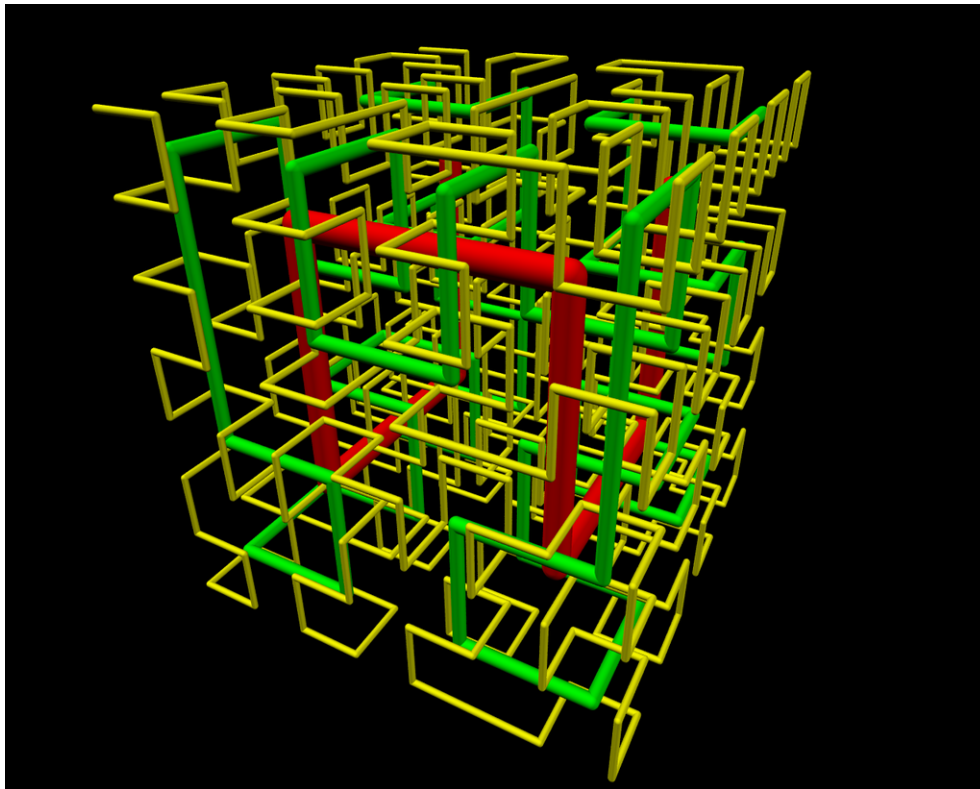


Abbildung 3.2: 3D-Hilbert-Kurven, 1. bis 3. Iteration

Die ungleiche Komplexität entsteht durch reduktionistische Schritte, nach denen wir ein komplexeres Modell des Gehirns, wie wir es uns vorstellen, mit einem einfacheren Modell eines Steines, wie wir ihn uns vorstellen, vergleichen. Die unterschiedlichen Komplexitäten in der Vorstellung entstehen durch unterschiedliche Reduktionsschritte, die wir auf beides anwenden. Der Grund, warum wir das unterschiedlich tun, findet sich im Kapitel über die Schleier.

3.4.1 Umindexierung

Weil wir es noch benötigen werden, kümmern wir uns etwas, das du in dieser Form anderweitig schwer finden dürftest. Eine Funktion ψ ordnet jedem Element x einer Definitionsmenge D genau ein Element y einer Zielmenge Z zu.

$$f: \begin{cases} D \rightarrow Z \\ x \mapsto y(x) \end{cases}$$

Eine *Umindexierung* wollen wir in dieser Schrift eine *raumfüllende Kurve* basierend auf einer *umkehrbaren* Abbildung

$$f: \begin{cases} D \subseteq \mathbb{R} \rightarrow Z \subseteq \mathbb{R}^N \\ \xi \mapsto (x_1(\xi), x_2(\xi), \dots, x_N(\xi)) \end{cases}$$

nennen, die ein zusammenhängendes Intervall in \mathbb{R} auf ein zusammenhängendes Gebiet in \mathbb{R}^N abbildet.

Das Kurvenintegral einer stetigen (skalaren) Funktion ψ ist definiert als

$$\int_C \psi \, ds := \int_a^b \psi(x_1(\xi), \dots, x_N(\xi)) \sqrt{\left(\frac{dx_1(\xi)}{d\xi}\right)^2 + \dots + \left(\frac{dx_N(\xi)}{d\xi}\right)^2} d\xi$$

Wenn $(x_1(\xi), \dots, x_N(\xi))$ eine Umindexierung ist, dann ist das Kurvenintegral nicht definiert, da die $x_i(\xi)$ im umkehrbaren Fall nicht differenzierbar gewählt werden können.

Im Fall $N = 1$ finden wir

$$\int_a^b \psi(\xi) \, d\xi = \int_a^b \psi(x(\xi)) \frac{dx(\xi)}{d\xi} d\xi = \int_{x(a)}^{x(b)} \psi(x) \, dx$$

Nun wollen wir den Ausdruck

$$\int_a^b \psi(\xi) \, d\xi \tag{3.7}$$

als definiert betrachten, wenn es möglich ist, eine Umindexierung $\xi \mapsto (x_1(\xi), \dots, x_N(\xi))$ zu finden, so dass das Intervall $[a, b]$ auf ein integrierbares Gebiet \mathcal{G} abgebildet wird. Sein Wert soll sein

$$\int_{\mathcal{G}} \psi(x_1, \dots, x_N) \, dx_1 \dots dx_N$$

3.5 Gut und Böse

Im letzten Abschnitt haben wir uns mit den Begriffen „Information“ und „Bedeutung“ auseinandergesetzt. Bisher haben wir nur wenige Dinge als seiend anerkannt: Empfindungen, Gefühle, Wille und Bewusstsein. Den Informationsbegriff konnten wir nicht abschließend klären, er scheint etwas mit dem physikalischen Kanal zu tun zu haben, das wir noch nicht verstehen. Am Ende geht es um Veränderung von etwas anerkannt Seiendem, um Veränderung des Bewusstseins, oder um „Bewusstwerden“.

Die Wortsprache verwendet sehr viele Begriffe. Wenn diese nichts mit dem zu tun haben, was wir als seiend aufgezählt haben, dann können sie höchstens aus dem stammen, was wir „physikalischer Kanal“ genannt haben. Wie wir noch sehen werden, tummeln sich im physikalischen Kanal nach heutiger wissenschaftlicher Auffassung ebenfalls nur wenige Dinge. Demnach müssten sich alle Begriffe auf einige wenige zurückführen lassen.

Wiktionary hilft uns nur ein wenig weiter:

gut: vom Menschen her positiv bewertet, empfunden, gefühlt und dergleichen
böse: moralisch falsch, nicht gut; bösartig

Auf deutsch

gut: vom Menschen her gut bewertet, empfunden, gefühlt und dergleichen
böse: moralisch böse, nicht gut; böseartig

sehen wir die Tautologie und gewinnen nur „vom Menschen her“. Menschen haben wir noch nicht als seiend anerkannt, doch wir könnten statt dessen sagen „vom geistigen Seienden (dem Bewusstsein und Willen) her“, und das ist das Einzige, was wir hieraus lernen können.

Glücklicherweise hat Schopenhauer hier etwas klarer gesehen:

Ich will aber zuvörderst jene Begriffe gut und böse, welche von den philosophischen Schriftstellern unserer Tage, höchst wunderlicherweise, als einfache, also keiner Analyse fähige Begriffe behandelt werden, auf ihre eigentliche Bedeutung zurückführen; damit man nicht etwan in einem undeutlichen Wahn befangen bleibe, daß sie mehr enthalten, als wirklich der Fall ist, und an und für sich schon alles hier Nöthige besagten ... Also Alles, was dem Willen in irgend einer seiner Aeüßerungen zusagt, seinen Zweck erfüllt, das wird durch den Begriff gut gedacht, so verschieden es auch im Uebrigen seyn mag. Darum sagen wir gutes Essen, gute Wege, gutes Wetter, gute Waffen, gute Vorbedeutung u.s.w., kurz, nennen alles gut, was gerade so ist, wie wir es eben wollen; daher auch dem Einen gut seyn kann, was dem Andern gerade das Gegentheil davon ist ... Der Begriff des Gegentheils wird, so lange von nichterkennenden Wesen die Rede ist, durch das Wort schlecht, seltener und abstrakter durch Uebel ausgedrückt, welches also alles dem jedesmaligen Streben des Willens nicht Zusagende bezeichnet. Wie alle andern Wesen, die in Beziehung zum Willen treten können, hat man nun auch Menschen, die den gerade gewollten Zwecken günstig, förderlich, befreundet waren, gut genannt, in der selben Bedeutung und immer mit Beibehaltung des Relativen, welches sich z.B. in der Redensart zeigt: »Dieser ist mir gut, dir aber nicht.« Diejenigen aber, deren Charakter es mit sich brachte, überhaupt die fremden Willensbestrebungen als solche nicht zu hindern, vielmehr zu befördern, die also durchgängig hilfreich, wohlwollend, freundlich, wohlthätig waren, sind, wegen dieser Relation ihrer Handlungsweise zum Willen Anderer überhaupt, gute Menschen genannt worden. Den entgegengesetzten Begriff bezeichnet man im Deutschen und seit etwan hundert Jahren auch im Französischen, bei erkennenden Wesen (Thieren und Menschen) durch ein anderes Wort als bei erkenntnißlosen, nämlich durch böse, méchant, während in fast allen andern Sprachen dieser Unterschied nicht Statt findet und kakos, malus, cattivo, bad von Menschen wie von leblosen Dingen gebraucht werden, welche den Zwecken eines bestimmten individuellen Willens entgegen sind.

Gut und böse sind nichts weiter als Synonyme für das, was der Wille will beziehungsweise nicht will. Wenn es verschiedene Willen mit verschiedenen Richtungen gibt, gibt es kein absolut Gutes und kein absolut Böses.

3.6 Sinn

Als sinnvoll wird etwas bezeichnet, was die Wahrscheinlichkeit für die Erreichung eines Ziels, berechnet nach einem Ursache-Wirkungsmodell, erhöht. Mit Ursache und Wirkung müssen wir uns noch genauer beschäftigen. Das Ziel, das heißt gewollte Empfindungen, ist immer irgendwie zufällig. Die Frage nach dem Sinn des Lebens ist die Frage nach einem absoluten Sinn. Einen solchen absoluten Sinn kann es nur geben

- im Solipsismus. Dann ist der Sinn die Erfüllung des *einen* Willens.
- im Nicht-Solipsismus nur, wenn alle Willensrichtungen in Übereinstimmung gebracht werden können.

Den Solipsismus hat diese Schrift bereits ausgeklammert. Bei Existenz mehrerer Bewusstseine hieße die Übereinstimmung derer Willensrichtungen, dass die Ziele aller auch von allen gewollt sind. Etwas schwächer ausgedrückt sollten die Ziele aller von allen mindestens als neutral empfunden werden, nicht jedoch als schlecht. Je mehr Bewusstseine es gibt, desto unwahrscheinlicher wird dieser Fall. Die Wahrscheinlichkeit für einen absoluten Sinn hängt also an der Anzahl der Bewusstseine, und wie wir noch sehen werden, muss die Zahl die Antwort auf eine Glaubensfrage bleiben, so lange es einen physikalischen Kanal zwischen Bewusstseinen gibt. Es gibt jedoch Gründe, an sehr viele Bewusstseine zu glauben, wodurch die Wahrscheinlichkeit dafür, dass des einen Freude des anderen Leid bedeuten würde, gegen 1 ginge. In diesem Fall könnte die Frage nach dem absoluten Sinn des Lebens klar beantwortet werden: es gibt keinen! Man könnte auch sagen: Gott denkt so nicht! Heraklit hat es diese Erkenntnis so ausgedrückt:

Für Gott ist alles schön und gut und recht; nur die Menschen sind der Meinung, das eine sei recht, das andere unrecht.

