

**Mikrokosmos und Makrokosmos:  
wunderbar, aber fremd**

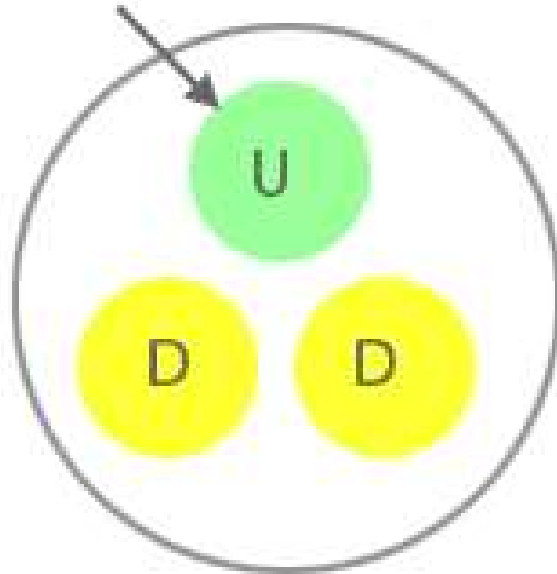
Wie sehen diese beiden Welten „da draußen“ aus?

Sie sind fremdartig und entziehen sich unserem Vorstellungsvermögen.

## Ein Blick in den Mikrokosmos

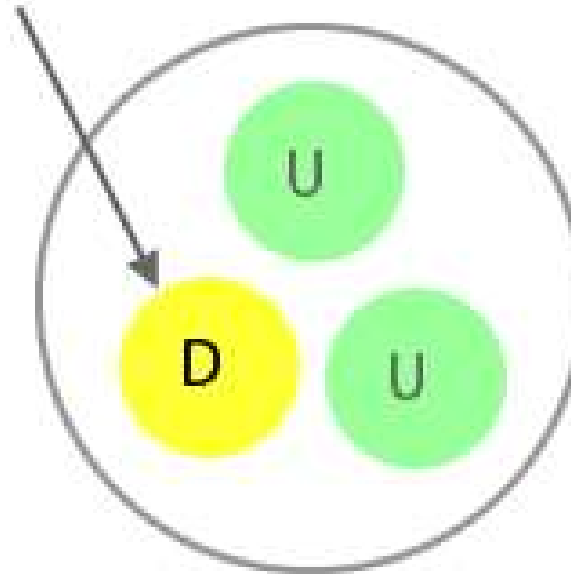
Protonen (elektrisch geladen) und Neutronen (elektrisch neutral) setzen sich aus drei Quarks zusammen (Protonen aus 2 up-Quarks und einem down-Quark, Neutronen aus zwei down-Quarks und einem up-quark).

up quark



neutron

down quark



proton

Die Quarks werden durch die starke Kraft zusammengehalten.  
Die Kraftteilchen sind die Gluonen.

## **Unvorstellbar klein:**

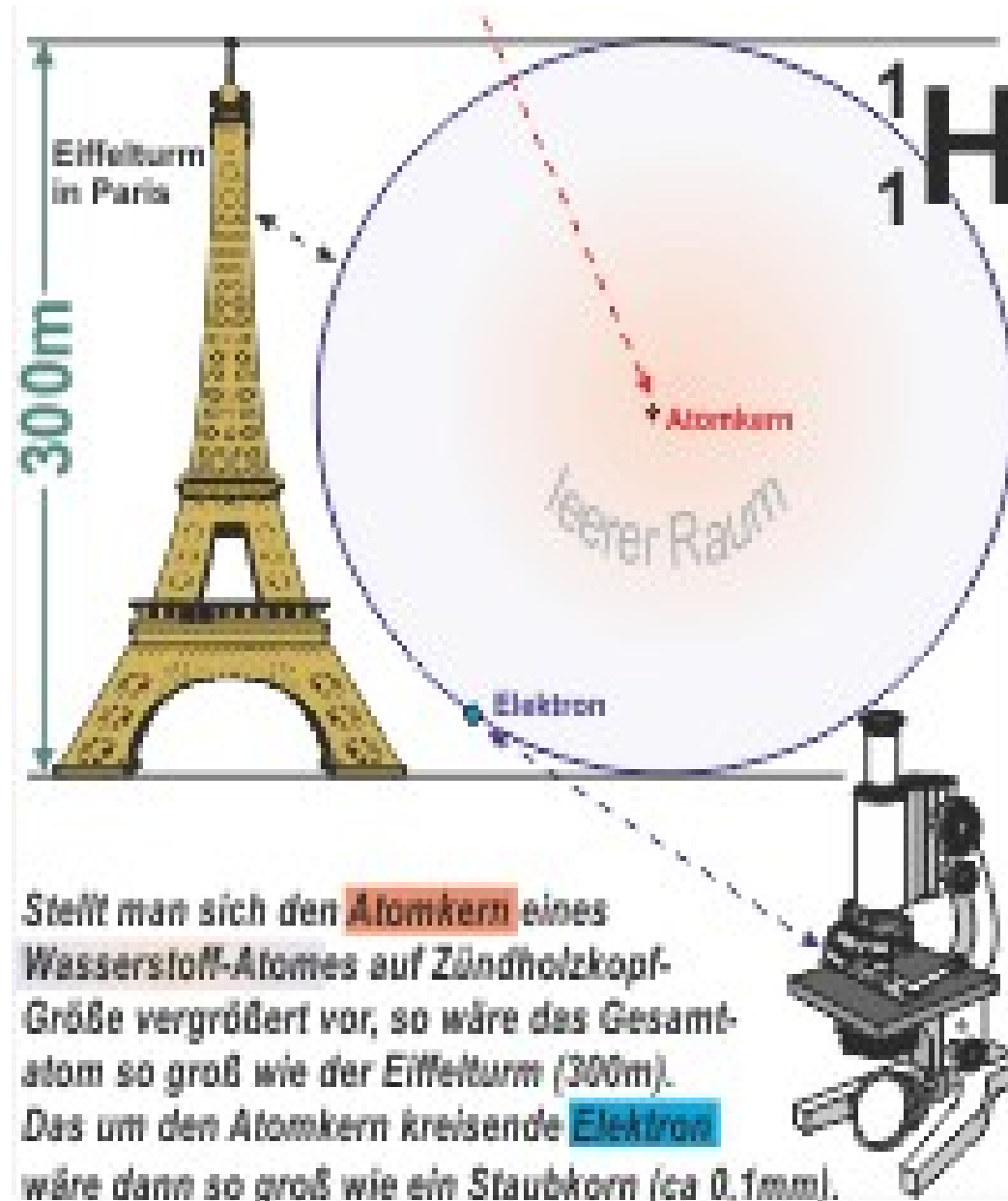
Eine Glasmurmel wird zur Größe der Erde anschwellen, wenn man ein Atom zu einer Glaskugel vergrößert

