

AUSGABE 5

DIE KLEINE GÖTTIN

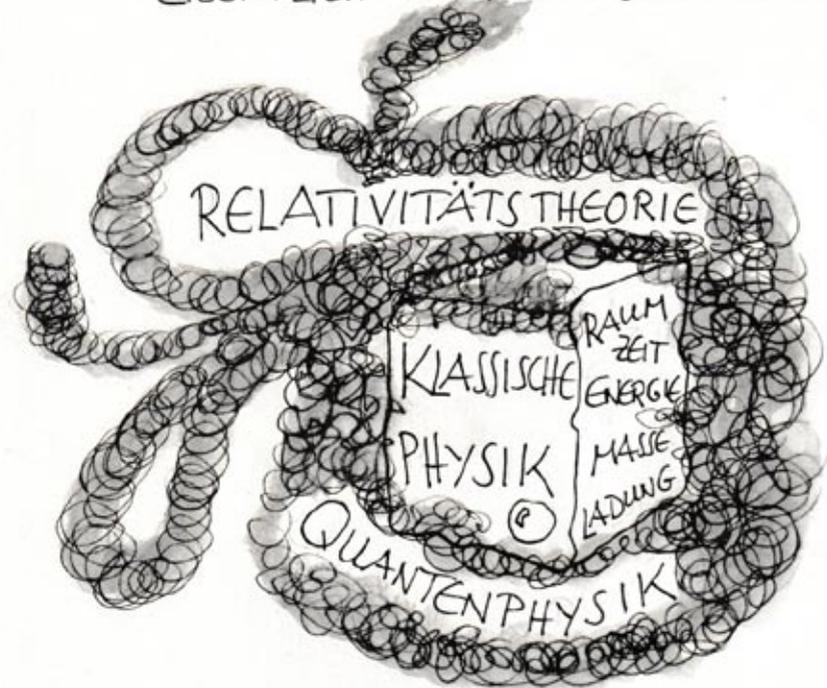


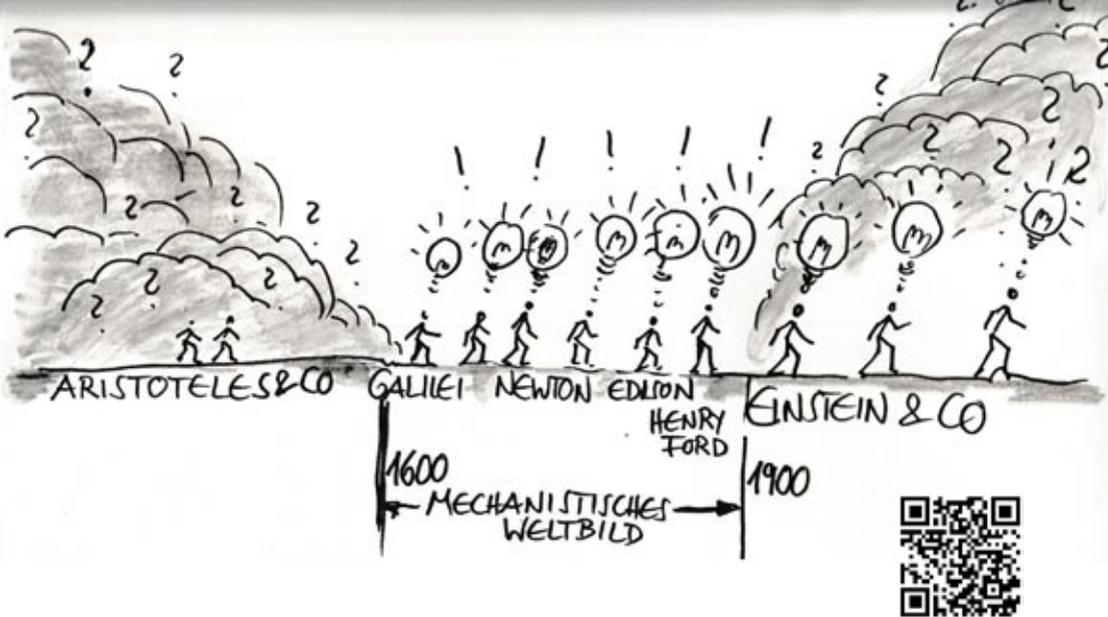
DEN PLANET SCHULE
MIT PHYSIK SCHON
VOR DEM ABITUR
VERLASSEN

DI KLEINE GÖTTIN



ODER
EIGENTLICH FING ALLES GANZ EINFACH AN





Ich zitiere hier einmal Stephen Hawking zum Thema „Naturgesetze“.

„Wenn die Natur von Gesetzen regiert wird, stellen sich drei Fragen:

1. Welchen Ursprung haben diese Gesetze?
2. Gibt es irgendwelche Ausnahmen von den Gesetzen, das heißt Wunder?
3. Gibt es nur einen Satz möglicher Gesetze?“ (Hawking/Mlodinow 2010)

Und natürlich stellt sich hier sofort die Frage nach einem Gott.

Galilei, Descartes, Kepler und auch Newton waren überzeugt, dass Gott die Naturgesetze geschaffen hätte. (1) Newton war sogar der Meinung, dass Gott die Planetenbahnen ständig nachjustieren müsste, weil sie sonst langfristig aus der Bahn laufen würden (2) Hawking schreibt dagegen: „Ein Naturgesetz ist nicht wissenschaftlich, wenn es nur gilt, solange sich ein übernatürliches Wesen mit direkten Eingriffen zurückhält.“

Physiker:innen haben sich zu allen Zeiten mit dem Thema „Gibt es einen Gott?“ auseinandersetzen müssen. Ob sie nun an einen glaubten oder nicht. Auch Albert Einstein hat Gott immer mal wieder in seine Überlegungen eingebaut. Zum Thema „Wahrscheinlichkeitswellen“

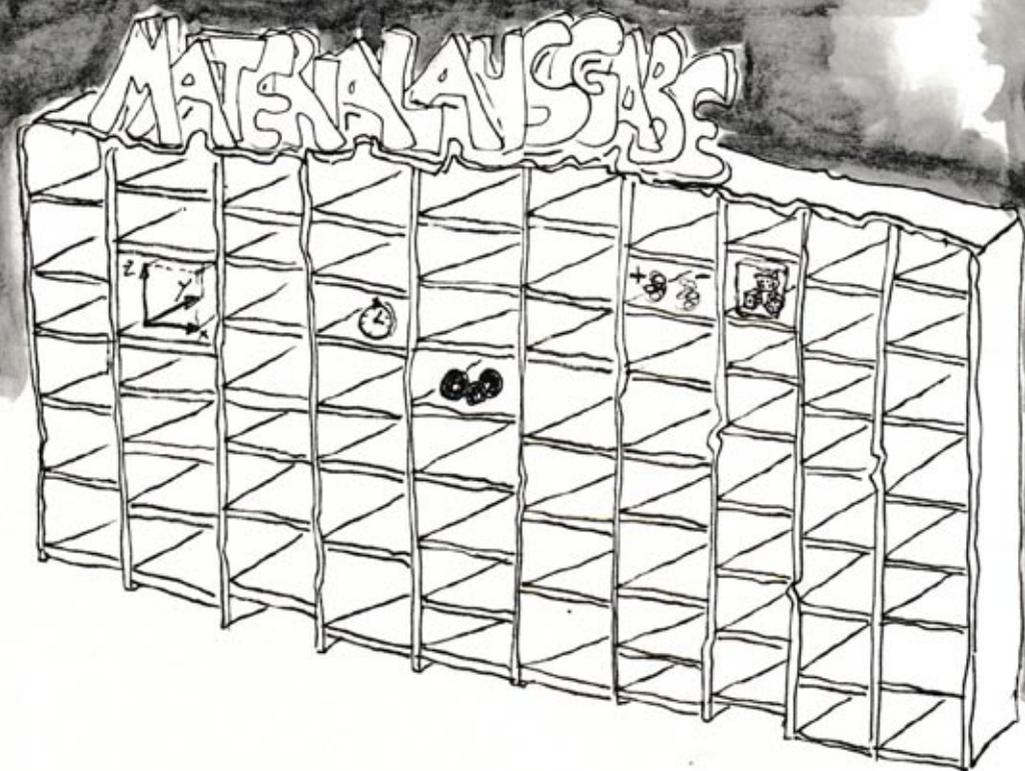
in seiner Quantenphysik meinte er, obwohl selbst entwickelt: „Ich glaube nicht, dass der Alte würfelt.“

In diesem Heft habe ich diese Grundüberlegungen aufgenommen, um den Bau eines Universums aus der Sicht eines Gottes bzw. einer kleinen Göttin zu betrachten. Und da Physiker:innen heute oft schon von Multiversen sprechen (3), also von verschiedenen Paralleluniversen, wäre es doch recht spannend, die Anstrengungen der kleinen Göttin zu verfolgen, die in ihrer Götterschule im Praktikum ein Universum bauen soll, das den Anforderungen genügt, dass es von sich aus funktioniert, ohne dass sie unentwegt Wunder vollbringen muss, um es in Gang zu halten.