3.6.1 Theodizee

„Wie kann ein gütiger allmächtiger Gott zulassen, dass so viel Leidvolles in der Welt geschieht?“ Gibt es tatsächlich viele Bewusstseine, deren Willensrichtungen natürlicherweise nicht übereinstimmen bzw. entgegengesetzt sind, so ist diese Fragestellung größenwahnsinnig und egozentrisch. Denn:

- Da „gut“ nur ein weiteres Wort für das ist, was ein Wille will, ist ein gütiger Gott einer, der das will, was der, der die Frage gestellt hat, will.
- „leidvoll“ ist nur ein weiteres Wort für das, was ein Wille nicht will, also für das, was der, der die Frage gestellt hat, nicht will.

Die Frage meint also eigentlich: „Wie kann jemand Allmächtiges, der immer genau das will, was ich will, zulassen, das soviel geschieht, was ich nicht will?“ Oder anders ausgedrückt, da ja jemand, der immer genau das will, was ich will, mit Sicherheit ich selber bin: „Warum eigentlich bin ich nicht selber der allmächtige Gott?“ Diese größenwahnsinnige egozentrische Frage ist die Frage der Theodizee. Willst du nun noch auf diese Frage weiterhin nach einer Antwort suchen?

3.7 Lebendig und Tot

Was ist Leben? Wikipedia meint „Was Leben bzw. ein Lebewesen ist, wird - in der modernen Biologie wie schon bei Aristoteles - nicht über einzelne Eigenschaften, einen bestimmten Zustand oder eine spezifische Stofflichkeit definiert, sondern über eine Menge von Aktivitäten, die zusammengenommen für Leben bzw. Lebewesen charakteristisch und spezifisch sind. Als diese Aktivitäten werden üblicherweise genannt:“

- „Energie- und Stoffwechsel und damit Wechselwirkung mit ihrer Umwelt.“
- „Organisiertheit und Selbstregulation (Homöostase).“
- „Reizbarkeit, das heißt sie sind fähig, auf chemische oder physikalische Änderungen in ihrer Umwelt zu reagieren.“
- „Fortpflanzung, das heißt, sie sind zur Reproduktion fähig. Vererbung, das heißt, sie können Informationen (Erbgut) an ihre Nachkommen übermitteln. Wachstum und damit die Fähigkeit zur Entwicklung.“

Mit der Wikipedia-Definition von Leben dürften die meisten Menschen etwas anfangen können. Es gibt jedoch Kunde von einigen sehr intelligenten Herren, die ganz anderer Auffassung waren:

Heraklit:

Ein und dasselbe ist Lebendiges und Totes und Wachendes und Schlafendes und Junges und Altes; denn dies schlägt um und ist jenes, und jenes wieder schlägt um und ist dies.

Heisenberg:

Im Gebiet der kleinsten Organismen kann ja auch die Frage, ob ein bestimmtes Gebilde ein „lebendes Wesen“ oder ein Stück „toter Materie“ sei, nur durch willkürliche Definitionen beantwortet werden.

Bei diesen kleinsten Lebewesen aber wird die Frage, ob sie aus lebendiger oder toter Materie bestehen, unentscheidbar. Man kann dies so ausdrücken, daß es überhaupt nur lebendige Materie gebe; ...

Gehört die eben aufgenommene Nahrung, die Luft, die eingeatmet wurde, mit zum Körper, oder nicht? Von welchem Zeitpunkt ab sollen sie als Teile des Körpers bezeichnet werden? Gehört das Schneckenhaus mit zum Organismus der Schnecke, das Netz mit zu dem der Spinne? Müsste nicht bis zu einem gewissen Grad auch das Erdreich, in dem die Pflanze wurzelt, mit zu ihrem lebendigen Zusammenhang gerechnet werden?

Und Dürr wird hier noch deutlicher:

Eigentlich gibt es gar nichts Unlebendiges!
 Dass ein Tisch im Grunde auch lebendig ist, bemerken wir nicht, weil wir ihn nur vergrößert betrachten und damit vereinfacht sehen.

Hier machen wir reinen Tisch, sparen uns dabei vernichtende Kritik an der Wikipedia-Definition, welche sehr leicht zu äußern wäre, und benutzen statt dessen die folgende Abgrenzung:

Lebendig ist das Bewusstsein mitsamt all dem, was wir bereits als Seiend und mit jenem im Zusammenhang stehend oder gar in Einheit befindlich erkannt haben: Empfindungen, Gefühle, Wille.

Tot ist alles andere, also der physikalische Kanal, der sich zwischen dem Lebendigen befindet.

Wie dünn oder dick dieser physikalische Kanal ist, wissen wir nicht. Wir werden uns aber noch ausführlich mit ihm befassen.

3.8 Intelligenz

Wikipedia sagt: „Intelligenz ist in der Psychologie ein Sammelbegriff für die kognitive Leistungsfähigkeit des Menschen. Da einzelne kognitive Fähigkeiten unterschiedlich stark ausgeprägt sein können und keine Einigkeit besteht, wie diese zu bestimmen und zu unterscheiden sind, gibt es keine allgemeingültige Definition der Intelligenz. Vielmehr schlagen die verschiedenen Intelligenztheorien unterschiedliche Operationalisierungen des alltagssprachlichen Begriffs vor.“

Wieder können wir mit dieser Definition nichts anfangen, da sie auf dem Begriff Mensch aufbaut, und die Existenz von Menschen zweifeln wir nach wie vor an. Würden wir sie nicht anzweifeln, dann würden wir auch an Affen und Vögel glauben und müssten uns wenigstens fragen, warum diese nicht intelligent sein sollten. Es scheint ja auch nicht möglich zu sein, sich im System des naiven Realismus auf eine Definition zu einigen. Damit soll aber ab dieser Stelle genug der Polemik gegen derartiges Schrifttum sein. Die Botschaft, dass selbst auf Konsens basierenden Ergebnissen eines formalisierten Abstimmungsprozesses nicht zu trauen ist, ist hoffentlich bei dir angekommen. Denke selbst!

Intelligenz misst, wie stark ein Wille die Wahrscheinlichkeit für zukünftigen Schmerz verringern und für zukünftige Lust vergrößern kann aufgrund gespeicherter Information aus vergangenen Empfindungen unter Zuhilfenahme eines Verstandes/Gehirns/Rechenwerks.

In dieser Definition haben wir Rückgriff genommen auf den *Willen*, *Empfindungen*, *Gefühle*, *Information* und die *psychische Zeit*. Wir haben aber zusätzlich postuliert, dass es ein Rechenwerk geben soll, dass aus Informationen Wahrscheinlichkeiten für Empfindungen berechnen kann. Dieses Rechenwerk soll auf einen Speicher zugreifen können, der ein Modell (in psychischer Zeit) vergangener Empfindungen enthält. Auf die Suche danach müssen wir noch gehen, vielleicht finden wir etwas im physikalischen Kanal?

3.8.1 Künstliche Intelligenz gibt es nicht

Um eine künstliche Intelligenz gemäß unserer Definition zu erschaffen, genauer spricht man hierbei von „starker KI“, müssten unter anderem künstlich erschaffen werden

- Wille
- Schmerz und Lust
- Psychische Zeit

Die Schaffung einer starken KI ist nichts anderes als die Schaffung von Geist, und eben aus diesem Grund wird sie niemals gelingen. So gibt Wikipedia zu: „Die Ziele der starken KI sind nach Jahrzehnten der Forschung weiterhin visionär.“ Anders ausgedrückt: es ist nichts dabei herausgekommen.

Natürlich kann es sein, dass bei mehr oder weniger blindem Herumgedoktere an Information und Rechenwerken irgendwann zufällig etwas abfällt, das bereits bekanntem Verhalten verblüffend ähnelt. Es kann sogar sein, dass dieses Etwas mit Geist derart verbunden ist, dass es unsere Definition für Intelligenz erfüllt. Dann wird man gerne glauben, man hätte nicht nur die Verbindung zum Geist, sondern den Geist gleich mit erschaffen.

Kapitel 4

Der physikalische Kanal

Wir sehen uns zunächst eine Aussage Wolfgang Paulis aus einem unpublizierten Aufsatz vom Juni 1948 an.

Gemäß ihrer Definition muss die Physik das Gesetzmäßige in der Natur begrifflich darstellen und hat deshalb ihre Aufmerksamkeit nur auf das Reproduzierbare und auf das quantitativ Messbare zu richten. Als Folge dieser im Wesen der Physik liegenden Beschränkung bleibt nicht nur alles Gefühlsmässige, Wertende und Emotionale ausserhalb ihrer auf der psychologischen Gegenseite, sondern aus dieser Wurzel entspringt auch der statistische Charakter ihrer Aussagen, der insbesondere bei den atomaren Vorgängen auf die Erfassung des Einzelfalles (abgesehen von Spezialfällen) grundsätzlich verzichten muss. Hierbei handelt es sich aber nicht um eine Unvollständigkeit der Quantentheorie innerhalb der Physik, sondern um eine Unvollständigkeit der Physik innerhalb des gesamten Lebens.

Der Physik-Nobelpreisträger des Jahres 1945 liefert uns hier einen Haufen wertvolle Fingerzeige.

Es soll eine Wissenschaft vom Gesetzmäßigen geben. In der Natur sollen demnach gesetzmäßige Vorgänge ablaufen, und die Wissenschaft davon ist die *Physik*. Anstatt Physik könnte man auch ganz allgemein *Naturwissenschaft* sagen, denn die heutige Naturwissenschaft arbeitet generell nach dieser Methode: quantitative Messungen mit anschließender Gewinnung mathematischer Modelle aus den Messergebnissen.

Außerhalb dieser Physik sieht Pauli all das Geistige, dessen Existenz wir zuallererst anerkannt haben. Pauli sagt deutlich, dass dieses Geistige, dieses Psychische, eben nicht gesetzmäßig funktionieren soll. Das ist höchst erstaunlich, denn woher will er das so genau wissen? Ist der Wille „frei“ von Gesetzmäßigkeit? 134 Jahre zuvor noch lehnte sich sein ebenso berühmter Kollege Laplace zusammen mit seinem nach ihm benannten Dämon aus dem Fenster des *Essai philosophique sur les probabilités* und verkündete das Gegenteil: alles in der Natur laufe gesetzmäßig ab.

Schließlich warnt uns Pauli davor zu glauben, mit der gesetzmäßigen Naturbeschreibung sei die Arbeit getan. Nein, wenn die Naturbeschreibung dabei stehen bleibt, dann wird sie immer

unvollständig sein. Die Unvollständigkeit ist von Albert Einstein als Unvollständigkeit der Quantentheorie gesehen worden, ist aber vielmehr eine Unvollständigkeit der Physik, ja der gesamten es ihr gleichtuenden modernen Naturwissenschaft. Anfang des 21. Jahrhunderts müssen wir eigentlich nicht mehr zwischen Quantentheorie und dem Rest der Physik unterscheiden. Kaum ein moderner Physiker dürfte noch daran glauben, dass irgendwelche seiner erprobten physikalischen Gesetze auf etwas anderes wie eine Quantentheorie zurückzuführen seien. Daran ändert die Tatsache, dass es noch keine befriedigende Quantentheorie gibt, die die Gravitation beschreibt, nichts. Es gibt Quantentheorien für den Grenzfall schwacher Gravitation. Es gibt Kandidaten für Quantengravitationstheorien, die sich der experimentellen Überprüfbarkeit noch entziehen. Es gibt Vorschläge für Experimente, die den Quantencharakter der Gravitation zeigen oder widerlegen können, unabhängig von der konkreten Theorie, mit der sie zu beschreiben wäre.