Dennoch können heute Atome mit einem Spezialmikroskop sichtbar gemacht werden

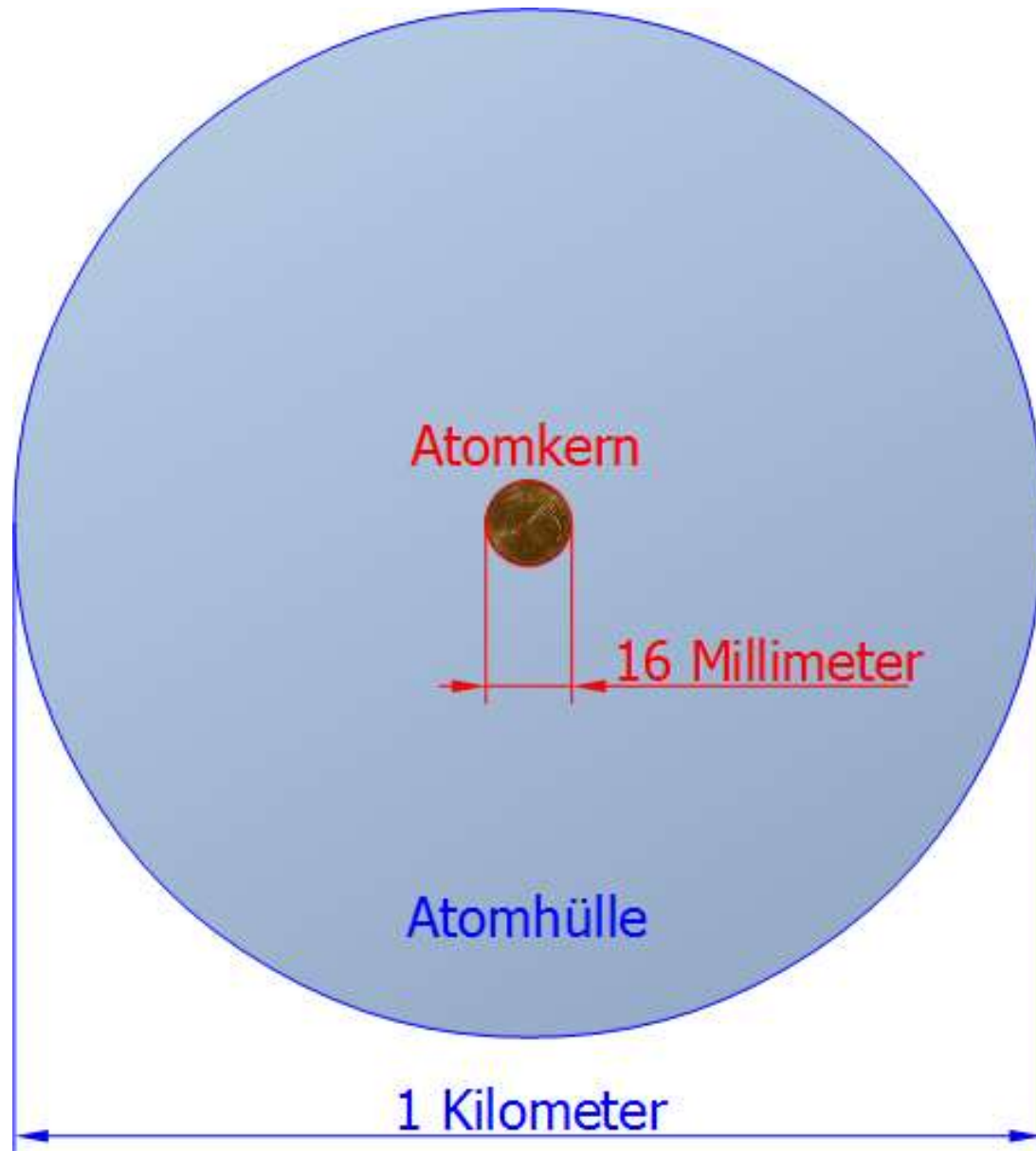
Wabernde Gebilde: nur beim absoluten Nullpunkt wären sie völlig regungslos

Gerd Binnig (LMU) hat wesentlich zur Entwicklung des Rastertunnelmikroskops beigetragen (Nobelpreis)

Aber der Atomkern ist  
nochmals sehr sehr viel  
kleiner als das  
Gesamtatom.



Verhältnis  
Atomkern zu  
Elektronenbahnen:  
Zündholzkopf zu  
Eiffelturm



Psychologisch nicht nachvollziehbar

Die Welt besteht aus riesigen Leerräumen, aus fast nichts

Die „Materie“ schrumpft zu winzigen Pünktchen zusammen

Alle unsere Alltagserfahrungen sind trügerisch: wir fassen mit unseren Händen nicht Festes. Die praktisch aus nichts bestehenden Hände ergreifen ein fast aus nichts bestehendes Objekt

Vollmer nennt unsere Welt mit unserer Wahrnehmung den Mesokosmos. Er erlaubt uns Wissen und Erkenntnisse, die unserem Überleben dienen. Das Wesen des Mikrokosmos und Makrokosmos ist davon völlig verschieden.