Ansonsten soll euch dieses Heft den Kopf für die Kursstufenphysik freimachen. Soll euch einen Überblick verschaffen. Soll euch helfen, die scheinbar vielen Einzelthemen der Mittelstufenphysik zu einem großen Ganzen zusammenzufassen.

Viel Erfolg Otto Kraz

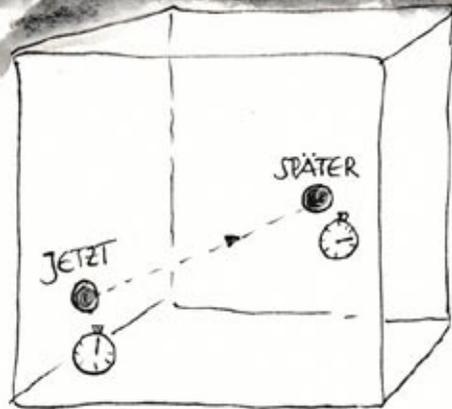
p.s. Mit dem Blick der kleinen Göttin habe ich in den letzten 5 Jahren meiner Schulmeisterzeit Schüler:innen zum Abitur geführt.



Mal wieder hatte dir kleine Göttin verschlafen. Dabei stand heute „Bau eines eigenen Universums“ auf dem Lehrplan. Das Regal hinter dem Tresen der Materialausgabe war gähnend leer. „Nur noch wenig übrig, kleine Lady“ meinte der „Gott der heftig vielen Zusammenhänge“, den alle Zöglinge der Götterschule liebevoll den „Netzwerker“ nannten. „Aber wie ich dich kenne, machst du daraus am Ende auch noch was Exklusives.“ Der Netzwerker grinste. Die kleine Göttin galt als äußerst schlau und aufgeweckt, aber auch als ziemlich eigensinnig. Und ja, verschlafen, das kam bei ihr eben

häufiger vor. „Dieser Unterrichtsbeginn ist doch viel zu früh für einen wachen Geist. Was kannst du mir denn noch anbieten?“ meinte die kleine Göttin. „Also pass mal auf,“ meint der Netzwerker. „Hier ist noch Raum, Masse und Zeit. Daneben zwei Arten von Ladung und Energie, damit du dein Universum starten kannst.“ – „Mehr nicht?“ meint die kleine Göttin verwirrt. „Dort oben steht noch ein alter Eimer mit ganz viel Zufällen herum, mehr habe ich nicht mehr zu bieten. Aber nur Mut. Die Eigenschaften von Raum, Masse, Zeit und Ladung kannst du ja alle selbst erfinden. Du schaffst das.“

RAUMSSEITZ

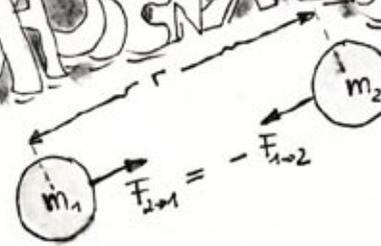


Die kleine Göttin kam mit den wenigen Materialien unter dem Arm an ihrem Praktikumstisch an, während die anderen schon tief in ihre Arbeit versunken waren. „Na, mal wieder verschlafen?“ meinte der „Gott der Beratung in physikalischen und philosophischen Fragen“, den alle nur den „Philosophen“ nannten. „Aber bei so wenig Teilen bist du mit deinem Universum ja dann auch schneller fertig.“ grinste er. „Du wirst sehen, mein Universum wird trotzdem was ganz Besonderes. Ich spüre das.“ Die kleine Göttin vertiefte sich in ihr Arbeitsblatt. „Bau ein Universum, das ohne dich existieren kann.“ stand auf dem

dort. „Also gut, die Massen sollen sich im Raum bewegen können. Und zwar nach möglichst einfachen Gesetzen.

Dazu brauche ich auch die Zeit. Damit ein Körper erst hier und später dort ist. Wenn man so eine Masse sich bewegen lässt und nicht auf sie einwirkt, dann soll sie sich immer genau gleich bewegen. Geradlinig. Unbeschleunigt. Immer mit derselben Geschwindigkeit. Soll sich träge vorwärtsbewegen. Meine Massen sollen träge sein. Also klar: Alle Massen, ohne Ausnahme. Sonst müsste ich ja immer auf die Ausnahmen aufpassen.

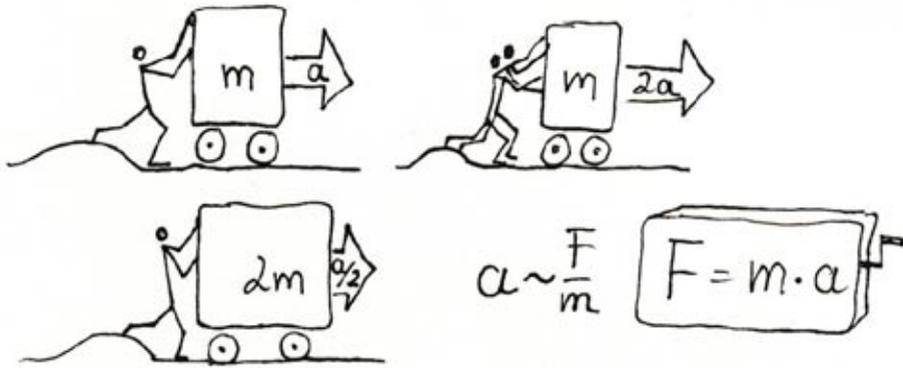
MASSENANZIEHUNG



Und meine Massen sollen sich gegenseitig anziehen. Ich will da keinen Unterschied machen. Wenn eine große Masse eine kleine Masse anzieht, dann soll die kleine mit derselben Kraft die große anziehen. Actio gleich Reactio. Die kleine Göttin notierte alles auf ihrem Entwicklungsboard. „Und nach welchem Gesetz ziehen sich deine Massen an?“ fragte der Philosoph, der gerade vorbeischlenderte. „Ich stehe auf

ganz einfache Gesetze, weißt du ja. Also ich denke, dass die Anziehungskraft direkt proportional zu den beiden Massen und umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstands sein wird.“ – „Aber warum dann nicht gleich umgekehrt proportional zum Abstand – ohne Quadrat?“ – „Weil die Oberfläche einer Kugel 4 Pi mal r Quadrat ist und ich liebe doch Kugeln.“ meinte die kleine Göttin und tüftelte weiter.