Der physikalische Kanal zwischen den Bewusstseinen ist ein Quantenkanal. Eine große Frage, die uns beschäftigen wird, ist: Wie lang ist er denn, dieser Kanal? Wieviel ist geistig, also lebendig, und wieviel nichtgeistig, also tot? Zunächst müssen wir verstehen, wie der physikalische Kanal aus heutiger Sicht funktioniert...

Noch ein Hinweis: längst nicht alle heutigen Physiker oder Naturwissenschaftler, eher eine Minderheit, werden Pauli darin beipflichten, dass das Geistige außerhalb des Quantengesetzmäßigen zu beschreiben sei. Leute wie Tegmark oder Penrose versuchen sich bisher vergeblich an einer Erklärung des Geistigen aus dem Physikalischen heraus.

4.1 Physikalische Wissenschaft

In der Physik geht es also darum, Erscheinungen vor dem Bewusstsein durch mathematische Gesetze zu beschreiben. Die mathematischen Gesetze liefern am Ende Zahlen. Das Bewusstsein „erkennt“ aus dem Strom der Erscheinungen ebenfalls Zahlen, zum Beispiel kann die Vorstellung von Zahlen aus verschiedenen leuchtenden Pixeln auf einem Computerdisplay entstehen. Die Pixel wiederum können verbunden sein mit einem physikalischen Experiment und zusätzlich mit einem mathematischen Modell des Experiments. Die Zahlen aus dem Experiment werden mit den Zahlen aus dem Modell verglichen. Ein gutes Modell ist eines, dessen Zahlen möglichst dicht bei denen aus dem Experiment liegen.

Fast alle mathematischen Modelle in der Physik sehen so aus:

$$\hat{O}\psi = j \tag{4.1}$$

Dabei sind ψ und j Vektoren aus einem Vektorraum und \hat{O} ein Operator, der jedem Vektor aus dem Vektorraum einen anderen Vektor zuordnet. Diejenigen Vektoren ψ , die die Gleichung (4.1) bei vorgegebener sogenannter „Inhomogenität“ j erfüllen, heißen „Lösungen“. Der Operator \hat{O} bringt Struktur in die ansonsten strukturlose Vektorenwelt, indem er die Lösungsvektoren von den anderen unterscheidet.

Es gibt in der Physik im Wesentlichen eine Ausnahme. Eine Gleichung hat die Form einer

Ungleichung

$$\hat{O}\psi \geq 0 \quad (4.2)$$

Dabei handelt es sich um den 2. Hauptsatz der Thermodynamik, der aus der Anschauung im 19. Jahrhundert gewonnen wurde. Seit dieser Zeit steht dieses Gesetz als Fundament der physikalischen Theorien neben Gleichungen der Form (4.1) und lässt sich nicht aus diesen herleiten, es sei denn man greift auf spezielle kosmische Anfangsbedingungen zurück, das heißt auf die Annahme, das Weltall habe zum Anfang einer „gemeinsamen Zeit“ sehr niedrige Entropie gehabt. Diese Seltsamkeit in der Physik wird uns noch beschäftigen.

Fundamentale Gleichungen der Form (4.1) finden wir in der klassischen Physik und in der Quantentheorie. (4.2) findet sich bisher nur in der klassischen Physik auf der Grundlage einer gemeinsamen absoluten Zeit.

4.2 Linearität

Physiker beschäftigen sich gerne mit Modellen, in denen der Operator \hat{O} linear ist, das heißt es gilt

$$\hat{O}(\psi_1 + \psi_2) = \hat{O}\psi_1 + \hat{O}\psi_2 \quad \hat{O}a\psi = a\hat{O}\psi \quad (4.3)$$

wobei a ein Skalar aus dem zugrundeliegenden Körper ist und alle ψ beliebige Vektoren aus dem Vektorraum über diesem Körper. Dafür gibt es 2 Gründe:

- Nichtlineare Gleichungen sind in der Regel verdammt schwierig zu lösen. Es bleiben meist nur numerische Verfahren und die erfordern sehr schnell sehr leistungsfähige Computer.
- Mit linearen Gleichungen lässt sich ein weites Feld beackern.

Es ist also mehr als verständlich, dass zunächst die linearen Äcker bestellt wurden.

In der klassischen Mechanik zum Beispiel sind die Kräfte nichtlinear, wenn man nur genau genug hinsieht. Lineare Kräfte sind eine Näherung für Teile in einer Gleichgewichtslage. Im Beispiel unten wird die Bewegung nahe der Gleichgewichtslage durch die rote Näherung zur Bewegung in einem harmonischen Potential mit seinem *linearen* Weg-Kraft-Gesetz vereinfacht. Zu meiner Studienzeit hieß es überspitzt: „Das Einzige, was die Physiker rechnen können, sind harmonische Oszillatoren.“

Das rote Potential entspricht einem linearen Kraft-Weg-Gesetz $F(u) = \frac{\partial V}{\partial u} = \frac{72V_0}{u_0^2}(u-u_0)$, während das realistischere blaue Potential für ein nichtlineares Kraft-Weg-Gesetz steht $F(u) = 12V_0[(\frac{u_0}{u})^{11} - (\frac{u_0}{u})^5]$.

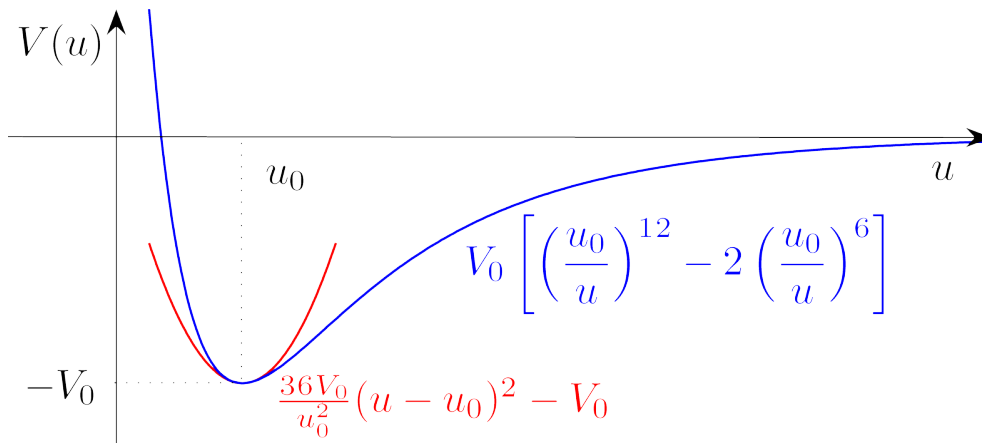


Abbildung 4.1: Lineare, sogenannte harmonische Näherung (rot) am Gleichgewichtspunkt

4.2.1 Beispiel Schwingungen

Betrachten wir eine eindimensionale Bewegung $x = x(t)$, die einer Schwingungsgleichung mit einer Dämpfungskonstante d und einer Federkonstante k genügt:

$$x(t) = x_0 e^{-\frac{d}{2m}t} \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m} - \frac{d^2}{4m}}t + \varphi_0\right)$$

Die zugehörige lineare Differentialgleichung ist

$$m\ddot{x} + d\dot{x} + kx = 0$$

x_0 und φ_0 werden durch die Anfangsbedingungen festgelegt. Danach ist die Lösung, die Bewegung $x = x(t)$, eindeutig. Wenn wir eine Lösung $x_1(t)$ gefunden haben und eine zweite Lösung $x_2(t)$, dann sind auch alle Linearkombinationen $c_1x_1(t) + c_2x_2(t)$ Lösungen.

Diese Wirkung der Linearität entfaltet sich auch bei mehrdimensionalen linearen Gleichungssystemen. Hier haben wir ein System aus 2 Gleichungen, das über lineare Terme in den Koordinaten gekoppelt ist:

$$m_1\ddot{x}_1 + d_1\dot{x}_1 + k_1x_1 + l_1x_2 = 0 \quad m_2\ddot{x}_2 + d_2\dot{x}_2 + k_2x_2 + l_2x_1 = 0$$

Wir können 2 Abkürzungen einführen

$$\psi := \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{pmatrix} \quad \hat{O} := \begin{pmatrix} m_1 \frac{\partial^2}{\partial t^2} + d_1 \frac{\partial}{\partial t} + k_1 & l_1 \\ l_2 & m_2 \frac{\partial^2}{\partial t^2} + d_2 \frac{\partial}{\partial t} + k_2 \end{pmatrix}$$

Damit lässt sich das Gleichungssystem schreiben als

$$\hat{O}\psi = 0$$

mit einem linearen Operator \hat{O} .

Wir können das mit beliebig vielen Koordinaten weitertreiben. Schwingungen in Festkörpern könnten damit modelliert werden. So lange die Gleichungen linear sind, können wir beliebige Lösungen überlagern.

Stellen wir uns vor, unser Verstand sein kein Verstand aus Massenpunkten wie eine Rechenmaschine, sondern er würde mit linearen Schwingungen arbeiten, vielleicht würden wir sie Gehirnwellen nennen. Dann könnten wir in unserem Verstand mehrere Denkvorgänge überlagern. Die Denkvorgänge würden sich gegenseitig nicht beeinflussen, ja mehr noch, es wäre innerhalb eines Denkvorgangs gar nicht möglich festzustellen, dass parallel dazu noch weitere laufen! Wer wollte solch ein Gehirn haben?

4.2.2 Beispiel klassische Elektrodynamik

Die 8 Bewegungsgleichungen der Felder E und B der klassischen Elektrodynamik sind linear. Materie wird durch Inhomogenitäten in's Spiel gebracht: als Ladungsdichte ρ und als Stromdichte j .

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Zum Beispiel mit diesen Definitionen

$$\hat{O} := \begin{pmatrix} 0 & \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} \\ 0 & 0 & -\mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & 0 & -\frac{\partial}{\partial x} \\ 0 & 0 & 0 & -\mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} & 0 & -\frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & 0 & -\frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial t} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial z} & 0 & -\frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial t} & 0 \\ 0 & -\frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial t} \end{pmatrix}$$

$$\psi := \begin{pmatrix} 0 \\ E_x(\vec{r}, t) \\ E_y(\vec{r}, t) \\ E_z(\vec{r}, t) \\ 0 \\ B_x(\vec{r}, t) \\ B_y(\vec{r}, t) \\ B_z(\vec{r}, t) \end{pmatrix} \quad j := \begin{pmatrix} \frac{1}{\varepsilon_0} \rho(\vec{r}, t) \\ \mu_0 j_x(\vec{r}, t) \\ \mu_0 j_y(\vec{r}, t) \\ \mu_0 j_z(\vec{r}, t) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

lassen sich die Maxwell-Gleichungen ganz schnell auf die Form $\hat{O}\psi = j$ bringen. In der Literatur findet man normalerweise andere Zusammenfassungen der Feldgrößen. E- und B-Felder transformieren sich bei Poincaré-Transformationen, als seien sie Teile eines asymmetrischen Vierertensor zweiter Stufe. Man definiert 2 Viererfeldstärketensoren und die Lichtgeschwindigkeit c

$$F := \begin{pmatrix} 0 & -E_x/c & -E_y/c & -E_z/c \\ E_x/c & 0 & -B_z & B_y \\ E_y/c & B_z & 0 & -B_x \\ E_z/c & -B_y & B_x & 0 \end{pmatrix} \quad F^* := \begin{pmatrix} 0 & -B_x & -B_y & -B_z \\ B_x & 0 & E_z/c & -E_y/c \\ B_y & -E_z/c & 0 & E_x/c \\ B_z & E_y/c & -E_x/c & 0 \end{pmatrix} \quad c := \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$$

und wir können durch die Definitionen

$$\hat{O} := \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial t} & -\frac{\partial}{\partial x} & -\frac{\partial}{\partial y} & -\frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial t} & -\frac{\partial}{\partial x} & -\frac{\partial}{\partial y} & -\frac{\partial}{\partial z} \end{pmatrix} \quad \psi := \begin{pmatrix} F & 0 \\ 0 & F^* \end{pmatrix}$$

sowie einer passenden Definition für j die 8 Gleichungen wieder auf die Form $\hat{O}\psi = j$ bringen.