## Plausibel, aber falsch

Das **Bohr-Sommerfeldsche Atommodell** oder die **Sommerfeld-Erweiterung** ist eine physikalische Beschreibung der Elektronenbahnen in einem Atom. Es wurde 1915/16 von Arnold Sommerfeld vorgeschlagen und stellt eine Verfeinerung des bohrschen Atommodells dar.

Es ist ein keplersches Planetensystem im Kleinen, während das bohrsche Modell der älteren kopernikanischen Vorstellung entspricht. Diese Analogie ist naheliegend, da die Kraftfelder der Coulombkraft des Atomkerns und der Gravitation der Sonne die gleiche Form haben:

$$F \sim \frac{1}{r^2}.$$

Bis dahin ist die Welt noch in Ordnung. Sie ist im kleinsten wie im Größten gleich aufgebaut! Hierin würden wir das Wunder sehen und Freude daran haben.

## **Das Verschwinden der deterministischen Welt**

Das Bohr-Sommerfeldsche Modell versagt aber wie schon das Bohrsche Modell bei allen Berechnungen von Atomen mit mehr als einem Elektron. Dass dieser Fehlschlag von der irrigen Annahme definierter, klassischer Teilchenbahnen herrührte, wurde ab 1925 deutlich, als die neue Quantenmechanik wesentlich mehr Beobachtungen erklären und Vorhersagen machen konnte. In ihr gibt es keine definierten Bahnen mehr, wie man z. B. an der Heisenbergschen Unschärferelation erkennen kann, sondern nur noch Wahrscheinlichkeitsverteilungen.

## Heisenbergsche Unschärferelation

Unter dem Begriff des Unschärfe- oder auch Unbestimmtheitsprinzips werden die folgenden Aussagen zusammengefasst, die zwar miteinander verwandt sind, jedoch physikalisch unterschiedliche Bedeutung haben. Sie sind hier beispielhaft für das Paar Ort und Impuls beschrieben.

1. Es ist nicht möglich, einen quantenmechanischen Zustand herzustellen, bei dem der Ort und der Impuls genau definiert sind.
2. Es ist prinzipiell unmöglich, den Ort und den Impuls eines Teilchens gleichzeitig genau zu messen.
3. Die Messung des Impulses eines Teilchens ist zwangsläufig mit einer Störung seines Ortes verbunden, und umgekehrt.

Unsere Alltagsvorstellung von einem Teilchen, das ja immer an einem bestimmten Ort ist, trifft in der Quantenwelt nicht zu.

Ein Teilchen kann sich zugleich an vielen Stellen befinden, wenn man den Impuls misst.

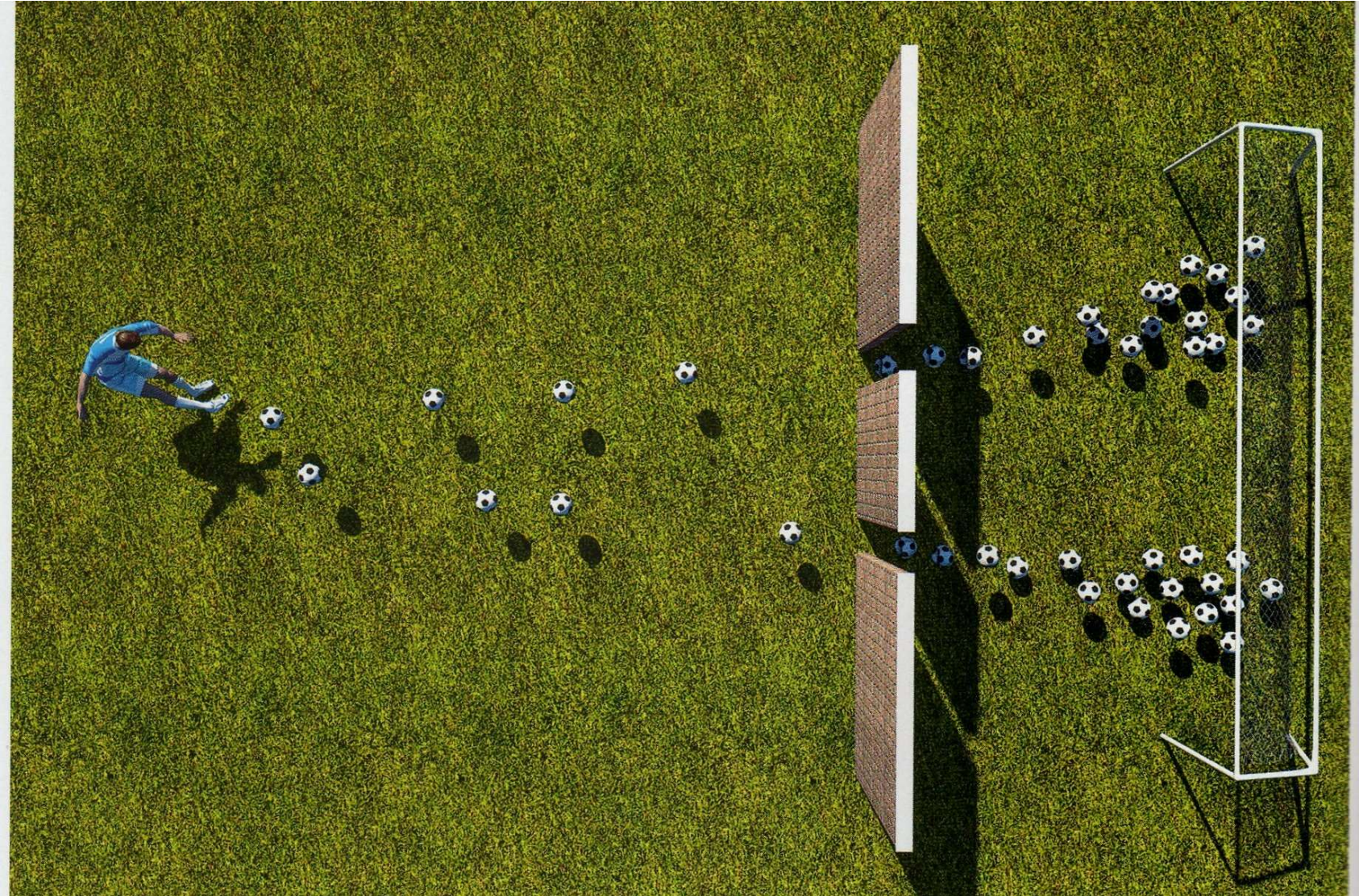
Wenn man das Teilchen lokalisiert, kennt man den Impuls nicht.