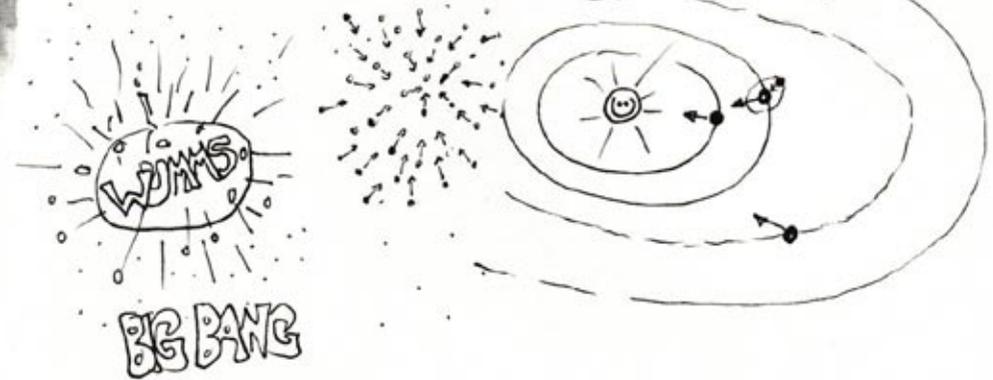
NEWTON UND SEINE WELTFORMEL



Jetzt brauche ich eigentlich nur noch eine schlanke Idee, wie die Kraft auf eine Masse ihre Bewegung im Raum beeinflusst. Wie sich dadurch ihre Geschwindigkeit ändert. Und auch da nehme ich doch am besten die einfachste Abhängigkeit.

Beschleunigung direkt proportional zur Kraft und umgekehrt proportional zur Masse. Und das für alle Massen. Alle. Ob groß, ob klein. Mit dieser einfachen Regel habe ich eine wundervoll edle einfache Weltformel. Beschleunigung gleich Kraft durch Masse. Wow."

DI GRUNDIDEE

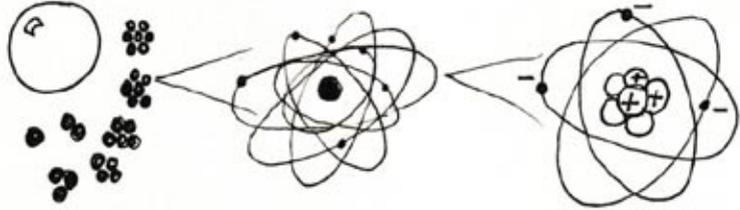


„In deinem Universum soll es Sonnen und Planeten geben“ las die kleine Göttin auf dem Arbeitsblatt. „Haha, wie geschickt. Das ist doch aber sowas von kein Problem. Da habe ich doch schon alles zusammen. Ich habe ja diese Starterenergie, mit der ich mein Universum beginnen lassen kann. Dann fliegen erst einmal alle Massen auseinander und ziehen sich aber da schon gegenseitig an. Und da mein Universum nicht geordnet auseinanderfliegt – würde ja nicht zu mir passen – gibt es Bereiche in meiner kleinen Welt, in der sich die Massen mehr zusammenkugeln und aufeinander zufliegen. Ziehen sich ja alle an. Und wenn sie dann mit einer riesigen Geschwindigkeit aufeinanderprallen, dann glühen sie und eine Sonne brennt und leuchtet und das Drumherumkreisen von anderen größeren findet ja dann vollautomatisch statt. Meine Sonnen haben riesige Massen und ziehen damit Planeten an, die bei der richtigen Richtung ne Kreisbewegung vollführen. Alles funktioniert problemlos mit meiner süßen schlichten Weltformel. Selbst das Zünden meiner Sonnen. Meine Massen sollen ja aus lauter klitzekleinen Bausteinen bestehen, kleine hübsche Kügelchen ... und wenn die wild aneinander reiben und scheuern, dann wird

alles heiß. Jawoll.“ Die kleine Göttin war hochzufrieden und ging erst einmal in die Hofpause etwas essen.

„Also die Gesetze meines Universums sind so kompliziert, dass die Lebewesen, die sich mal auf manchen Planeten entwickeln dürfen, niemals dahinter kommen werden. Meine Gesetze versteht noch nicht mal der Philosoph.“ prahlt ein halbstarker Gott namens Laplace. „Dann bekommen deine Lebewesen nie einen eigenen Willen?“ meint die kleine Göttin schnippisch. „Typisch Halbstark-Gott“... Laplace grinst breit: „Wenn du deinen Lebewesen einen eigenen Willen zukommen lässt, dann machen sie nur Unordnung. Das kann ich nicht brauchen. In meinem Universum ist alles genau vorherbestimmt. Freier Wille? Igittigitt.“ Nach der Pause betrachtete die kleine Göttin liebevoll ihr bisher skizziertes Universum auf dem Board. „Sonnen, drumherum Planeten ... und alles findet mit Kraftfeldern statt, die jede Masse stolz um sich trägt. Kommt eine andere Masse in dieses Feld, erfährt sie eine Anziehungskraft. Und umgekehrt genauso.“ In einem ersten Modell funktionierte diese Idee auch wunderbar.

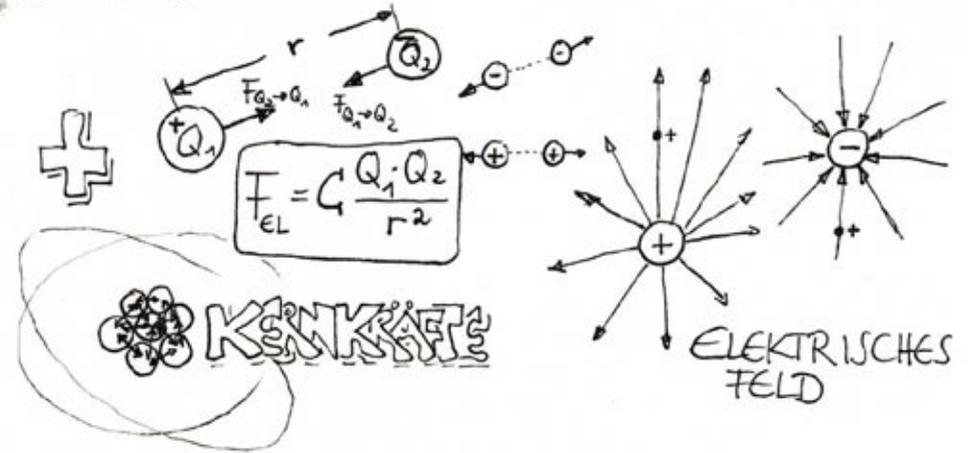
DE KLEINSTE TEILCHEN



„Dein Universum soll in möglichst vielen Facetten, Farben und Materialien erscheinen, in möglichst vielen Formen, Eigenschaften und Möglichkeiten. Und solltest du Leben einplanen, dann soll kein Lebewesen gleich wie ein anderes Lebewesen sein.“ Diese Unteraufgabe hatte die kleine Göttin noch gar nicht gelesen. Sie betrachtete ihr Modell und musste feststellen, dass sie von diesem Unterpunkt noch weit entfernt war. Ihr bisherigen Massen konnten nur in ihrer Masse selbst variieren, aber ansonsten sahen alle Massen noch gleich aus. „Also gut“, meinte die kleine Göttin. „Dann mal weitergetüftelt. Vielfalt bekomme ich doch am einfachsten, wenn ich meine Massen aus möglichst kleinen Teilchen zusammenbaue und wenn ich es dann noch schaffe, verschiedene kleinste Teilchen zu neuen größeren Teilchen zusammensetzen, dann komme ich der Aufgabestellung sicher näher. Farben, Facetten, Möglichkeiten. Na ja, vielleicht sollte ich meine kleinsten Teilchen wie meine großen Massen aufbauen – also Sonnen und Planeten und so. Im Kern eine große Masse und drumherum viele kleine,

die im Kreisen drumherumschwirren.“ Als die kleine Göttin testete, ob sich diese Idee auch mit der Massenanziehung bewältigen ließ, wurde ihr schnell klar: Dazu benötigte sie eine viel stärkere Kraft. Mit der Gravitation allein funktionierte es nicht. „Ok, dann nehme ich einfach Ladung dazu. Ungleichnamige Ladungen ziehen sich an, gleichnamige sollen sich abstoßen. Aber das muss natürlich auch zu meiner Weltformel passen. Beschleunigung gleich Kraft durch Masse. Ladung allein hätte ja keine Masse, wäre die Beschleunigung also unendlich. Deshalb verknüpfe ich Ladungen immer mit Massen. Als Kern große positive geladene Massen, filigran im Kreis drumherum ganz kleine negative Massen.“ Aber da die Kräfte zwischen den geladenen Massen so groß sein müssen, damit diese Mini-Planetensysteme funktionieren, nimmt die kleine Göttin für den Kern immer genau gleich viele positive Ladungen wie negative Ladungen in der Hülle. „Diese Ladungen mache ich genau gleich groß, dann heben sich die Wirkungen außerhalb der kleinen Bausteine auf und man denkt, meine Atome wären ungeladen.