Doch was ist nun die Botschaft?

So lange die Ladungs- und Stromdichten von außen aufgeprägt sind, überlagern sich die Lösungen unabhängig voneinander. Wenn ein Stern Licht in's All aussendet, dann kann man ihn als vorgegebene Ladungs- und Stromdichten auf dem Rand (= Sternoberfläche und All im Unendlichen) eines Gebietes (= All ohne Stern) modellieren: j_1 . Bezeichnen wir die Lösung der Maxwell-Gleichungen, die sich daraus ergibt, mit ψ_1 . Ein zweiter Stern j_2 soll dagegen zur Lösung ψ_2 führen. Wenn wir das Licht in einem Teleskop auffangen, dann „sehen“ wir: 2 Sterne. Wir sehen $\hat{O}\psi = j = j_1 + j_2 = \hat{O}\psi_1 + \hat{O}\psi_2 = \hat{O}(\psi_1 + \psi_2)$. Wären die Maxwell-Gleichungen nichtlinear, dann würden wir vielleicht 4 statt 2 Bildpunkte sehen. Wir könnten eventuell immer noch mit Hilfe unserer Mathematik darauf schließen, dass 2 Sterne da sein müssen. Eventuell hätte sich unsere „Wahr“nehmung im Lauf der Evolution darauf eingestellt, und wir würden wie selbstverständlich in 4 Bildpunkten sofort und ohne Umwege 2 Sterne erkennen. Bei hoher Intensität der Strahlung wird sich wahrscheinlich chaotisches Verhalten (siehe unten) einstellen. Unsere Mathematik und unsere „Wahr“nehmung würden versagen beim Versuch, im empfangenen Licht etwas anderes zu erkennen als das empfangene Licht. Wäre das chaotische Verhalten das Normalverhalten, dann wären bislang nur ein paar Verrückte zur Ansicht gelangt, dass der Himmel mit einzelnen Sternen bevölkert sei.

4.3 Nichtlinearität

Ist der Operator \hat{O} nichtlinear, dann können wir nicht mehr aus 2 bekannten Lösungen durch Linearkombination weitere Lösungen konstruieren. Oder anders herum ausgedrückt: wenn wir eine Lösung ψ kennen, sind wir nicht in der Lage dazu, sie zu zerteilen in andere Lösungen. Die Teilbarkeit der Welt geht durch Nichtlinearität verloren. **Nichtlinearität erzwingt Ganzheit.** Jede Lösung kann ganz neue unbekannte Qualitäten offenbaren.

Mit nichtlinearen Modellen beschäftigt sich die Chaostheorie. In den 1980er Jahren gab es dafür ein breiteres öffentliches Interesse. Einige Forscher meinten, sie könnten die „Entstehung“ von Leben auf diese Weise „erklären“.

4.3.1 Maße für Chaos

Für bestimmte mathematische Modelle sind Maße definiert, mit deren Hilfe man eine Grenze zwischen chaotischem und langweiligen Verhalten ziehen kann. Zum Beispiel für Modelle der Form

$$\hat{O}\psi(t) = (\hat{H} - \hat{E})\psi(t) = 0 \quad (4.4)$$

in denen \hat{H} ein nichtlinearer Operator ist und \hat{E} der lineare Differentialoperator d/dt . ψ ist eine Funktion von t oder eine $n \cdot 1$ Matrix aus Funktionen von t . Mit 0 ist also die Zahl Null gemeint beziehungsweise eine $n \cdot 1$ Matrix aus lauter Nullen.

Hinter dem Parameter t steckt die Vorstellung einer objektivierbaren Zeit. In der ganzen vor-relativistischen Physik tut man so, als würden alle psychischen Zeiten immer synchron gehen, wodurch es überhaupt nur eine einzige Zeit gebe, eben *die Zeit*. Dadurch ist sie im Modell

objektiv geworden, unabhängig vom Subjekt. Dieses Modell ist fast immer ausreichend zur Bewältigung des menschlichen Alltags. Der eine Parameter t parametrisiert alle Komponenten von ψ und *bestimmt* sozusagen ein Geschehen in der Zeit.

Ljapunov-Exponenten

Der Weg zur Definition von Ljapunov-Exponenten führt über die lineare Variationsgleichung. Sei $\hat{J} = \partial \hat{H} / \partial \psi$ die Funktionalmatrix (Jacobi-Matrix) von \hat{H} an der Stelle $\psi(t)$. Dann ist die Variationsgleichung

$$(\hat{J} - \hat{E})\phi(t) = 0$$

linear und $\phi(t)$ ein Vektor im Tangentialraum am Punkt $\psi(t)$. Die Lösung der Variationsgleichung kann formal geschrieben werden als

$$\phi(t_1) = \hat{T}(t_1, t)\phi(t)$$

wodurch wir den Zeitentwicklungsoperator \hat{T} eingeführt haben, der uns einen Lösungsvektor der Variationsgleichung zur Zeit t weitertransportiert zur Zeit t_1 .

Der eindimensionale Ljapunov-Exponent ist definiert durch

$$\lambda(e) := \lim_{t_1 \rightarrow \infty} \frac{1}{t_1 - t} \ln |\hat{T}(t_1, t)e| \quad (4.5)$$

wobei e ein Einheitsvektor aus dem Tangentialraum ist. Der Ljapunow-Exponent ist also abhängig von der Richtung im Tangentialraum. Er drückt aus, „wie exponentiell“ benachbarte Punkte mit der Zeit in einer bestimmten Richtung auseinanderstreben. **Das Verhalten am Punkt $\psi(t)$ heißt *chaotisch*, wenn dort in wenigstens einer Richtung $\lambda > 0$ ist.**

In der Verallgemeinerung lassen sich j -dimensionale ($n \geq j > 1$) Ljapunow-Exponenten definieren, die ausdrücken, wie stark ein j -dimensionales Volumenelement „explodiert“.

Autokorrelationsfunktionen

Für chaotische Systeme zerfallen die Autokorrelationsfunktionen. Aufgrund dieses Wissens kann man auch Autokorrelationsfunktionen statt Ljapunow-Exponenten berechnen, um zu entscheiden, ob Chaos vorliegt oder nicht.

Die symmetrische Autokorrelationsfunktion einer zeitabhängigen Funktion $\psi(t)$ ist definiert durch

$$C_{\psi\psi}(\tau) = \lim_{t_1 \rightarrow \infty} \frac{1}{2t_1} \int_{-t_1}^{t_1} \psi(t)\psi(t+\tau)dt \quad (4.6)$$

Im Gegensatz zu unserer Definition von Ljapunow-Exponenten haben wir hier nur eine für ψ als $1 \cdot 1$ Matrix, doch das soll uns im weiteren Verlauf genügen.

Für chaotisches Verhalten gilt nun

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} C_{\psi\psi}(\tau) = 0 \quad (4.7)$$

d.h. die Funktion $\psi(t)$ hat mit zunehmender Zeitdistanz „nichts mehr mit sich selbst zu tun“.

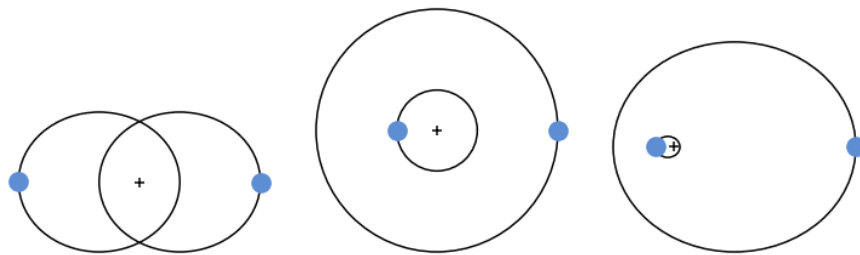
Ist $\psi(t)$ eine periodische Funktion, dann ist die Autokorrelationsfunktion ebenfalls periodisch und damit liegt per Definition kein Chaos vor.

4.3.2 Beispiel 3-Körperproblem

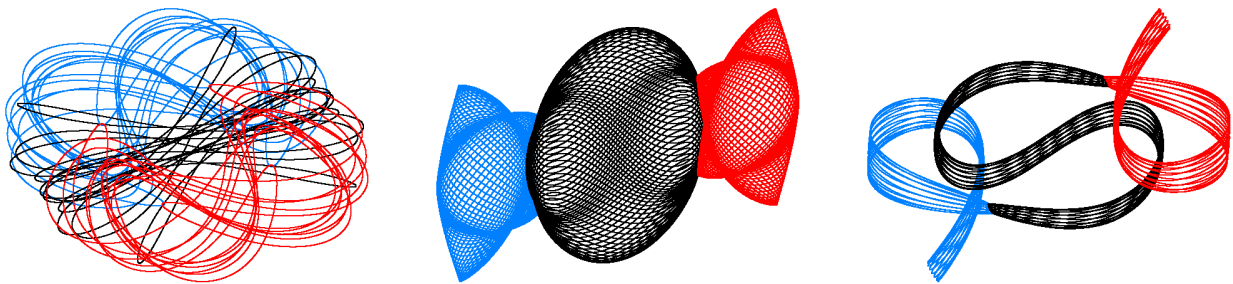
Das 2-Körperproblem (denke zum Beispiel an Erde und Sonne) der Himmelsmechanik enthält im Modell der Newtonschen Mechanik ein $1/r$ -Potential.

$$V = -\frac{Gm_1m_2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|}$$

Trotz des daraus resultierenden nichtlinearen Weg-Kraft-Gesetzes sind die Lösungen der Bewegungsgleichungen handzahn und lassen sich analytisch finden.



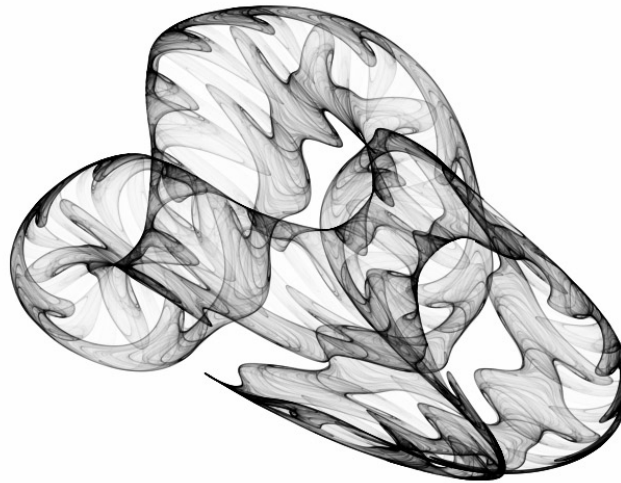
Ganz anders das 3-Körperproblem (z.B. Mars und Erde und Sonne). Die nichtlinearen Kräfte sorgen dafür, dass eine überraschende Lebendigkeit entsteht. Die folgende Abbildung zeigt nur 3 Beispiele für vollkommen unterschiedliche Bewegungen von 3-Körpersystemen im Ortsraum.