Fußball als Beispiel: wir würden nicht die Geschwindigkeit messen können, wenn wir den Ort des Balls kennen und umgekehrt.

In der Quantenwelt verhalten sich Teilchen auch wie Wellen.

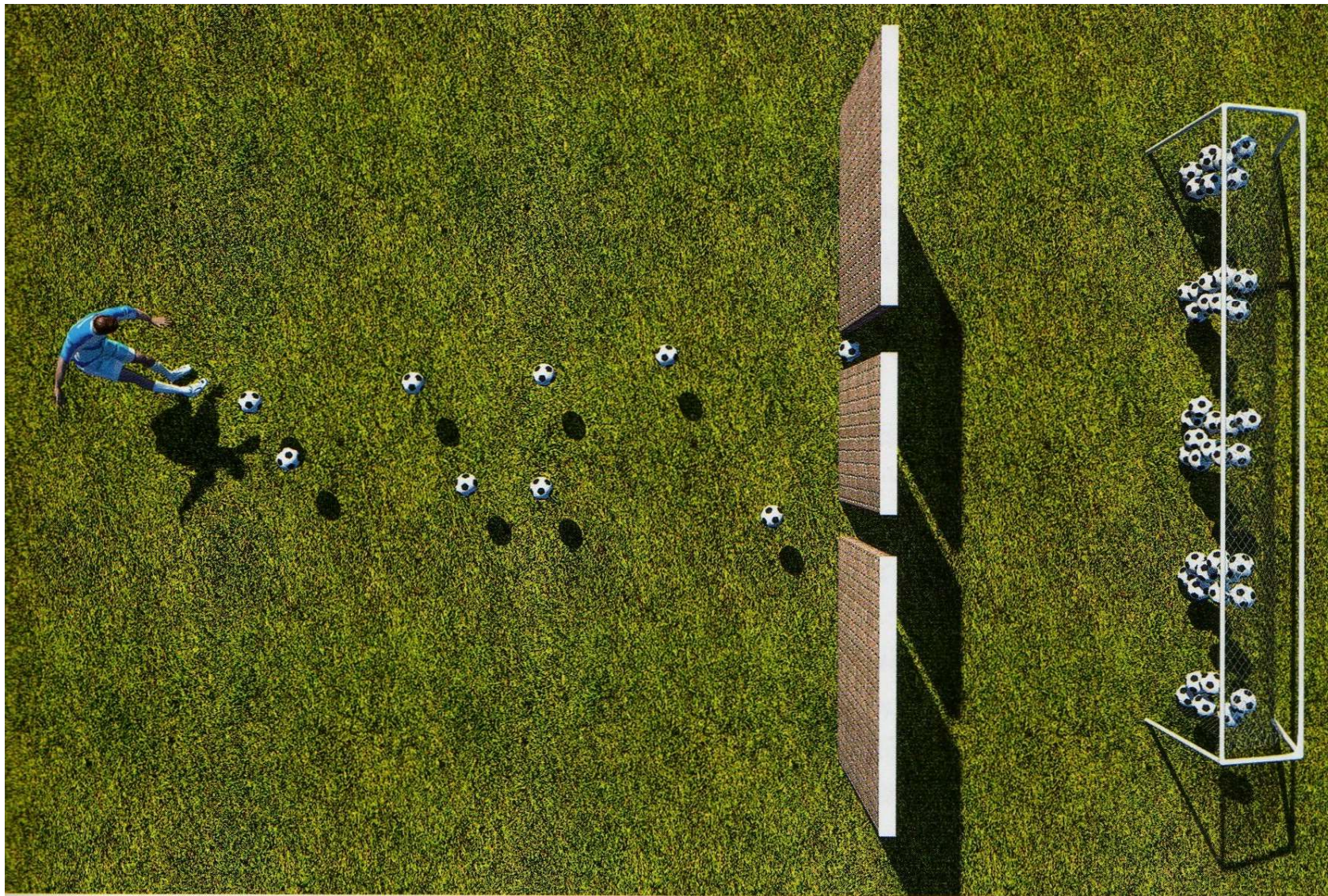
Experiment an Doppelspalt.