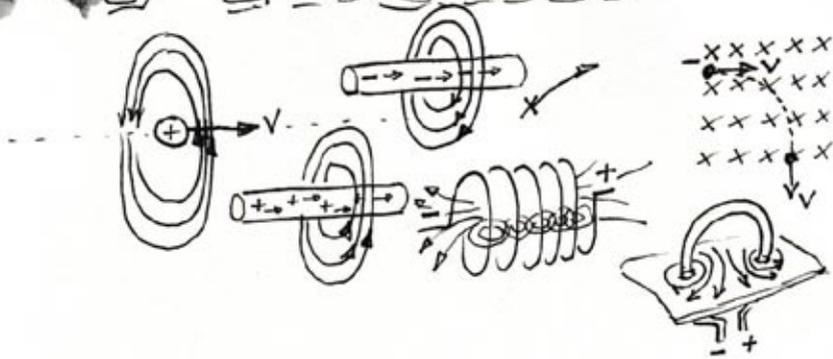
KRAFT ZWISCHEN LADUNGEN



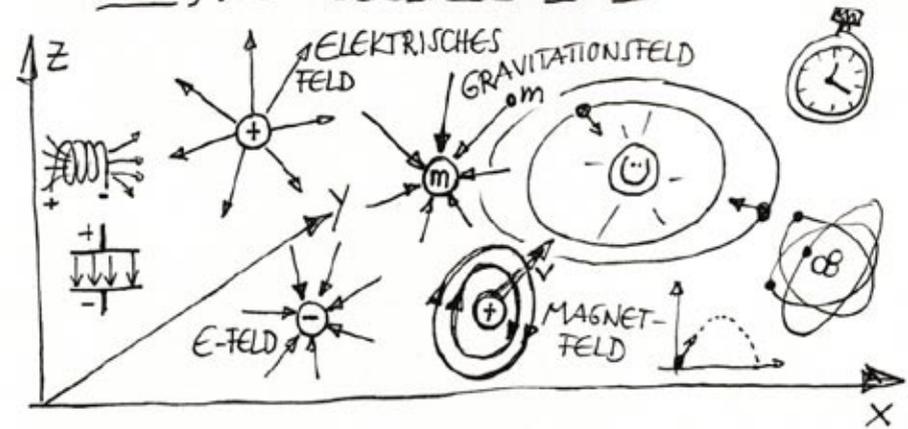
„Respekt“ bemerkte der Philosoph, als er bei der kleinen Göttin vorbeischlenderte. „Aber wenn sich in deinem Universum gleichnamige Ladungen abstoßen, warum schleudert es dann bei mehrere positive Massen in deinen Atomkernen diese nicht sofort auseinander?“ – „Dafür setze ich noch eine neue Eigenschaft von Kernmassen ein. Ich nehme einfach eine Kernkraft, die genau das kann, wenn Kernmassen so nah beieinander liegen. Die nimmt aber dann ganz schnell nach außen ab.“ meinte die kleine Göttin spontan. „Und mit welchem Prinzip ziehen sich sonst deine Ladungen an oder stoßen sich ab?“ fragte der Philosoph.

Ich denke, ich mache das wie bei den Massen. Umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstands und proportional zu den Ladungen. Die Proportionalkonstante muss ich noch ausprobieren, wie sie am besten sein sollte.“ – „Sehr klug“ meinte der Philosoph und ging weiter. „Also gut“. Die kleine Göttin sprach jetzt zu sich selbst. „Dann habe ich bisher Gravitationsfelder um alle Massen und elektrische Felder um alle geladenen Massen. Außerdem dieses kleine, aber bärenstarke Feld im Atomkern. Ein Feld hätte ich aber doch noch gerne, damit ich noch mehr Facetten in mein Universum einziehen lassen kann.“

MAGNETFELD



ZWISCHENSAND



„Ich könnte ja einmal festlegen, dass sich um bewegte Ladungen ein weiteres Feld existiert, ein kreisförmiges. Und dieses Feld soll auch nur auf bewegte Ladungen eine Kraft ausüben. Senkrecht zur Bewegungsrichtung.“
 - „Häää, warum denn das?“ meinte der kleine „Gott der vielen Fragen“, der am Praktikumsplatz neben der kleinen Göttin arbeitete. „Um ganz ehrlich zu sein, das ist jetzt reine Intuition. Vielleicht verwerfe ich das ja nachher wieder. Jetzt teste

ich einfach mal alle meine neuen Felder aus.“ Und dann sah man die kleine Göttin ausprobieren, anpassen und verändern ... doch am Ende war sie davon überzeugt: Elektrische Felder und magnetische Felder waren eine exzellente Ergänzung für ihr Gravitationsfeld. Und das bärenstarke Feld der Atomkerne benötigte sie eben, damit sie große positive Kerne zusammenbauen konnte.



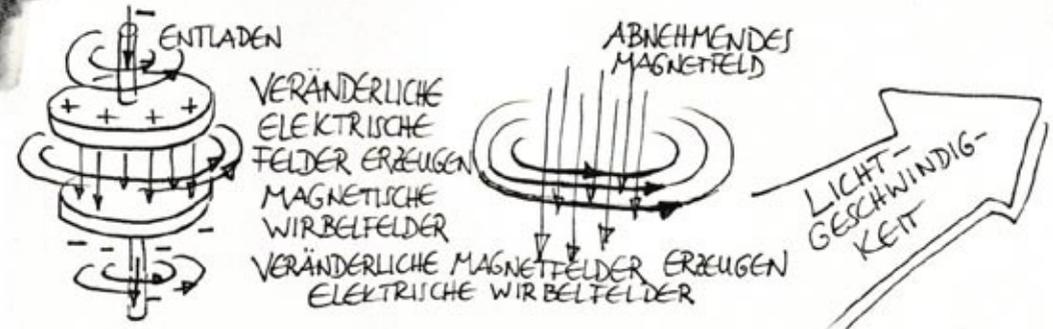
Aber insgesamt sah es sehr vielfältig, bunt und ohne Frage farbig aus, was sich da aus dem Universum der kleinen Göttin ausschälte. In ihrem großen Kosmos lief sowieso alles völlig überschaubar und leicht verständlich. „Mit einer einzigen Weltformel alles Große ablaufen zu lassen, das muss mir erst mal jemand nachmachen.“ meinte die kleine Göttin ganz stolz zu sich selbst. Aber auch dass sie ihren Mikrokosmos im Makrokosmos wirken lassen konnte, begeisterte sie. Auch wenn sie die vielen Ladungen ihres

Universums geschickt versteckte, indem sie durch deren gleiche Anzahl die Wirkung der elektrischen Felder nach außen aufheben konnte, so konnte man aber mit ein paar kleinen Tricks viele schöne Dinge daraus zaubern. Man musste nur Ladungen trennen und schon konnte man damit an den Start gehen. „Das erfinden dann in ein paar Milliarden Jährchen die Lebewesen in meinem kleinen Universum“ grinste sie. „Und bauen sich Glühbirnen und Elektromotoren draus.“

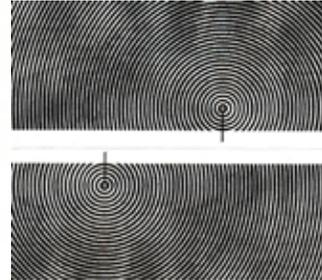
ELEKTROMAGNETISCHE WELLEN



WIRBELFELDER & DOPPELSPALT



ZWEI STEINE IM WASSER



Zwei kreisförmige Wellen, deren Zentren einige Wellenlängen auseinanderliegen, interferieren gut sichtbar.