4.3.3 Beispiel Pickover

Bereits einfache nichtlineare Differentialgleichungen mit wenigen Variablen können zu erstaunlichem Verhalten führen. Das Bild zeigt einen Attraktor, also die Bewegung im Phasenraum, die sich für $t \rightarrow \infty$ zwangsläufig einstellt. Dieses Beispiel aus Chaosscope kommt mit 3 Koordinaten aus.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \sin ay - z \cos bx \\ \dot{y} &= z \sin cx - \cos dy \\ \dot{z} &= \sin x\end{aligned}$$



4.4 Lineare gegen nichtlineare Naturbeschreibung

Lineare Modelle durchziehen unseren ganzen Alltag, sie sind uns die Allerliebsten, denn nicht-lineare Modelle für den Alltag wären viel zu anstrengend. Wenn wir ehrlich sind, müssen wir allerdings eingestehen, dass die Lösungen linearer Gleichungen höchst langweilig aussehen und zur Beschreibung von Verhalten, für das wir den Begriff „lebendig“ verwenden würden, ganz und gar nicht geeignet erscheinen. Wenn überhaupt sich „Leben“ mathematisch modellieren ließe, dann sollten dafür doch wenigstens nichtlineare Modelle hergenommen werden, oder nicht?

Wenn nun einzelne Lebewesen sich in bestimmten Aspekten wie nichtlineare mathematische Gleichungen verhalten, werden die Beziehungen der Lebewesen untereinander oder mit ihrer Umwelt linear sein? Wohl kaum! **Wir sind nun bereits an einem Punkt angekommen, wo wir zu glauben geneigt sind, dass die Natur als untrennbares Ganzes aufzufassen ist, das bedeutende Qualitäten verlieren würde, wenn wir es in Teile teilen würden.**

Andererseits müssen wir in unserem Denken immer teilen und dramatisch vereinfachen, denn alles andere würde unseren Verstand heillos überfordern.

4.5 Quantenmechanik

Diese Schrift ist kein Lehrbuch der Quantenmechanik. Wenn du hier etwas nicht verstehst, dann musst du dein Wissen von woanders beziehen. Das Internet ist voll mit Einführungen in die Quantenmechanik, und es gibt Lehrbücher zuhauf.

Wir müssen allerdings mit einigen falschen Vorstellungen über diese Theorie aufräumen, die von Halbverstehern verbreitet werden.

4.5.1 Zur Statik der Quantenmechanik

Wovon handelt die Quantenmechanik? Die Quantenmechanik handelt von mathematischen Dingen. Die Quantenmechanik handelt *nicht* von Teilchen, Wellen, Orten, Impulsen, Zeiten

oder Energien.

Die Quantenmechanik handelt von Vektoren in einem Hilbert-Raum. *Diese mathematischen Objekte haben zunächst keine Bedeutung*, man spricht von „abstrakten“ Hilbert-Raum-Vektoren. Diese Bedeutungslosigkeit der Mathematik, so lange ein Empfänger noch fehlt, ist *keine spezifische Eigenschaft der Quantenmechanik*. Vielmehr zieht sie sich durch die gesamte Physik (im Anhang findet sich ein Beispiel aus der theoretischen Mechanik).

Die Anzahl der linear unabhängigen Vektoren, die man braucht, um jeden anderen Vektor als Linearkombination der ersteren darstellen können, ist die Mächtigkeit des Hilbert-Raums. Außer in ganz einfachen Modellen ist diese Anzahl immer von der Mächtigkeit $|\mathbb{R}|$, also der des Kontinuums. Eine solche Menge linear unabhängiger Vektoren heißt *Basis*. Die Anzahl der verschiedenen Basen ist auch in ganz einfachen Modellen immer von der Mächtigkeit $|\mathbb{R}|$. Alle diese Basen sind *vollkommen gleichwertig*, unser Hilbert-Raum ist vollkommen strukturlos, die Auswahl einer Basis erfolgt rein subjektiv.

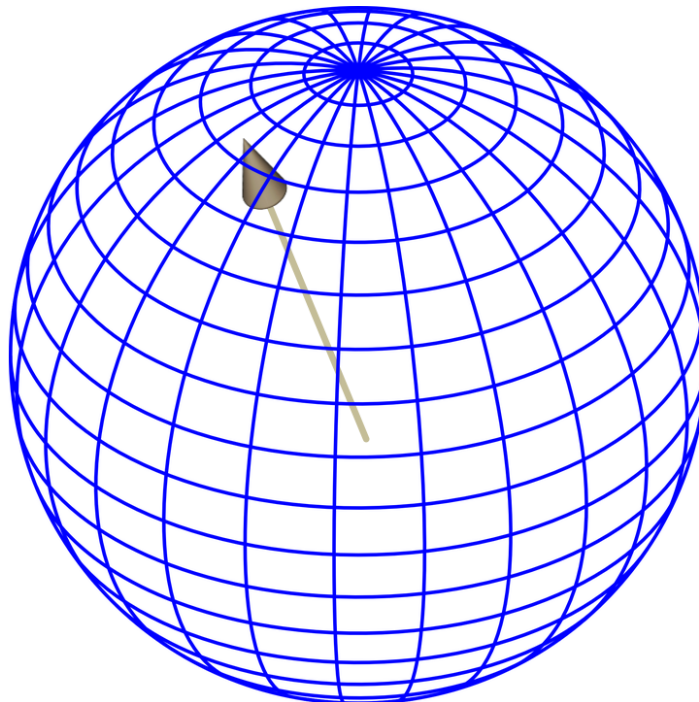
In diesem Raum wirken *ausschließlich lineare* Operatoren, die Vektoren auf andere Vektoren abbilden. Ist eine Basis $\{|\phi_i\rangle\}$ gewählt, so lässt sich jeder dieser Operatoren in der Form

$$\hat{O} = \sum_{ij} c_{ij} |\phi_i\rangle \langle \phi_j| \quad c \in \mathbb{C}.$$

ausdrücken. Außer in ganz einfachen Modellen gibt es immer auch kontinuierliche Indizes, und statt der Summe bekommen wir ein Integral.

Der Zustand der gesamten physikalischen Welt wird durch einen einzigen Zustandsvektor $|W\rangle$ beschrieben, der die Länge 1 hat. Wenn der Zustandsvektor seine Richtung ändert, dann geschieht etwas. Die ganze Reichhaltigkeit der Welt entsteht durch die unendliche Mächtigkeit des Raumes, in dem der Zustandsvektor seine Richtung ändern kann.

Die Welt, in der du lebst, sieht quasi immer so aus, nur mit unendlich mehr Dimensionen, in die der Zustandsvektor zeigen kann:



Eine Klarstellung muss hier noch erfolgen.

Die Gesamtwelt kann **nicht durch einen Dichteoperator** beschrieben werden, sondern immer nur durch einen Vektor, der im Bereich der Quantenstatistik auch „reiner Zustand“ genannt wird. Wäre sie jemals in einem „gemischten Zustand“, also würde sie durch einen Dichteoperator beschrieben werden müssen, so würde die erste Messung eines nicht-entarteten Eigenwertes mittels eines Prozesses des Typs 1 - worum es gleich noch gehen wird - den Dichteoperator in einen Vektor verwandeln, der fortan ein Vektor bleiben müsste.

Basis-Ambivalenz und Superposition

Man kann leicht populären Quatsch wie diesen finden:

„Trotz der Herausforderungen gelingt es Physikern immer größere physikalische Systeme zu kontrollieren. So fangen sie beispielsweise einzelne Atome oder kleine Moleküle in einer Falle aus Lichtstrahlen ein und bringen diese in einen Überlagerungszustand.“

Wir wissen ja bereits, dass die Quantenphysik nicht von Atomen oder Molekülen handelt. Was aber ganz wichtig ist, ist die Basis-Ambivalenz zu verinnerlichen. Wikipedia hilft diesmal weiter und stellt klar:

Es gibt keinen prinzipiellen Unterschied zwischen den Eigenschaften, Superpositionszustand oder Basis- oder Eigenzustand zu sein: Jeder Zustand eines Systems kann als Basiszustand einer geeignet gewählten Basis betrachtet werden, aber auch als Superpositionszustand von den Basisvektoren einer anderen Basis. Jeder Zustand kann mit jedem anderen Zustand desselben Systems überlagert werden, und jeder Zustand kann als Überlagerung anderer Zustände dargestellt werden. Zustände, die als Superposition definiert wurden, sind also auch reine Zustände im obigen Sinn.

Erst **nachdem** wir uns willkürlich für eine Basis entschieden haben, dürfen wir die Vektoren in überlagerte und nicht überlagerte scheiden, und dieser Scheid existiert nur im Zusammenhang mit einer gewählten Basis.

Wenn wir über eine Wellenfunktion

$$\psi(x, t) = \langle x, t | \psi \rangle$$

reden, so reden wir über die Komponenten eines abstrakten Vektors ψ in einer willkürlich gewählten Basis, deren Basisvektoren wir mit Hilfe von x und t durchnummeriert haben. Diese Komponenten können also für sich keine „Existenz“ haben, da sie erst durch unsere willkürliche Wahl bestimmt wurden.

Der Produktraum

Die Summe zweier Teile ist ihr Produkt, so könnte man es überspitzt formulieren. Die Vereinigung zweier vormals unabhängiger Weltteile zu einem Gesamten läuft in der Quantenmechanik vollkommen anders, als wir es vom Alltag her gewohnt sind, und ist einer der wichtigsten Schlüssel zum Verständnis des physikalischen Kanals.

Wir stellen uns zwei Hamilton-Systeme (1) und (2) aus der klassischen Mechanik vor. Das könnten zum Beispiel 2 Federpendel sein, die beide in der x-y-Ebene schwingen können, aber nicht in z-Richtung. Hamilton-System heißt, dass wir es mit einer Differentialgleichung 2. Ordnung in einer gemeinsamen, als objektiv betrachteten Zeit t zu tun haben. Um den Zustand eines solchen Dings festzulegen, müssen außer den Größen in der Differentialgleichung auch noch ihre Ableitungen bekannt sein. Der Zustand des ersten Systems kann beschrieben werden durch

$$\psi^{(1)}(t) = \begin{pmatrix} x^{(1)}(t) \\ \dot{x}^{(1)}(t) \\ y^{(1)}(t) \\ \dot{y}^{(1)}(t) \end{pmatrix}$$

und der des zweiten Systems durch

$$\psi^{(2)}(t) = \begin{pmatrix} x^{(2)}(t) \\ \dot{x}^{(2)}(t) \\ y^{(2)}(t) \\ \dot{y}^{(2)}(t) \end{pmatrix}$$

Der Punkt bedeutet die Ableitung nach der Zeit $\frac{d}{dt}$. Diese beiden Teile wollen wir zu einem Ganzen zusammenfügen, ohne dass es eine Wechselwirkung zwischen den Teilen geben soll. Der Zustand des Ganzen wird durch die Einzelzustände festgelegt und kann beschrieben werden durch

$$\psi(t) = \begin{pmatrix} x^{(1)}(t) \\ \dot{x}^{(1)}(t) \\ y^{(1)}(t) \\ \dot{y}^{(1)}(t) \\ x^{(2)}(t) \\ \dot{x}^{(2)}(t) \\ y^{(2)}(t) \\ \dot{y}^{(2)}(t) \end{pmatrix} \quad (4.8)$$

Es ist überhaupt nichts Aufregendes geschehen. Die beiden Federpendel bewegen sich so wie vorher, da wir noch keine Kraft zwischen ihnen zugelassen haben. Wenn wir eine Kraft zulassen würden, zum Beispiel durch eine Feder, mit der wir sie koppeln, dann würden sie sich zwar anders bewegen. Aber der Gesamtzustand wäre nach wie vor durch eine Größe der Art 4.8 festgelegt.