So fliegen die Bälle (Teilchen) in unserer Welt



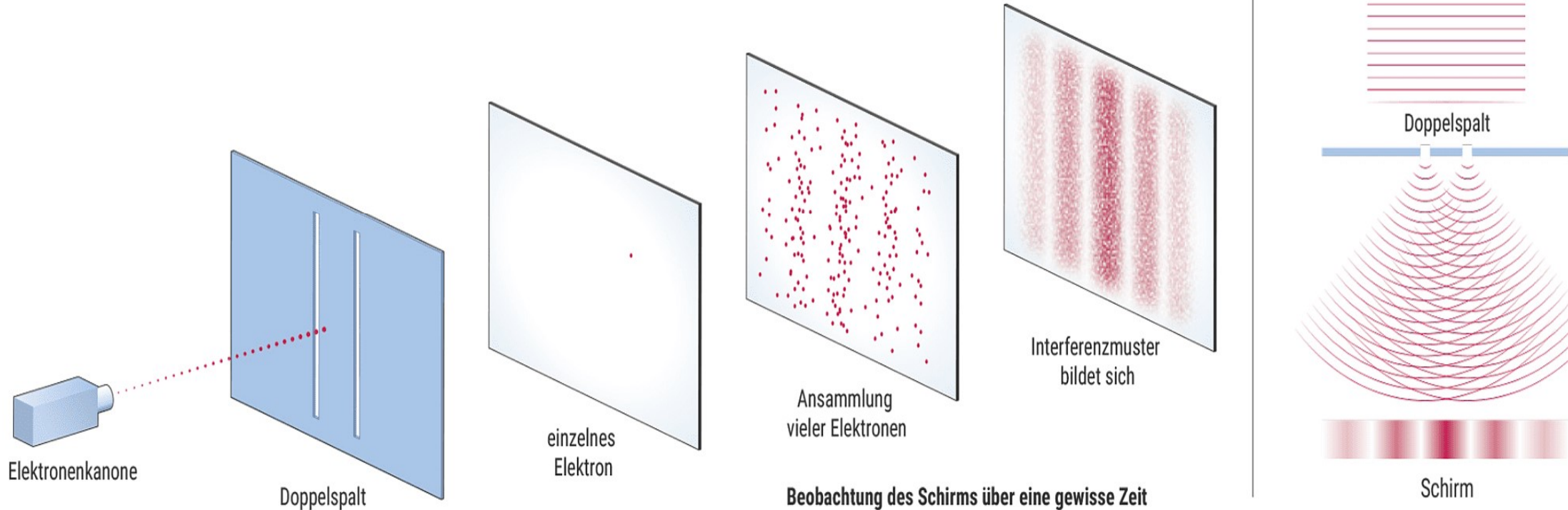


Interferenzmuster  
zeigt, dass die  
Teilchen sich wie  
Wellen verhalten

So fliegen die Teilchen in der Quantenwelt

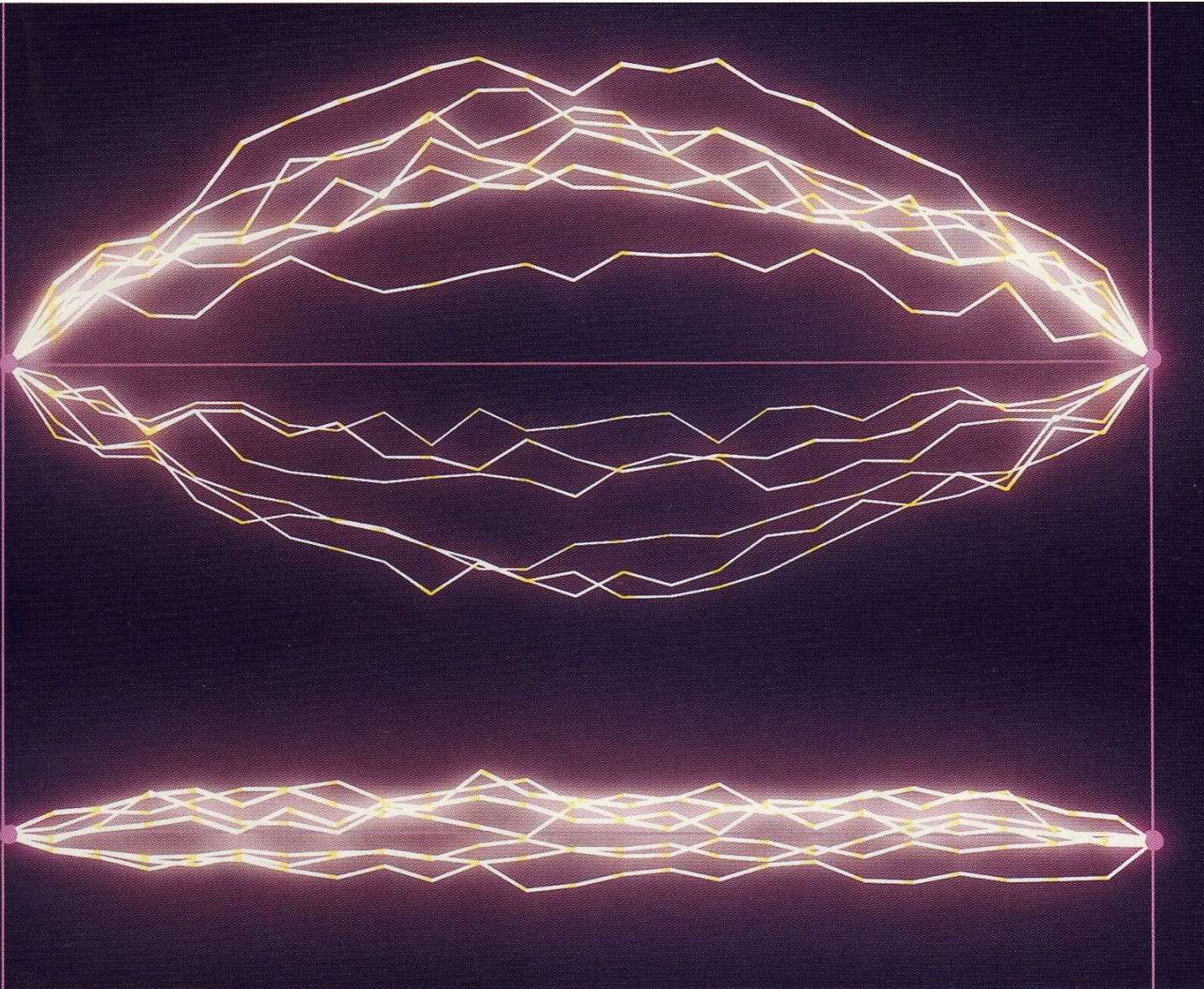


# DAS DOPPELSPALT-EXPERIMENT



**Welle-Teilchen-Dualismus | Sobald einzelne Quantenobjekte – etwa Elektronen – nacheinander durch einen Doppelspalt geschossen werden, verhalten sie sich wie Teilchen: Jedes trifft einen dahinter aufgespannten Schirm auf einer eigenen Position. Andererseits benehmen sie sich in diesem Experiment aber auch wie Wellen: Aufeinander folgende Treffer überlagern sich auf der anderen Seite zu einem Interferenzmuster, wie man es von Lichtwellen kennt, die denselben Parcours durchlaufen.**





Teilchen im Mikrokosmos können nur in Wellenfunktionen dargestellt werden, sie lassen sich vor ihrer Beobachtung nicht an einem bestimmten Ort positionieren.