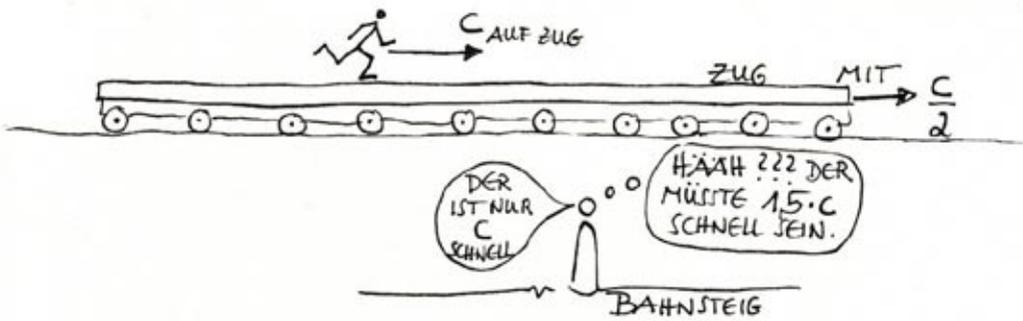
Besonders großartig fand die kleine Göttin die Möglichkeit, dass sich elektrische und magnetische Felder unter bestimmten Schwingungsbedingungen von einem Sender loslösen konnten, um sich dann mit einer immer gleichen Geschwindigkeit im Vakuum durch das Universum zu bewegen. Da auch Licht nur eine solche elektromagnetische Welle

war, nannte sie diese Größe Lichtgeschwindigkeit. „Aber schneller als das Licht soll sich nichts und niemand in meinem Universum bewegen,“ schrieb sie in großen Buchstaben auf ihr Board. „Intuitive Geschwindigkeitsbegrenzung“ meinte sie zum kleinen Gott der vielen Fragen neben sich und grinste.

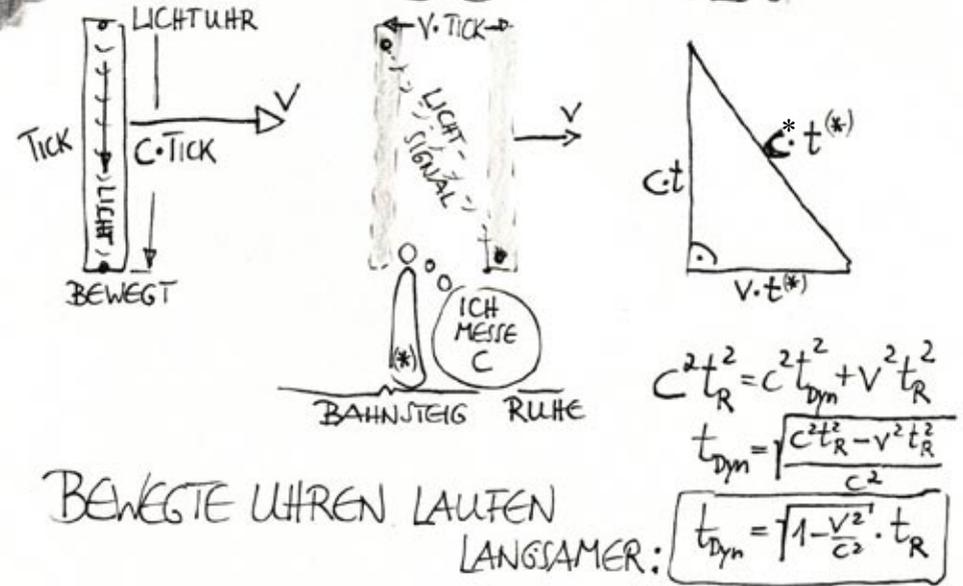
Diese elektromagnetischen Wellen fand die kleine Göttin wirklich großartig. Alles hatte sich vollautomatisch aus ihren Bedingungen ergeben. Wenn sich ein elektrisches Feld veränderte, dann entstand drumherum ein magnetisches Wirbelfeld. Veränderte sich ein magnetisches Feld, entstand drumherum ein elektrisches Wirbelfeld. Und dieser Prozess breitete sich wellenförmig aus. Wellen waren für die kleine Göttin sowieso das Größte. Schon bei der

Überlagerung zweier Wasserwellen, die durch zwei Steine erzeugt wurde, die man in einen See warf, konnte sie vor Freude laut juchzen. „Wellen überlagern sich völlig ungestört und bilden zusammen trotzdem ein wundervolles Muster“ rief sie begeistert. „Und mit elektromagnetischen Wellen funktioniert es genauso. Schicke Licht durch einen Doppelspalt und du verstehst mein Universum ... oder auch nicht.“ grinste sie. Licht ist für mich das Tollste und Schnellste. Und Farbigste.“

KONSTANZ DER LICHTGESCHWINDIGKEIT



DIE VIERTE DIMENSION



„Aber wie willst du später einmal irgendwelchen klugen Lebewesen in deinem Universum verbieten, diese Geschwindigkeit zu überschreiten?“ fragte der Philosoph, der mal wieder vorbeikam, um den Stand der einzelnen Universen in Augenschein zu nehmen. „Na ja, falls diese Lebewesen sich tatsächlich so weit entwickeln könnten, dass sie dazu in der Lage wären, lasse ich es einfach nicht zu. Ich komme vorbei und unterbinde es.“ – „Schau dir mal die Aufgabenstellung an,“ meinte der Philosoph. Wenn du das dann in ein paar Milliarden Jährchen tatsäch-

lich machen solltest, dann würde es ja in den Augen deiner Lebewesen Wunder geben und damit auch die Existenz eines Gottes ... sorry einer Göttin. Aber genau das soll ja vermieden werden. Wer weiß, in welcher Abteilung du später mal beruflich unterwegs bist. Stell dir vor, du wärst auch nur für 10 000 Universen verantwortlich. Da hättest du ja gar nicht die Zeit dazu. Dein Universum muss funktionieren, ohne dass du Wunder vollbringen musst. Lies nochmals die Aufgabenstellung.“



Daran hatte die kleine Göttin nun gar nicht mehr gedacht. „Stimmt ja“, meinte sie. „Jetzt wird es wirklich knifflig.“ Sie dachte lange nach. Sehr lange. Und dann malte sie ein rechtwinkliges Dreieck auf ihr Board. „Schau mal, kleiner Gott der vielen Fragen. Was würdest du denn dazu sagen. Stell dir mal vor, diese Strecke c mal Tick würde in einem mit der Geschwindigkeit v vorbeirauschenden Raumschiff gemessen. Und diese Strecke c mal Tick* von einem äußeren Beobachter. Ich will aber auf alle Fälle, dass immer und überall die

Lichtgeschwindigkeit gleich groß ist. Also $c = c^*$. Sag mal. Was ergibt sich daraus?“ – „Na ja, wenn die Geschwindigkeit immer gleich sein muss, dann muss sich die Zeit verändern.“ meinte der Gott mit den vielen Fragen. „Würde ich sagen, oder?“ „Wo du recht hast, hast du recht. Au Backe, jetzt wird mein Universum dann doch ein wenig kompliziert. Aber ich denke trotzdem, dass es für die meisten meiner späteren Lebewesen ausreichen wird, meinen ersten einfache Entwurf zu verstehen und anzuwenden.“

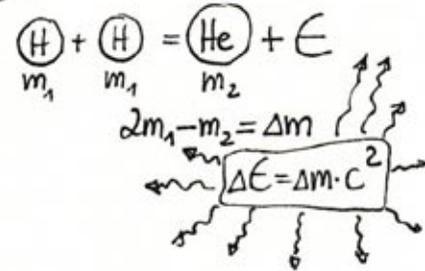
$E = m \cdot c^2$

$$m_{\text{DYN}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

BEWEGTE MASSES
SIND GRÖßER*
*TRÄGER

ENERGIE
"VERWandelt"
SICH IN
MASSE
RELATIVITÄTSTHEORIE

$E = m \cdot c^2$



Mit der Idee, die Zeit als vierte Dimension mit dem Raum zu verknüpfen, entstand für die kleine Göttin ein ganz anderer Blick auf ihr Universum. „Bewegte Uhren laufen langsamer“ stand nun auf ihrem Board. Und „Bewegte Maßstäbe sind kürzer“ ... das war die logische Folge von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit. „Geschwindigkeitsbegrenzung ist einfach wichtig für mich“, meinte die kleine Göttin immer.