Diese Art, Teile zusammenzusetzen, funktioniert in unserem Alltagsleben hervorragend und bestimmt unser ganzes Denken.

Um etwas möglichst Vergleichbares aus der Quantenmechanik zu haben, denken wir uns unsere Teilsysteme durch 3-komponentige Spinoren der nicht-relativistischen Quantenmechanik beschrieben, das heißt es gibt wieder eine als objektiv betrachtete Zeit t . Die Zustände der beiden Systeme können beschrieben werden durch ihre Komponenten in einer jeweils willkürlich gewählten Basis

$$\psi^{(1)}(t) = \begin{pmatrix} c_1^{(1)}(t) \\ c_2^{(1)}(t) \\ c_3^{(1)}(t) \end{pmatrix} \quad \psi^{(2)}(t) = \begin{pmatrix} c_1^{(2)}(t) \\ c_2^{(2)}(t) \\ c_3^{(2)}(t) \end{pmatrix}$$

Wieder wollen wir die beiden Teile zu einem Ganzen zusammenfügen. Wieder soll dies *wechselwirkungsfrei* geschehen, das heißt, dass die Teile *eigentlich* nichts voneinander wissen sollen. Der Zustand des Ganzen kann beschrieben werden durch

$$\psi(t) = \begin{pmatrix} c_{11}(t) & c_{12}(t) & c_{13}(t) \\ c_{21}(t) & c_{22}(t) & c_{23}(t) \\ c_{31}(t) & c_{32}(t) & c_{33}(t) \end{pmatrix} \quad (4.9)$$

und wir brauchen nun 9 Funktionen, nicht 6. Damit ist klar, dass beim Zusammenfügen der Teile etwas entstanden sein muss, das mehr ist als die Summe der Teile. Um dies deutlich einzusehen, gehen wir zurück in die abstrakte Schreibweise. Seien $\{\varphi_i^{(1)}\}$ und $\{\varphi_i^{(2)}\}$ Basen der beiden Teilräume mit der Mächtigkeit n_1 bzw. n_2 . Dann lässt sich jeder Vektor des Gesamttraums darstellen als

$$|\psi\rangle = \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} c_{ij} |\varphi_i^{(1)}\rangle |\varphi_j^{(2)}\rangle$$

Wir können nun eine neue Basis $\{|\chi_i\rangle\}$ der Mächtigkeit $n = n_1 n_2$ durch Umindexieren definieren

$$\begin{aligned} |\varphi_1^{(1)}\rangle |\varphi_1^{(2)}\rangle &:= |\chi_1\rangle & c_{11} &:= d_1 \\ |\varphi_1^{(1)}\rangle |\varphi_2^{(2)}\rangle &:= |\chi_2\rangle & c_{12} &:= d_2 \\ &\vdots & &\vdots \\ |\varphi_{n_1}^{(1)}\rangle |\varphi_{n_2}^{(2)}\rangle &:= |\chi_n\rangle & c_{n_1 n_2} &:= d_n \end{aligned}$$

wodurch sich ein Vektor im Produktraum wieder „ganz normal“ schreiben lässt als

$$|\psi\rangle = \sum_{i=1}^n d_i |\chi_i\rangle$$

Aber statt ihn nach einer Basis zu entwickeln, der man noch die ursprünglichen Teile ansehen kann, können wir eine ganz andere Basis wählen, aus denen die ursprünglichen Teile nicht mehr hervorgehen, *statt dessen aber andere Teile*. Das ist jetzt wiederum nichts speziell Quantenmechanisches. Das verbreitetste Beispiel aus der klassischen Physik ist das Zweikörperproblem, bei dem man zur Lösung üblicherweise auf eine andere Basis wechselt, nämlich auf Schwerpunkt- und Relativkoordinaten.

Wir sind hier jedenfalls zum zweiten Mal an einem Punkt angekommen, der uns zeigen will, dass **die Natur als Ganzes aufzufassen sei, das bedeutende Qualitäten verlieren würde, wenn wir es in Teile teilen würden.**

Das Umindexieren ist eine bijektive unstetige Abbildung in dem Sinn, dass es nicht möglich ist, so umzuindexieren, dass benachbarte Produktraumindizes immer zu benachbarten Elementen der Matrix 4.9 gehören.

Bei kontinuierlichen Indizes, stellen wir uns x und y in der Bedeutung als Koordinaten im zweidimensionalen Raum vor und abstrakt gleichzeitig als kontinuierliche Indizes von Basisvektoren der beiden Teilräume, ist es genauso möglich auf einen einzigen Index umzuindexieren (zum Beispiel über eine Hilbert-Kurve). Nennen wir den Index im Produktraum ξ . Die Abbildung kann bijektiv sein, ist dann aber wie im diskreten Fall nicht stetig. Im Gegensatz zum diskreten Fall ändert sich die Mächtigkeit der Räume aber nicht, es bleibt immer bei der Mächtigkeit des Kontinuums. Das ist wenigstens als **merkwürdig** zu bezeichnen! Fast könnte man meinen, die Natur

winkt uns hier bereits von der Planck-Skala her zu, um uns zu warnen: „Seid ihr euch sicher mit eurem Raumzeit-Kontinuum?“

Durch die Unstetigkeit der Abbildung entspricht einer kontinuierlichen Bewegung in der Fläche ein wildes Gehüpfe im Produktindex ξ . Oder anders ausgedrückt kann mit einem wilden Gehüpfe in einem Index wahrscheinlich der Eindruck einer kontinuierlichen Bewegung in einer Raumzeit simuliert werden. Auch das ist **merkwürdig** im Wortsinn, dass du es dir merken solltest.

Teilungs-Ambivalenz und Verschränkung

Man kann leicht populären Quatsch wie diesen finden:

„Von Verschränkung spricht man in der Quantenphysik, wenn ein zusammengesetztes physikalisches System, z. B. ein System mit mehreren Teilchen, als Ganzes betrachtet einen wohldefinierten Zustand einnimmt, ohne dass man auch jedem der Teilsysteme einen eigenen wohldefinierten Zustand zuordnen kann.“

Wir wissen ja bereits, dass die Quantenphysik nicht von Teilchen handelt. Was aber ganz wichtig ist, ist die Teilungs-Ambivalenz und damit die Subjektivität von Verschränkung zu verinnerlichen. Wikipedia hilft diesmal nicht weiter, denn der oben zitierte Quatsch wurde Wikipedia im Jahr 2020 entnommen. Was wir dort viel lieber lesen würden, wäre in etwa:

Es gibt keinen prinzipiellen Unterschied zwischen den Eigenschaften, verschränkter oder Produktzustand zu sein: Jeder Zustand eines Systems kann als Produktzustand einer geeignet gewählten Zweiteilung des Produktraums betrachtet werden, aber auch als verschränkter Zustand bei einer anderen Zweiteilung.

Erst **nachdem** wir uns willkürlich für eine Zweiteilung entschieden haben, dürfen wir die Vektoren in verschränkte und nicht verschränkte scheiden, und dieser Scheid existiert nur im Zusammenhang mit einer gewählten Zweiteilung. Dies haben wir im vorigen Abschnitt bereits gesehen.

Man könnte nun glauben, es könne eine sich natürlich aufdrängende Teilung eines Produktraums geben. Schließlich fängt man normalerweise so an, aus kleineren Gleichungen (für die Komponenten in einer bestimmten Basis) eine größere Gleichung (für die Komponenten in der Produktbasis, gebildet aus eben diesen beiden Teilbasen) aufzustellen. Wieso sollte die größere Gleichung nicht wieder in genau die kleineren Gleichungen aufgeteilt werden, die man ursprünglich hatte? Aus philosophischer, erkenntnistheoretischer Sicht ist das ein höchst gefährliches Unterfangen! Denn es postuliert quasi, dass die neuen Qualitäten, die durch die Zusammensetzung entstanden sind, nicht erkannt werden können. Man tut so, als sei Verschränkung nur in der ursprünglich vorhandenen Zweiteilung relevant und nur diese spiele für das, was empfunden werden kann, eine Rolle.

von-Neumann-Entropie

Das natürliche Maß für die Verschränkung eines Zustands $|\psi\rangle$ bei gegebener Aufteilung in $A +$

B ist die von-Neumann-Entropie.

$$\begin{aligned}
 S &= -\text{Spur}_A(\rho_B \ln \rho_B) = -\text{Spur}_B(\rho_A \ln \rho_A) \\
 &:= -\text{Spur}_A[\text{Spur}_B(|\psi\rangle\langle\psi|) \ln \text{Spur}_B(|\psi\rangle\langle\psi|)] \\
 &= -\text{Spur}_B[\text{Spur}_A(|\psi\rangle\langle\psi|) \ln \text{Spur}_A(|\psi\rangle\langle\psi|)]
 \end{aligned} \tag{4.10}$$

Die Ähnlichkeit mit der Shannon-Entropie aus der Informationstheorie ist **kein** Zufall. Bei der Betrachtung der quantenmechanischen Dynamik werden wir sehen, dass beide über Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Ereignissen reden.

Quanteninformation bleibt nicht erhalten

Die schludrige Behauptung, Quanteninformation bleibe erhalten, findet man häufig im Zusammenhang mit dem Informationsparadoxon schwarzer Löcher. Wenn dort von Information geredet wird, ist eigentlich von-Neumann-Entropie gemeint, also ein *Erwartungswert* für Information. Die von-Neumann-Entropie soll sich angeblich bei unitären Transformationen nicht ändern, während sich die Entropie schwarzer Löcher dramatisch ändern soll, was einem paradox vorzukommen soll.

Tatsächlich ändert sich S nicht, wenn unitäre Transformationen nur im Teilraum A oder nur im Teilraum B erfolgen. Aber eine unitäre Transformation von $|\psi\rangle$ im Produktraum von A und B ändert dessen Orientierung relativ zur Zweiteilung und damit seine Verschränkung und Entropie sehr wohl.

Das Informationsparadoxon schwarzer Löcher dürfte sich auflösen lassen, indem man die Entropie schwarzer Löcher begreift als aus der Zweiteilung in der Ortsbasis am Ereignishorizont entstandene Verschränkungsentropie, während sich der Gesamtzustand der Welt innerhalb und außerhalb des Ereignishorizonts keineswegs unabhängig voneinander unitär verändert.

Weitere Aufräumarbeit

Ein falsche Behauptung wie „Verschränkung ist absolut, also eine *Eigenschaft* eines Zustands“ lässt sich einfach durch Gegenbeispiele widerlegen.

Gegenbeispiel mit 2 verschiedenen Ortsbasen

Denke an die Lösungsfunktionen des Wasserstoffproblems. $\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ sind die Relativkoordinaten und \vec{R} die Schwerpunktkoordinate. In Relativ- und Schwerpunkt-Basen ist zum Beispiel diese Lösungsfunktion ein Produkt

$$\psi(\vec{r}, \vec{R}) = N e^{-\frac{|\vec{r}|}{a}} e^{i\vec{k}\vec{R}} = \psi(\vec{r})\psi(\vec{R})$$

während sie in der r_1, r_2 -Basis verschränkt ist.

$$\psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = N e^{i\frac{m_1}{m_1+m_2}\vec{k}\vec{r}_1} e^{i\frac{m_2}{m_1+m_2}\vec{k}\vec{r}_2} e^{-\frac{\sqrt{r_1^2 - 2\vec{r}_1\vec{r}_2 + r_2^2}}{a}} \neq \psi(\vec{r}_1)\psi(\vec{r}_2)$$

Gegenbeispiel mit 2 Qubits A und B

Betrachte den Bell-Zustand $|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$. Die von Neumann Entropie 4.10 ist 1. Nun transformiere von dieser Basis

$$\{|00\rangle, |01\rangle, |10\rangle, |11\rangle\} := \{|u_0\rangle, |u_1\rangle, |u_2\rangle, |u_3\rangle\}$$

zur gleichwertigen Basis

$$\left\{ \frac{1}{\sqrt{2}}(|u_0\rangle + |u_3\rangle), \frac{1}{\sqrt{2}}(|u_0\rangle - |u_3\rangle), |u_1\rangle, |u_2\rangle \right\} := \{|v_0\rangle, |v_1\rangle, |v_2\rangle, |v_3\rangle\}$$

so dass $|\psi\rangle \equiv |v_0\rangle$. Nun wähle eine andere Zweiteilung des Hilbertraums durch

$$|v_0\rangle := |\tilde{0}\tilde{0}\rangle \quad |v_1\rangle := |\tilde{0}\tilde{1}\rangle \quad |v_2\rangle := |\tilde{1}\tilde{0}\rangle \quad |v_3\rangle := |\tilde{1}\tilde{1}\rangle$$

und du siehst, dass $|\psi\rangle$ nicht mehr verschränkt ist und die Entropie 0 hat.