Stärker auf die Mitte konzentrierte Auftretenswahrscheinlichkeit

Gleichmäßiger verteilte Auftretenswahrscheinlichkeit

Hawking & Mlodinow, 2010: Der große Entwurf



Der österreichische Physiker Erwin Schrödinger formulierte 1926 die nach ihm benannte Gleichung, mit der sich die Wellenfunktion für beliebige Quantensysteme berechnen lässt. Über die Natur der Wellenfunktion konnten aber weder er noch sonst jemand eine Aussage machen.

## Die Kopenhagener Deutung

Der Unterschied zu Theorien der klassischen Physik äußert sich in zwei Merkmalen: Die Quantenmechanik ist danach a) *nicht beobachtungsfrei* und b) *nicht wahrscheinlichkeitsfrei*.

Dies bedeutet erstens, dass der Rolle des Beobachters in der Quantenmechanik eine herausgehobene Bedeutung zukommt. Das liegt daran, dass im Rahmen der Kopenhagener Deutung die Wechselwirkung zwischen *Objekt* und *Apparat* weder ignoriert oder zum Verschwinden gebracht, noch explizit untersucht werden kann. In diesem Sinne gibt es keine Unabhängigkeit des untersuchten Objekts vom Beobachter.

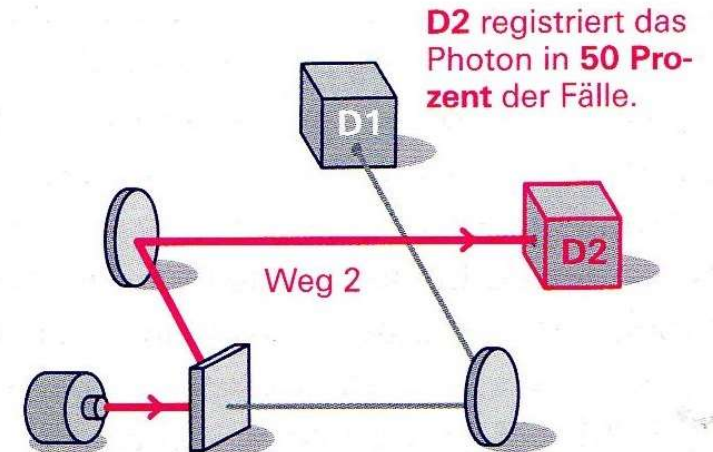
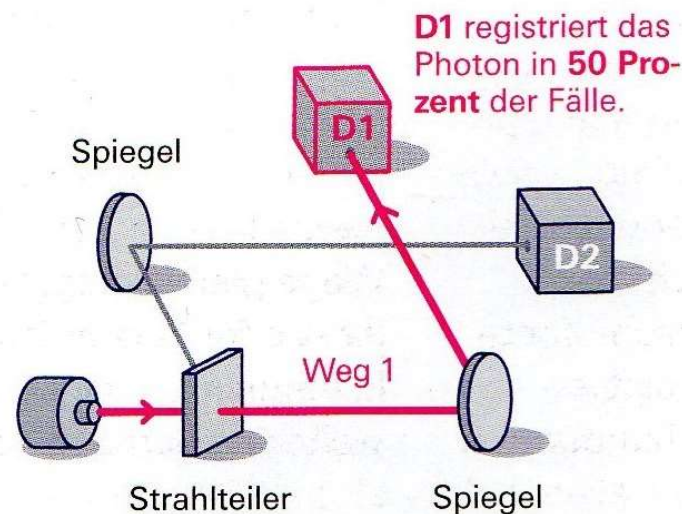
. Zweitens bedeutet dies, dass die Wahrscheinlichkeiten primärer Natur sind, d.h. nicht etwa nur Ausdruck einer Unkenntnis des Systemzustandes: Die Zustands-Wellenfunktion  $\psi$  beschreibt ein Objekt in der vollständigst möglichen Form und liefert nur Wahrscheinlichkeitsaussagen über den möglichen Ausgang von Messungen.

# Kausalität auf den Kopf gestellt

Ein Experiment mit »verzögerter Entscheidung« (Englisch: delayed choice) zeigt, wie wechselhaft der Charakter eines Lichtteilchens ist.

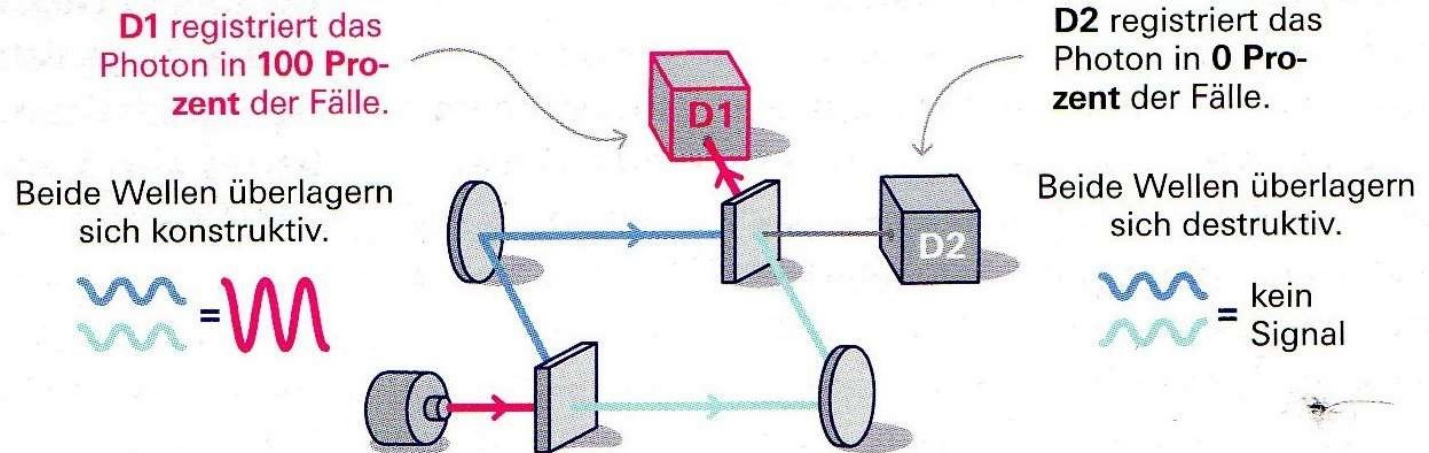
## Wenn das Photon ein Teilchen ist

Von einer Quelle ausgehend nimmt ein Teilchen hinter einem Strahlteiler entweder Weg 1 oder Weg 2 und erreicht entsprechend Detektor D1 oder Detektor D2.