„Meine alte wunderbar einfache Weltformel $F = m \cdot a$ gilt aber noch immer. Und wenn man sich nicht gerade mit extrem hoher Geschwindigkeit bewegt, dann merkt man von meiner neuen Zeitdimension ja auch gar nichts. Und wenn, dann darf ja die Beschleunigung a nicht einfach weiter wachsen. Dann wird eben die träge Masse immer größer. Geht gegen Unendlich, wenn die Geschwindigkeit gegen c geht. Dann

muss ich keine Wunder vollbringen. Dann müssen sich nur spätere schlaue Lebewesen in meinem Universum klar machen, dass sie mein Universum nicht mehr wirklich verstehen können. Einen dreidimensionalen Raum zu verstehen, der durch die Zeit als vierte Dimension gekrümmt wird, da habe ich ja selbst als Göttin meine Vorstellungsprobleme.“ Aber die sich jetzt aus der ganzen Verknüpfung ergebende Tatsache, dass Masse und Energie direkt zusammenhängen ($E = m \cdot c^2$) war großartig, weil die kleine Göttin damit das Energieproblem ihrer vielen Sonnen gelöst hatte. Das wäre dem Philosophen bei der Endabnahme sicher aufgefallen. Nun konnte sie durch Umwandlung von Masse in Energie in ihren Sonnen - bei der Fusion von Wasserstoff zu Helium - so riesig viel Energie erzeugen, dass sie für Jahrmilliarden Jahre reichen würde.

AUSNAHMEN SIND WUNDER



Dass die Idee, eine Geschwindigkeit zu begrenzen, solch eine große Auswirkung auf die Struktur eines Universums hatte, das verblüffte sogar unsere kleine Göttin. „Ok, damit bin ich einverstanden“ meinte der Philosoph, als ihm die kleine Göttin ihre Idee der Geschwindigkeitsbegrenzung erläuterte. Aber an einer weiteren Stelle hast du auch noch einen Denkfehler drin. Bei den kleinen negativen Elektronen, die um deine positiven Atomkerne kreisen. Das sind doch eigentlich Schwingungen, die deine Elektronen vollführen, oder?“ - „Stimmt“ - „Na und was machen schwingende Elektronen?“ - „Sie strahlen elektromagnetische Wellen ab. Ist doch super, oder? Ach nö, ist natürlich gar nicht

super. Dann würde ja die Geschwindigkeit kleiner - Energieerhaltungssatz - und dann würden meine Elektronen in den Kern stürzen. Au Backe. Du hast natürlich recht, Philosoph. Dann gibt es doch einfach strahlungsfreie Umlaufbahnen für meine Elektronen. Ist eben eine Ausnahme.“ - „Ausnahmen sind immer Wunder ... und die darf es nicht geben. Du darfst als Schöpferin deines Universums nicht in Wundern sichtbar werden. Lies die Aufgabenstellung.“ Unsere kleine Göttin stöhnt leise vor sich hin. „Aber für heute machen wir so-wieso Schluss. Schlaf mal drüber. Morgen fällt dir sicher was Geniales ein, wie ich dich kenne.“

ZUFALL & CO



IDEALER WÜRFEL

AUCH DER ZUFALL FOLGT GEBETZEN

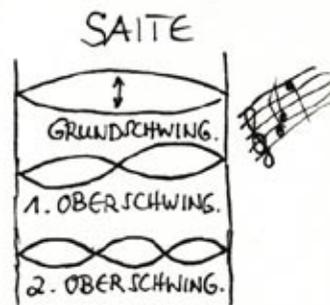
1	2	3	4	5	6	ANZAHL
		•				EIN WURF
	•		••			6 WÜRFE
•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	VIELE WÜRFE
GANZ VIEL 6	GANZ VIELE WÜRFE					



„Keine Wunder erlaubt“ Unsere kleine Göttin erwachte ausgeruht, aber etwas nervös. Denn die Aufgabestellung erschien ihr ziemlich schwierig. Sollte sie nicht besser ganz neu anfangen? Mit ganz neuen Materialien von der Materialausgabe? Die hatten doch sicher wieder Nachschub bekommen. Wenn sie sah, was alles auf dem Tisch vom kleinen fragenden Gott herumstand. Da hätte sie zehn Universen draus gebaut. Aber die kleine Göttin war ehrgeizig. Die kleine Göttin war neugierig. Die kleine Göttin war sehr selbstbewusst. Auch wenn sie manchmal verschlief und zu spät zum Unterricht kam. „Ich schaffe das“, meinte sie beim Frühstück. Und machte sich an die Arbeit. „Ich habe eigentlich schon fast alle Möglichkeiten ausgeschöpft. Ich hatte ja auch nicht viele. Masse, Raum, Zeit, Ladung, Energie. Und mal ganz ehrlich. Aus diesen wenigen Teilen habe ich doch schon ein echt stattliches Universum geschaffen. Aber

klar, der Philosoph hat natürlich recht. Ich kann ja in meinen göttlichen Gesetzen keine Lücken zulassen, die auf Wunder und damit auf mich schließen lassen. Ich werde aber trotzdem irgendwann in ein paar Milliarden Jährchen in meinem ersten eigenen Universum vorbeischaun, um zu sehen, wie sich hier meine Lebewesen so schlagen. Laplace plant das ja schon alles ganz akribisch in sein Universum ein. Das will ich aber sowieso nicht. Ich will gerne, dass sich der freie Wille entwickeln kann. Vielleicht passt ja da genau der Eimer Zufall dazu, den ich noch vom Netzwerker mitgenommen habe. Aber wie baut man Zufall in so ein wundervoll filigranes Gebilde wie in mein Universum ein?“ Die kleine Göttin verbrachte den halben Vormittag nur mit Nachdenken. Man sah sie mit Würfeln hantieren und Zufälle beobachten. Bis sie juchzte und halblaut rief: „Ich glaube, ich hab's.“

STEHENDE WELLEN



(*) VERSTEHT NUR DIE GÖTTIN (b)

„Wenn sich Ladungen beschleunigen, dann senden sie elektromagnetische Wellen aus. Also Energie. Das soll verhindert werden. Also dürfen sich die Elektronen in einem Atom nicht wirklich bewegen. Sie müssen sich einfach in einem bestimmten Bereich befinden. Mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit in einem bestimmten Bereich aufhalten. Und dafür gebe ich den Wahrscheinlichkeiten Welleneigenschaften. Ich liebe Wellen. Warum nicht alles mit Wahrscheinlich-

keitswellen neu einkleiden. Im normalen Alltag merkt das ja niemand. Da bleibt alles beim Alten. Aber wenn dann meine Lebewesen wirklich mal so schlau werden, dass sie die Gesetze in der Tiefe verstehen wollen, dann müssen sie sich einfach ein wenig auf den ganz normalen Wahnsinn des Zufalls einstellen. Den ich ja auch richtig smart finde. Der lässt so viele Möglichkeiten entstehen, dass Laplace am Ende ziemlich neidisch werden wird.“