4.5.2 Zur Dynamik der Quantenmechanik

TODO das Folgende umsortieren / umschreiben / einsortieren.

In einer primären Interpretationsstufe können die mathematischen Dinge als bedingte Wahrscheinlichkeiten für Ereignisse aufgefasst werden. Die Natur der Ereignisse ist ein Wechsel der bedingten Wahrscheinlichkeiten. Um zu bemerken, dass ein solches Ereignis stattgefunden hat, benötigt man ein Bewusstsein.

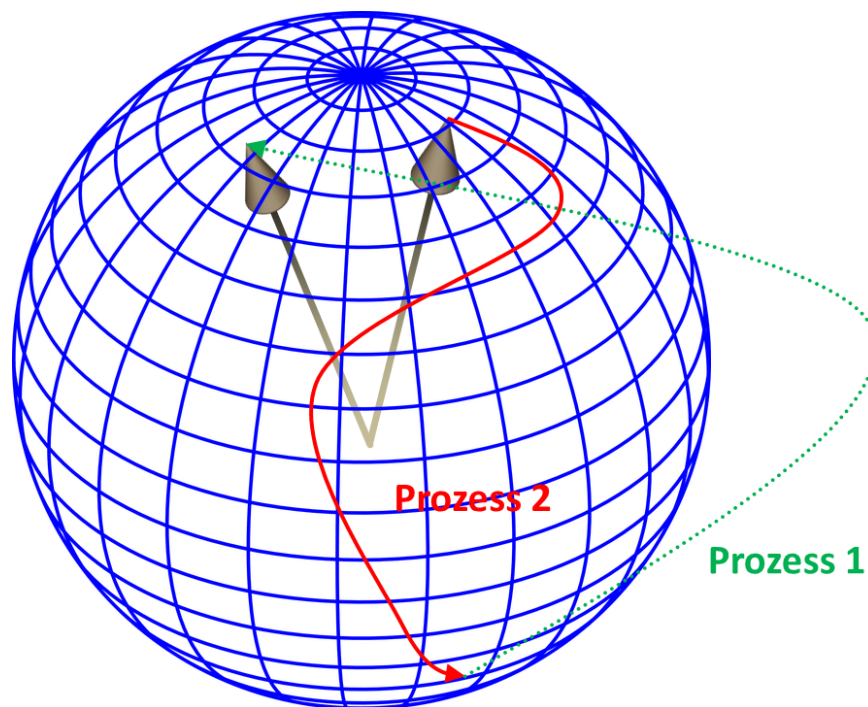
Die Quantenmechanik beschreibt also dies:

$$\begin{array}{ccc} \text{Menge von Wahrscheinlichkeiten} & \xrightarrow{\text{Ereignis 1}} & \\ \text{andere Menge von Wahrscheinlichkeiten} & \xrightarrow{\text{Ereignis 2}} & \text{usw.} \end{array} \quad (4.11)$$

Der genaue mathematische Formalismus der Quantenmechanik, oder genauer der für das jeweils gerade betrachtete Phänomen verwendeten Quantenmechanik, gibt den Wahrscheinlichkeiten und Ereignissen eine bestimmte Struktur. Diese Struktur ist das Besondere an der Quantenmechanik. Ansonsten könnte 4.11 genauso gut unsere Alltagswelt modellieren: nach dem Ereignis 1 „ich sehe einen wütenden Stier vor mir“ gibt es eine bestimmte Menge von Wahrscheinlichkeiten. Die Wahrscheinlichkeit für ein Ereignis 2 „ein Stier greift mich an“ wird in dieser Menge einen relativ hohen Wert haben.

4.5.3 Der physikalische Kanal in der Quantenmechanik

Die Welt ist eine Kugel! So könnte man es überspitzt formulieren. Der Zustand der gesamten physikalischen Welt wird durch einen einzigen Zustandsvektor $|W\rangle$ beschrieben, der die Länge 1 hat. Wenn der Zustandsvektor seine Richtung ändert, dann geschieht etwas. Die ganze Reichhaltigkeit der Welt entsteht durch die hohe Dimension des Raumes, in dem der Zustandsvektor seine Richtung ändern kann.



Du hast deine Hausaufgaben gemacht und weißt schon, dass die Zustände von Teilwelten im Allgemeinen durch Dichteoperatoren beschrieben werden. Dazu folgende Klarstellung: Der Zustand der Gesamtwelt mit Betonung auf *Gesamt* wird **nie durch einen Dichteoperator** beschrieben.

Der Raum der Quantenmechanik ist ein Vektorraum, der gewöhnlich über dem Körper der *komplexen* Zahlen definiert wird. Statt dessen könnte man aber auch einen Körper von 2x2-Matrizen verwenden

$$Z = \begin{pmatrix} a & -b \\ b & a \end{pmatrix} = a \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} + b \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} = a \cdot E + b \cdot I \quad a, b \in \mathbb{R}$$

und so rein mit reellen Zahlen auskommen. Wichtig ist nur, dass die algebraische Struktur sich nicht ändert, die uns am Ende die Wahrscheinlichkeiten für Ereignisse liefert. Oder dass, wenn sie sich ändert - falls ein solches mathematisches Modell überhaupt gefunden werden kann, am Ende dieselben Wahrscheinlichkeiten herauskommen.

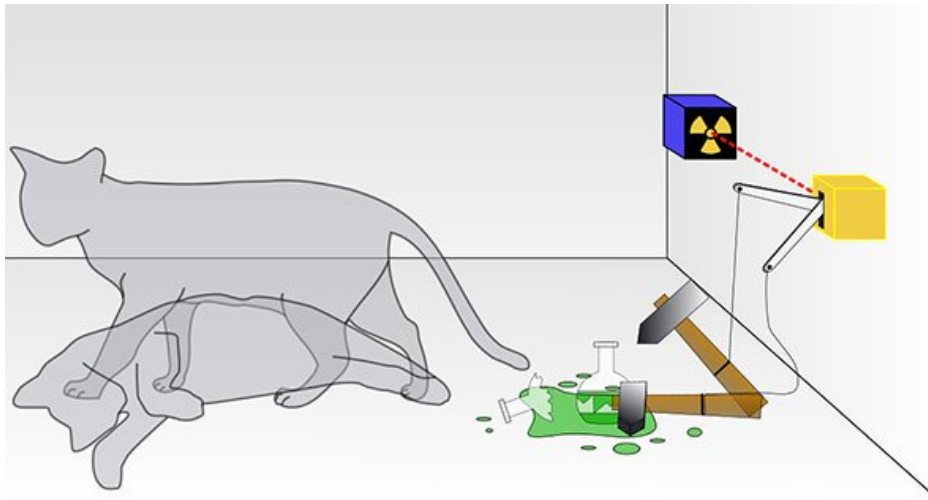
Die Dimension des Hilbertraums ist immer von der Mächtigkeit des Kontinuums, also überabzählbar unendlich. Das gilt auch für jeden Teilraum, der irgendetwas Bekanntes, z.B. ein „Elementarteilchen“, modellieren soll. Erst wenn wir uns gar nicht mehr für kontinuierliche Größen wie Raum oder Zeit interessieren, können wir Modelle in Unterräumen mit abzählbar endlich oder unendlich vielen Dimensionen bilden. Der kleinstmögliche Unterraum hat die komplexe Dimension 2 (d.h. 4 reelle Parameter) und wird seit einiger Zeit auch als „Qubit“ oder „Quanten-Bit“ bezeichnet.

Historisch unterscheidet man besonders in der nichtrelativistischen Quantenmechanik zwischen 2 Arten von Richtungsänderungen des Zustandsvektors. *Beide* Arten erhalten die Länge des Zustandsvektors und *beide* werden deswegen durch unitäre Operatoren modelliert.

Prozesse der 2. Art ändern die Richtung des Zustandsvektors stetig und differenzierbar. Diese

Prozesse ähneln der zeitlichen Entwicklung von Größen, wie man sie aus der klassischen Physik kennt, z.B. die kontinuierliche Änderung des Ortes in Abhängigkeit der Zeit $x(t)$ bei einem Federpendel. In der Literatur werden diese Prozesse oft als „Schrödinger-Dynamik“ bezeichnet. Man geht dabei davon aus, dass es möglich ist, diese kontinuierlichen Prozesse durch eine kontinuierlich von selbst in eine Richtung gehende Variable, die „Zeit“, zu parametrisieren.

Die Prozesse der 2. Art liefern uns allerdings laufend Zustandsvektoren, die noch nie, oder vielleicht auch nur fast nie, oder vielleicht auch nur noch nie von Menschen, beobachtet wurden. Das prominenteste Beispiel dazu ist die Schrödinger-Katze.



Die Schrödinger-Dynamik liefert uns makroskopische Zustände von Katzen, die gleichzeitig „lebendig“ und „tot“ sein sollen. Wieso können wir diese nicht beobachten? Die Schrödinger-Dynamik liefert uns auch Zustände, die dafür stehen, dass Atome an verschiedenen Orten gleichzeitig sind oder gleichzeitig nach unten und nach oben fliegen. Die aktuelle Experimentalphysik kann solche Atomzustände beobachten! Auch große Moleküle, aber keine Katzen, können durch Doppelspalte geschossen werden, und ein Interferenzmuster wird sichtbar. Die Schrödinger-Dynamik muss im Kern irgendeine Wahrheit enthalten!

Prozesse der 1. Art ändern die Richtung des Zustandsvektors sprunghaft. Sie sind eine Spezialität der Quantenmechanik. Durch ihr Wirken soll vermieden werden, dass noch nie beobachtete Zustände, wie sie nach Prozessen der 2. Art entstehen, bewusst werden. Da noch nie lebendig-tote Katzen beobachtet wurden, muss auch darin irgendeine Wahrheit enthalten sein!

Nun kann bis heute, 1 Jahrhundert nach der Entwicklung der Quantenmechanik, niemand sagen, aufgrund wovon der Zustandsvektor mal kontinuierlich und mal sprunghaft seine Richtung ändern sollte. **Die Existenz dieser 2 verschiedenen Prozesse ist die Grundparadoxie der Quantenmechanik.**

Was wäre also naheliegender als einen der beiden Prozesse auf den Müll zu werfen? Den ersten bedeutenden Versuch hat Hugh Everett III unternommen und sich dabei in seiner Doktorarbeit mit dem Titel „The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics“ zur Entsorgung des Prozesses 1 entschieden. Als Konsequenz sind in seiner Theorie totlebendige Schrödingerkatzen ständiger Bestandteil unserer Welt. Ihre Beobachtung soll deswegen nicht möglich sein, weil unser Bewusstsein eine Perspektive einnehmen soll, die entweder nur die tote oder die lebendige Katze beobachtet, während aus höherer Warte betrachtet beide gleichzeitig koexistieren.