## Wenn das Photon eine Welle ist

Mit einem zweiten Strahlteiler verhält sich das Photon wie eine Welle, die sich am ersten Strahlteiler aufspaltet. Am zweiten Strahlteiler kommen die Wellen wieder zusammen. Das Photon landet stets bei ein und demselben Detektor.

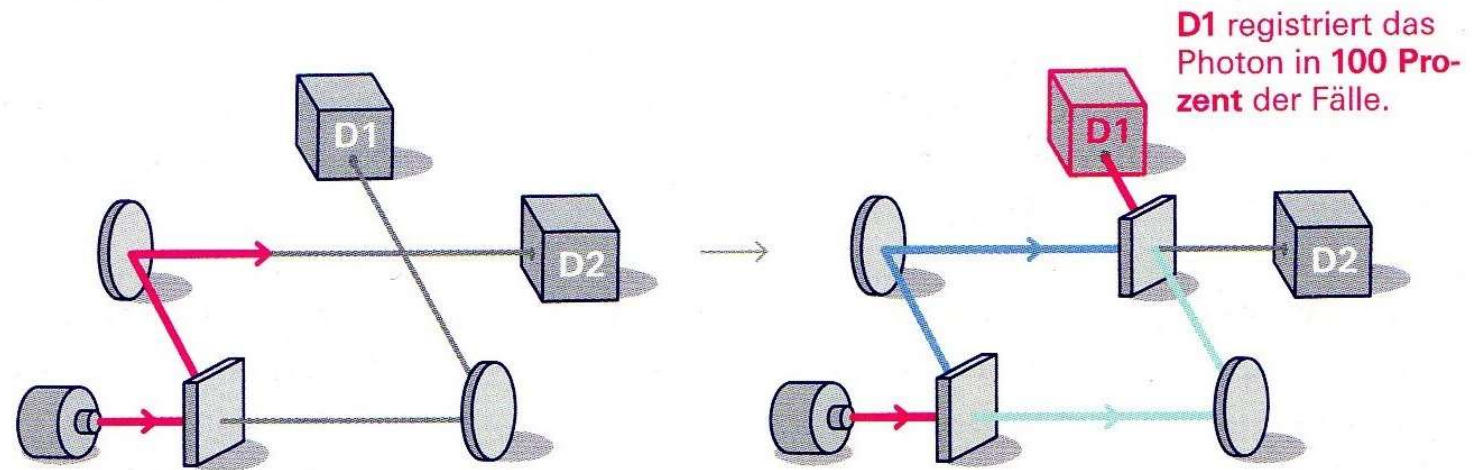


**Woher weiß das Photon beim Start, dass jetzt zwei Strahlenteiler da sind?**



## Verzögerte Entscheidung

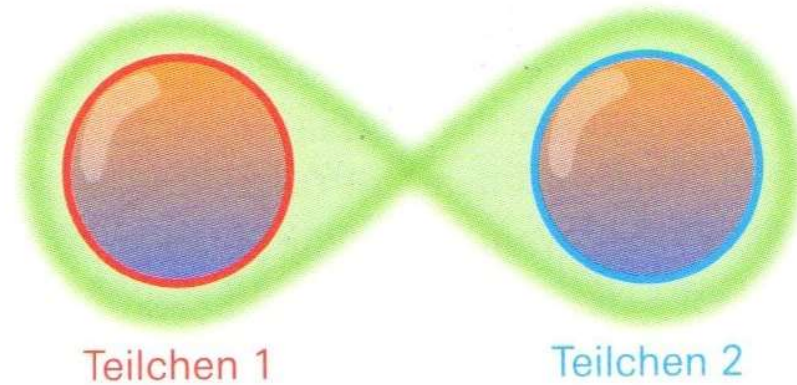
Anfangs ist nur ein Strahlteiler im Versuchsaufbau. Das Photon sollte sich wie ein Teilchen verhalten. Erst während es die Apparatur durchläuft, kommt ein zweiter Strahlteiler hinzu. Dadurch wird das Photon schlagartig eine Welle – als hätte es von Beginn an beide Wege genommen.



**Schlussfolgerung:** Entweder sendet das Einfügen des zweiten Strahlteilers ein Signal rückwärts durch die Zeit, um das anfängliche Verhalten des Lichtteilchens zu beeinflussen, oder Photonen besitzen keine definierten intrinsischen Eigenschaften, solange sie nicht beobachtet werden.