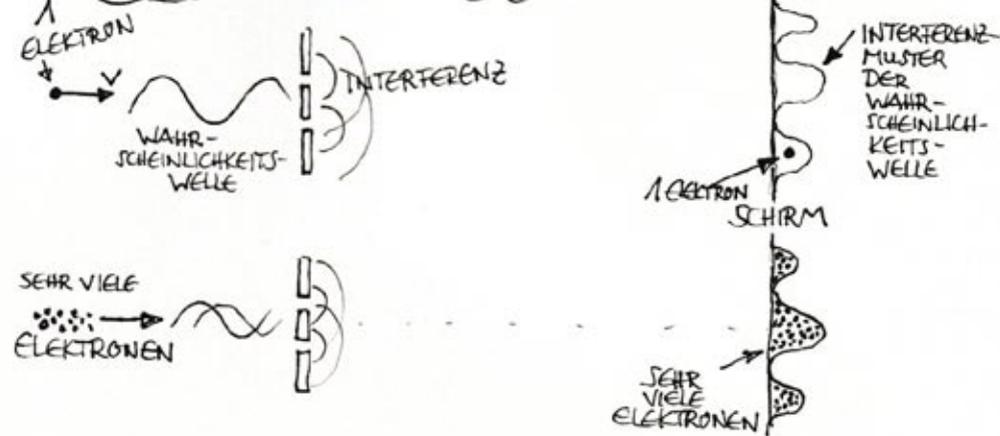
LICHTQUANTEN



Ich nehme das Prinzip der Wahrscheinlichkeitswellen dann aber gleich auch für meine geliebten elektromagnetischen Wellen. Die sollen aus lauter kleinen Energiepaketen bestehen, die sich nach den Mustern von Wahrscheinlichkeitswellen im Raum entwickeln. Zusammen mit dem Raum. Denn dann hängt es für so ein Energiepaket ja davon ab, wie der Raum gestaltet ist, in dem es sich entwickelt. Upps, sehr spannend. Dann ändert sich die Wellenfunktion des

Quants, wenn sich der Raum verändert. Dann hängt alles mit allem zusammen. Cool.
 „So, und nun noch etwas genauer,“ meinte die kleine Göttin nach der Mittagspause. „Die kleinen Energiepakete sollen nur direkt proportional von der Frequenz der Welle abhängen. Je größer die Frequenz, desto größer die Energie des Quants. Aber immer mit Lichtgeschwindigkeit unterwegs. Klar doch.“

DAS ELEKTRON AM DOPPELSPALT



Auch bei meinen geliebten Elektronen ist das dann so. Alles ein wunderbares Geflecht von Wahrscheinlichkeitswellen. Wenn ich Elektronen auf einen Doppelspalt schieße, dann treffen sie auf dem Schirm dahinter nach Mustern auf, die der Interferenz ihrer Wahrscheinlichkeits-

wellen entsprechen. Sehr cool. Und alles strahlungsfrei, weil es ja keine wirkliche Bewegung der Teilchen gibt. Also passt doch alles zusammen. Die Feinheiten verpacke ich am Ende noch in ein paar weitere Dimensionen und dann ab die Post.

QUANTENSÜNGE



„Und dann die Elektronen in meinen atomaren Systemen. Sie funktionieren wie stehende Wellen. Dort, wo es Schwingungsbäuche gibt, ist die höchste Wahrscheinlichkeit, das Elektron anzutreffen. Und damit habe ich auch die Idee gelöst, wie ich Quanten emittieren und absorbieren kann. Einfach indem die Elektronen zwischen den stehenden Wellen hin und herspringen.“ Die kleine Göttin war hochzufrieden. Alles passte wunderbar zusammen. Für ihre Lebewesen hatte sie mit dieser Idee der Billionen und Aber-Billionen Zufälle eine geniale Möglichkeit gefunden, diese Vorherbestimmung aller Abläufe des Lebens wie im Laplace'schen Universum zu umgehen. Leben durfte sich ganz zufällig entwickeln, weil ja auch das Innerste ihrer Welt mit filigranen Zufallserscheinungen von kunterbunten Wahrscheinlichkeitswellen aufgebaut war. Ohne dass man es als „großes

Lebewesen“ einfach so erkennen konnte. Aber die großen Dinge wie Äpfel, die von Bäumen fielen oder Monde, die um Planeten kreisten, verhielten sich nach völlig simplen Gesetzen, die man auch als Lebewesen verstehen konnte. Zumindest konnte man als Lebewesen meinen, man könnte es verstehen. Die Zeit lief ja auch im Normalfall neben dem Raum einher ... Dass es da eine geniale Verknüpfung zur Raumzeit gab, das würde man auch nur später einmal als Wissenschaftler:in merken können. „Jetzt gebe ich einfach ab, finde ich. Immerhin heißt es ja auch auf dem Arbeitsblatt, dass es völlig ausreicht, 80% eines funktionierenden Universums auf den Weg zu bringen. Den Rest würden die Wissenschaftsgötter der Götterschule ergänzen. Alle Universen unter 80% wurde vom Netzwerker recycelt und wieder ins Regal gestellt. Für die nächste Praktikums-Runde.

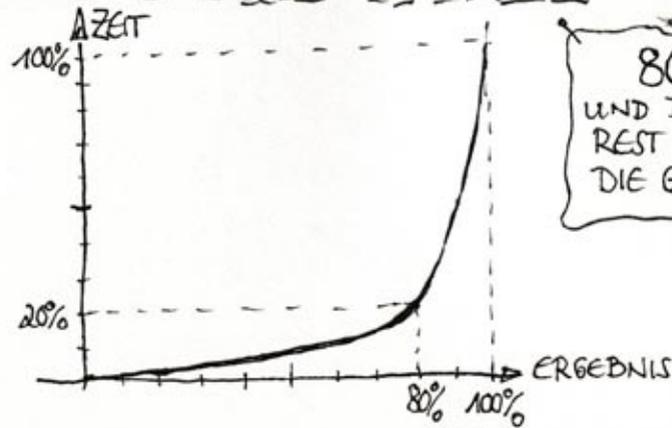
DAS LEBEN MIT DEM NATÜRLICHEN ZUFALL, OHNE GÖTTLICHE WUNDER...



„Ich bin sooo aufgeregt,“ stellte die kleine Göttin fest. Nachdem Laplace mit 65% aus dem Prüfungszimmer kam ... und stolz eine sehr gute Zensur in die Höhe hielt und der kleine Gott der vielen Fragen mit 45% und einer durchschnittlich guten Zensur an ihr vorbeilief, rief man sie nun ins Zimmer. Mit klopfendem Herzen trat sie ein. Und erschrak über den tosenden Applaus, der von den gefüllten Rängen kam. Normalerweise saßen 2 oder 3 Göttinnen und Götter in der Prüfungskommission. Bei ihr waren aber sicher weit über 100 anwesend. „Hilfe, was ist denn hier los?“ dachte die kleine Göttin. Der Applaus ebte ab und der oberste

Prüfungsgott räusperte sich. Danach wurde es ruhig. Und dann durfte unsere kleine Göttin den versammelten Göttinnen und Göttern ihr Universum in aller Ausführlichkeit erläutern. Als sie beim Thema Zufälligkeit in ihrer Welt und dem Thema Liebe zwischen ihren Lebewesen angekommen war, die sie sich ohne viele Zufälligkeiten nicht vorstellen konnte, gab es Zwischenapplaus. Ansonsten lauschte die versammelte Götterschar gebannt, was die junge Forscherin von sich gab. Als sie geendet hatte, brandete der Applaus wieder auf. Und endete erst, als der oberste Prüfungsgott die Hand hochhielt. Dann verkündete er die Sensation.

DAS PARETO PRINZIP



80%
UND DEN
REST MACHEN
DIE GÖTTER.

97%. Exzellenzstatus. Damit durfte ihr Universum tatsächlich an den Start gehen. „Manchmal ist es vielleicht ganz gut, zu verschlafen,“ meinte der oberste Prüfungsgott am Ende seiner Rede. Denn so ein schlankes wunderbares Universum, in dem die Liebe sich entwickeln durfte, hätte er noch niemals gesehen.