Nähere Einzelheiten zum genauen Mechanismus dieser Bewusstseinsaufspaltung sind allerdings bis heute von den Anhängern der Viele-Welten-Interpretation nie geliefert worden. Am Ende hat man nur den Sprung gemäß Prozess 1 durch eine sprunghafte Aufspaltung des Bewusstseins ersetzt, für die man genauso wenig eine Erklärung hat wie für die oben beschriebene Grundparadoxie.

Ein weiterer möglicher Ausweg wären dynamische Kollapstheorien wie die GRW-Theorie und ihre Abkömmlinge. Die Schrödinger-Dynamik wird dabei erweitert um stochastische Terme, die kleine sprunghafte Änderungen bewirken, die am Ende zu solchen Zuständen führen, wie wir sie beobachten. Der große Zufallsprozess 1 soll also durch viele kleine ersetzt werden. Da wir als Menschen Massen oder Raumzeit wahrnehmen, werden diese Dinge in die Theorie hineinmontiert. Tatsächlich gibt es zum Beispiel eine GRWm-Theorie die eine kontinuierliche Massendichte vor einer Hintergrundraumzeit als wesentlich ansieht, und eine GRWf-Theorie mit einer diskreten Menge von Raumzeitpunkten („flash ontology“). Tatsächlich kann ein solcher Ansatz technisch funktionieren, denn ein kontinuierlich erscheinender Prozess kann beliebig genau durch kleine Sprünge beschrieben werden. Als „Vorteil“ dieser Theorien wird verkauft, dass das Geschehen rein objektiv ablaufen soll und der Geist außen vor bleibt.

Von unserer philosophischen Warte aus gefällt uns an diesen dynamischen Kollaps-Theorien eben nicht, dass das, was wir als wesentlich erkannt haben, nämlich Bewusstsein, psychische Zeit und Empfindungen, komplett ignoriert wird, während neue Dinge wie Raumzeit und Masse, für die wir noch gar keine Erklärung haben, einfach so postuliert werden. Deswegen probieren wir hier etwas ganz anderes aus, nämlich den Prozess 2 auf den Müll zu werfen. Wie bei den dynamischen Kollapstheorien soll der experimentell sehr genau bestätigte Prozess 2 in der Natur tatsächlich viele hintereinandergeschaltete kleine Prozesse 1 enthalten. Tatsächlich muss jede Theorie mit Zeitkontinuum spätestens auf der Planck-Skala zusammenbrechen. Wir befassen uns also genauer mit dem sprunghaften Prozess 1 und sehen uns an, wie er uns Wahrscheinlichkeiten für Ereignisse liefert.

4.5.4 Messprozess und Wahrscheinlichkeiten

Wir wollen wissen, wie so ein Prozess 1

$$|W_0\rangle \xrightarrow{\text{Messung 1}} |W_1\rangle \xrightarrow{\text{Messung 2}} \text{usw.} \quad (4.12)$$

mit Wahrscheinlichkeiten für Ereignisse zusammenhängt. Schließlich haben wir ja in 4.11 behauptet, dass durch Ereignisse Mengen von Wahrscheinlichkeiten verändert werden.

Ein Quantending, über das wir etwas erfahren wollen, lebt in einem Unterraum als Zustandsvektor ψ . Es ist also zunächst eingeschränkt von der Restwelt R . Das heißt, bevor wir etwas in Erfahrung bringen können, haben wir einen Weltvektor

$$|W_0\rangle = |\psi\rangle |R_0\rangle \quad (4.13)$$

vorliegen. $|R_0\rangle$ soll den Ausgangszustand der Restwelt darstellen. Um etwas in Erfahrung bringen zu können, müssen wir die beiden Weltteile miteinander verschränken. Dies geschieht normalerweise sehr schnell von selbst. Dagegen ist es mit großem experimentellem Aufwand verbunden, ein Quantending längere Zeit eingeschränkt von der Restwelt zu halten. Wir wollen

jedoch ganz bestimmte Dinge wissen, nicht diejenigen, die uns der Zufall diktiert. Jeder hermitesche Operator hat in seiner Eigenvektorbasis die Spektraldarstellung

$$\hat{x} = \sum_i x_i |x_i\rangle \langle x_i| \quad (4.14)$$

mit den reellen x_i als Eigenwerten. (Wann immer hier eine Summe auftaucht, kann auch ein Integral gemeint sein mit kontinuierlichen Eigenwerten und Dirac-Vektoren.)

Wir wollen etwas über die physikalische Größe in Erfahrung bringen, die durch solch einen Operator im Unterraum des Quantendings modelliert wird. x könnte zum Beispiel für den kontinuierlichen Ort des Quantendings stehen oder für seine diskrete Spin-Richtung. Um die gewünschte Verschränkung herzustellen bedient sich der Experimentatur geschickt eines unitären Messoperators

$$\hat{M} = e^{if(\hat{x})\hat{H}_R} \quad (4.15)$$

f ist dabei eine beliebige Funktion des Operators \hat{x} und wirkt nur auf das Quantending. \hat{H}_R ist ein beliebiger hermitescher Operator, der allein auf die Restwelt wirkt. In der Basis des Operators \hat{x} hat $|\psi\rangle$ die Entwicklung

$$|\psi\rangle = \sum_i \psi_i |x_i\rangle \quad \psi_i \equiv \langle x_i | \psi \rangle \in \mathbb{C} \quad (4.16)$$

Unser Messoperator \hat{M} bewirkt also

$$|\psi\rangle |R_0\rangle \longrightarrow \sum_i \psi_i |x_i\rangle e^{if(x_i)\hat{H}_R} |R_0\rangle := \sum_i \psi_i |x_i\rangle |R_i\rangle \quad (4.17)$$

Wir haben die Bestandteile des Zustands $|\psi\rangle$ bezüglich der Basis $\{|x_i\rangle\}$ in die Restwelt hineincodiert. Wunderbar! Leider können wir sie nun nicht alle zugleich beobachten. Spätestens bei der Beobachtung geschieht nun in Form eines Prozesses 1 der sogenannte „Kollaps der Überlagerung“

$$\sum_i \psi_i |x_i\rangle |R_i\rangle \longrightarrow |x_k\rangle |R_k\rangle \quad (4.18)$$

Wir haben den Eigenwert x_k gemessen. Die Wahrscheinlichkeit, diesen Wert zu messen, war $w_k = |\psi_k|^2$. Nach der Beobachtung sind Quantending und Restwelt entschränkt. Statt die Bestandteile von $|\psi\rangle$ bezüglich einer Basis, und damit $|\psi\rangle$ selbst, direkt herausfinden zu können, müssen wir aus Häufigkeiten von Ereignissen bei vielen Wiederholungen des Experiments auf Wahrscheinlichkeiten schließen, von denen wir wiederum auf die komplexen Bestandteile, die „Wahrscheinlichkeitsamplituden“ ψ_i zurückschließen.

Hier noch eine Warnung: die Dekohärenztheorie erklärt, wie man mit der Schrödinger-Dynamik (mit 4.15 als Zeitentwicklungsoperator) bis 4.17 gelangt, sie erklärt *nicht* den Schritt 4.18. Das sogenannte „problem of outcomes“, also warum gerade der k -te Bestandteil als Endzustand des Experiments auftaucht, und damit die Grundparadoxie, bleibt erhalten. In der Literatur findet man gegenteilige Behauptungen!

Ein weiterer Hinweis: die Wahl der Basis ist immer beliebig. Deswegen sollte anstatt von einem „Kollaps“ (der immer gleichzeitig als anti-Kollaps bezüglich unendlich vieler anderer Basen erscheint) von einem Sprung des Zustandsvektors gesprochen werden. Die Sprungweite kann aus $\langle W_0 | W_1 \rangle$ abgeleitet werden, und Skalarprodukte sind basisunabhängig.

Der Vollständigkeit halber sei noch der Fall mit entarteten Eigenwerten x_i behandelt. Der Operator \hat{x} lässt sich auch dann diagonalisieren

$$\hat{x} = \sum_{i,j} x_i |x_{i,j}\rangle \langle x_{i,j}| \quad (4.19)$$

mit j als Entartungsindex. $|\psi\rangle$ hat nun die Entwicklung

$$|\psi\rangle = \sum_{i,j} \psi_{i,j} |x_{i,j}\rangle \quad \psi_{i,j} \equiv \langle x_{i,j} | \psi \rangle \in \mathbb{C} \quad (4.20)$$

wodurch \hat{M} diese Verschränkung aufbaut

$$|\psi\rangle |R_0\rangle \longrightarrow \sum_{i,j} \psi_{i,j} |x_{i,j}\rangle e^{if(x_i)\hat{H}_R} |R_0\rangle := \sum_{i,j} \psi_{i,j} |x_{i,j}\rangle |R_i\rangle \quad (4.21)$$

Der Sprung vor oder bei der Beobachtung

$$\sum_{i,j} \psi_{i,j} |x_{i,j}\rangle |R_i\rangle \longrightarrow \frac{1}{\sqrt{\sum_j |\psi_{k,j}|^2}} \sum_j \psi_{k,j} |x_{k,j}\rangle |R_k\rangle \quad (4.22)$$

erfolgt mit der Wahrscheinlichkeit $w_k = \sum_j |\psi_{k,j}|^2$. Auch hierbei sind Quantending und Restwelt nach der Beobachtung voneinander eingeschränkt.

TODO ein Wort zum Dichteoperator

4.5.5 Subjektivität von Verschränkung

Meine Beispiele aus Stackexchange

===== Konzept:

Empfindungen, modelliert als Ereignisse. Die Ereignisse werden in der Physik traditionell als objektiv angesehen und beschrieben, am Ende gilt es die Empfindungen des Bewusstseins zu erklären (Einstein-Zitat), wie die objektiven Ereignisse zu diesen Empfindungen führen. In der QM erscheint erstmalig eine Nichttrennbarkeit von Ereignissen vom Subjekt. Schrödingers Katze und Wigners Freund.

QM liefert bedingte Wahrscheinlichkeiten für Ereignisse, also reelle Zahlen.

Bedingungen sind Vektoren in einem Hilbertraum. H_R = Vektorraum mit Skalarprodukt, vollständig. Eine QM enthält Rechenvorschriften, wie aus Hilbertraumvektoren reelle Zahlen im Bereich 0..1 zu gewinnen sind.

Vektorraum ist i.d.R. unendlichdimensional mit überabzählbar vielen unendlichen Dimensionen.

Wahrscheinlichkeiten ergeben sich aus Vektoren in Verbindung mit linearen Operatoren.

Beispiel, Wahrsch. also nichtlinear, obwohl Operatoren linear?

4.6 Physikalische Zeit vergeht nicht

2. Hauptsatz phänomenologisch. Er bedeutet einen Pfeil der Zeit. Entspricht der menschlichen Erfahrung.

Probleme: Nicht aus QM herleitbar. Zehs Buch. Entropie ist subjektiv. Information immer unendlich im Kontinuum. Gleichheit ist subjektiv, damit auch was „derselbe Makrozustand“ ist und wieviele Mikrozustände deswegen zum „selben Makrozustand“ gehören.

Page Wouters Clock Entropy and Time. Deren Argumente für eine nicht-vergehende physikalische Zeit.

Zeit ist wie Raum (Relat.theorie). Wheeler de Witt, Blockuniversum.

$\Psi(x,t)$ sind die Vektorkomponenten in der x-t-Basis. Basistransformationen. Unerlaubte Transformationen (Rückwärts-Vorwärtslichtkegelvertauschung,...)

Kapitel 5

Wie viele?

Nichtlineare Erweiterungen der QM als Mittel gegen Wigners Freund.