Es war ein ganzes Team von Göttinnen und Göttern, die sich noch ziemlich lange über das Modell der kleinen Göttin beugten, um es ganz zu verstehen und um ihm später zu den 100% zu verhelfen, damit es dann tatsächlich auch an den Start gehen konnte.



IN 3% UNGELÖSTERFRAGEN KÖNNEN KÖNNTEN ABER STATT

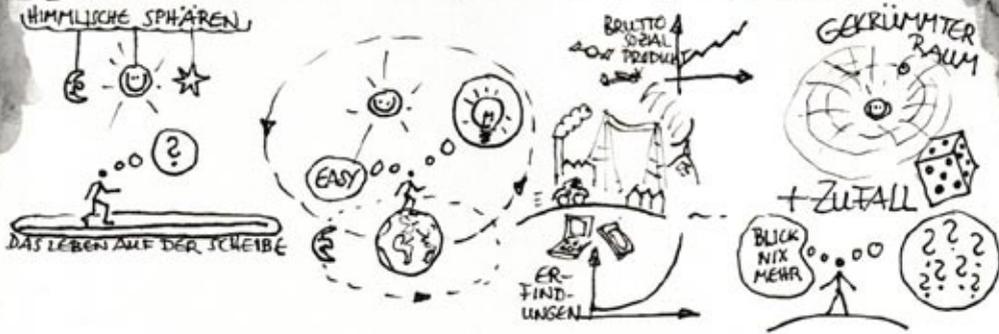
$\frac{3}{100}$ SCHNELL MAL 3^{100} NEUE UNGELÖSTE FRAGEN VERSTECKT SEIN.

DAS WISSEN ALLEIN DIE GÖTTINNEN

Diese 3% hatten es allerdings in sich. Sie waren so kompliziert, dass der kleine Göttin der Kopf schwirrte. Sie durfte immer dabei sein. Sie sah zu, wie noch viele neue Dimensionen eingebaut wurden, um ihre 4 Dimensionen so zu ergänzen, dass auch wirklich gewährleistet war, dass das Universum seine komplette Lebensdauer ohne äußeren Eingriff der kleinen Göttin rund lief. „Aber was ist, wenn meine Lebewesen mit dem vielen Zufall dann doch mal Bockmist machen? Darf ich dann wenigstens eingreifen?“ „Niemals!!!“ ... war die klare Antwort. „Wenn dein Universum einmal

gestartet ist, ist es für Göttinnen und Götter verbotene Zone. Ist so. In den normalen Universen ist das ja sowieso kein Problem. Da ist alles vorherbestimmt. Den Zufall trauen sich wenige einzubauen. Denn das ist ja in deinem Universum der Clou. Selbst die Entwicklung deiner Lebewesen unterliegt ja dem Zufall. Und wenn sie anfangen sollten, zu denken, dann bekommen sie dadurch einen freien Willen. Das wird sicher hochspannend. Aber aus diesem Wahnsinn der Möglichkeiten musst du dich als Göttin heraushalten. Sonst vergrößerst du den Wahnsinn nur noch.“

DAS WUNDERSAME UNIVERSUM



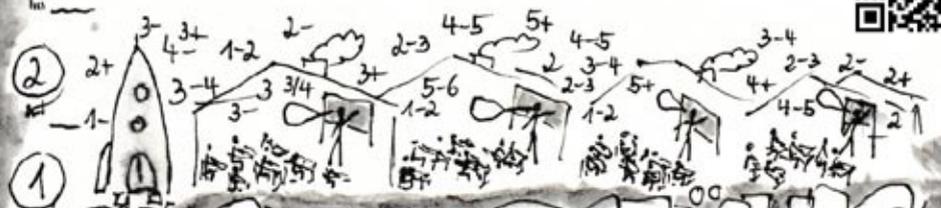
Und ja, so kam es, dass die kleine Göttin ein Universum entwickelt hatte, das für die ersten denkenden Lebewesen erst einmal völlig unerklärlich erscheinen musste. Eine Sonne und ein Mond, der nicht auf sie herunterfiel. Da blieb ja nur der Glaube an die Göttinnen und Götter. Später würden sie aber sicher herausfinden, wie Sonne, Mond und Erde funktionierten. Mit drei Dimensionen und einer nebenherlaufenden Zeit, die immer in die Zukunft gerichtet war. Dass sie die Zeit in Wirklichkeit mit dem Raum verknüpft hatte, würden auch sehr kluge Lebewesen niemals richtig verstehen können. Weil sie sich ja auch nie so nahe der Lichtge-

schwindigkeit bewegen würden. Aber klar, herausfinden könnten sie es sicher irgendwann einmal. Und damit Smartphones, Internet und GPS entwickeln. Und die meisten Lebewesen würden sicher denken, Physiker:innen könnten alles verstehen und würden auch irgendwann die wirkliche Weltformel entdecken, die alle Phänomene in ihrem Universum erklären könnte. Aber dafür hatten die Spezialist:innen in der Götterschule ja in den 3% so viele abgefahrenen Feinheiten eingebaut, dass es doch ziemlich unwahrscheinlich war, dass dadurch am Ende Göttinnen und Götter nachgewiesen werden könnten.

RAKETENGEFÜHLE



- 10
- 9
- 8
- 7
- 6
- 5
- 4
- 3
- 2
- 1



SCHULGEFÜHLE

Kleines Nachwort zur kleinen Göttin

Die kleine Göttin habe ich einst für meine Abiturient:innen erfunden, um ihnen die wunderbare Schlichtheit der Natur näherzubringen, die mich bis heute tatsächlich immer noch ins Schwärmen bringen kann. „Das Unbegreifliche an der Natur ist ihre Begreifbarkeit.“ meinte einst Albert Einstein. Zumindest für die Schulphysik bis zur Relativität und Quantenphysik stimmt das absolut. Nachdem Old Albert uns dann mit seiner Relativitätstheorie und seiner Quantenphysik losgetreten hat, hätte er seinen Satz etwas umändern können: „Das Unbegreifliche an der Natur ist ihre Berechenbarkeit.“

Aber für euch bis zum Abitur gilt der alte Satz, denn Quantenphysik kommt nur in ganz kleinen Dosierungen vor ... da hat

man am Ende sogar das Gefühl, es zu begreifen. Obwohl es im üblichen Sinne nicht begriffen werden kann. Von niemandem.

Ich habe viele Schüler:innengenerationen zum Abitur begleitet und dabei immer wieder neue Ansätze ausprobiert, um diesen Satz als Grundlage für meine Aussage zu nehmen: Das Physik-Abitur ist ein Papiertiger. Wenn man die Schul-Physik einmal durchschaut hat.

Gegen Ende meiner aktiven Schulmeisterzeit habe ich schon viel mit Online-Kapiteln herumgetüftelt. Passend zu diesem kleinen Heft zur kleinen Göttin verlinke ich ein paar davon.

Gruß
Otto Kraz

Die kleine Göttin und die Physikmaschine



Die kleine Göttin als Song in Englisch
Eli Riccardi – damals 9. Klasse



Die kleine Göttin und der übliche
Lehrplan der Schulphysik



Das Prinzip der Physikmaschine



Eigene Aufgaben entwickeln



Die kleine Mathekoffer

Abi2011

Und damit meine Abiturient:innen kopieren, dass die Schulphysik ein Papiertiger ist und das eigentliche Problem oft nur

in dem lückenhaften Mathewissen der Mittelstufe liegt, habe ich ihnen sogar mal alle Formeln für das Abi in ein Liedlein gepackt. :-)



Herausgeber
Heinz Bayer alias Otto Kraz
Hochschule für agile Bildung Zürich
www.hfab.ch
Forum kollaborative Improvisation
www.aufeigenef Faust.com
Kontakt: otto.kraz@aufeigenef Faust.com

Das sprechende Physikmagazin zur kollaborativen Improvisation

Für ein schnelles, spannendes und effektives Erreichen selbst gesteckter Ziele



Der physikalisch kollaborative Improvisationsgarten