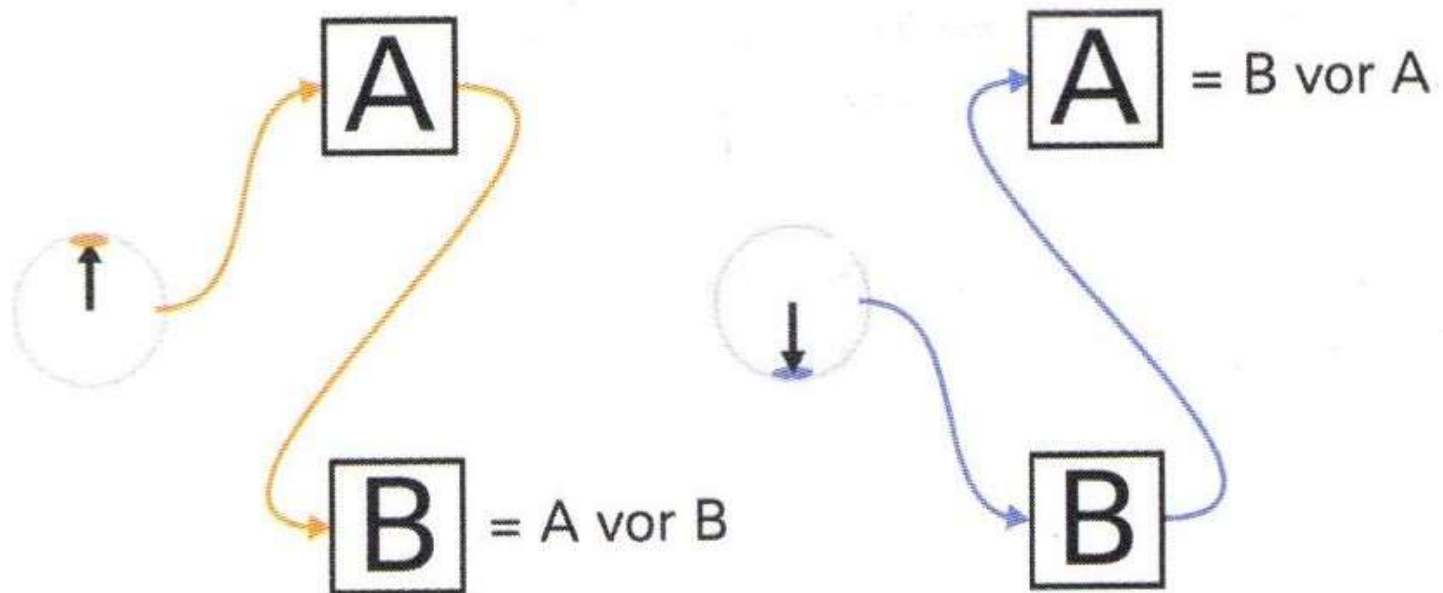
# Quantenwelt: Verschränkung

Superposition mehrerer Teilchen



# klassische Welt

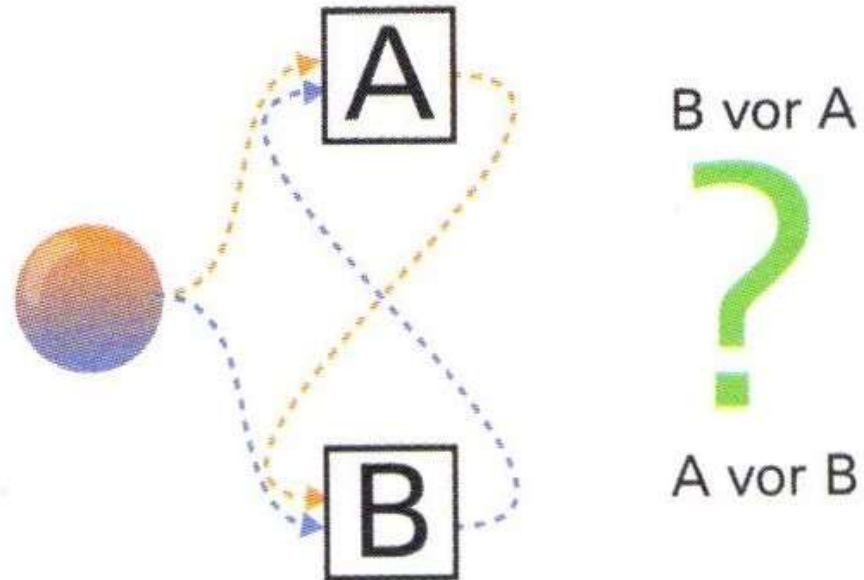
Je nach Zustand des Schalters kommt  
entweder A vor B oder B vor A.





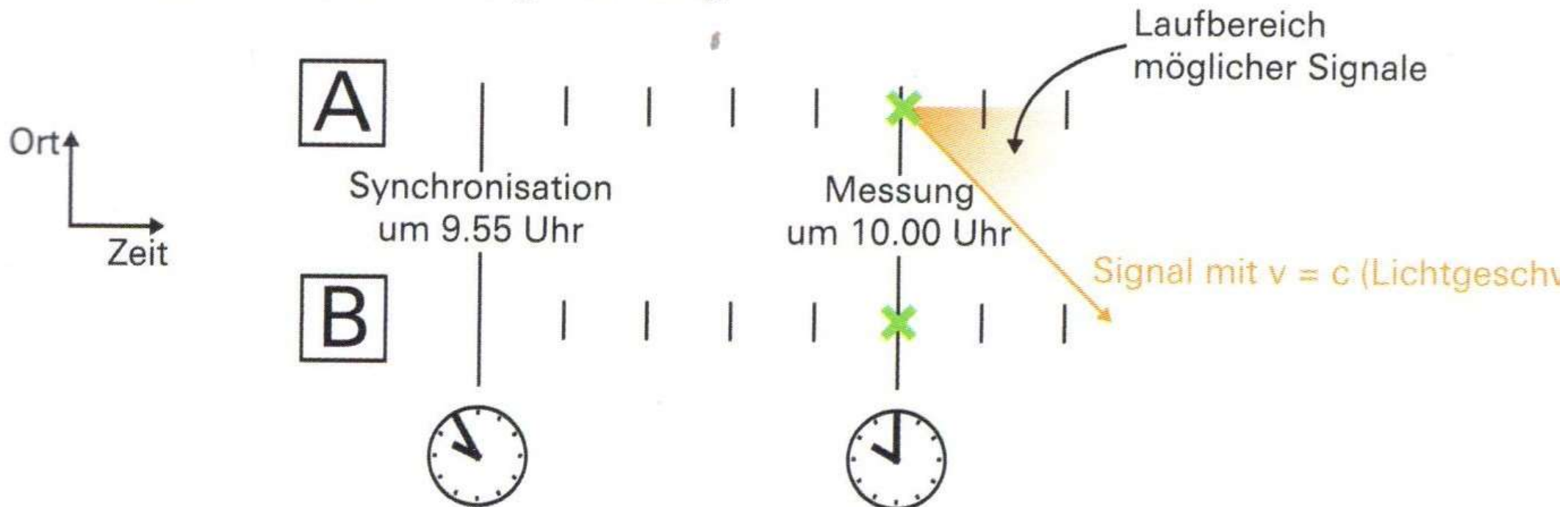
# Quantenwelt

Ein Schalt-Qubit überlagert beide Möglichkeiten.



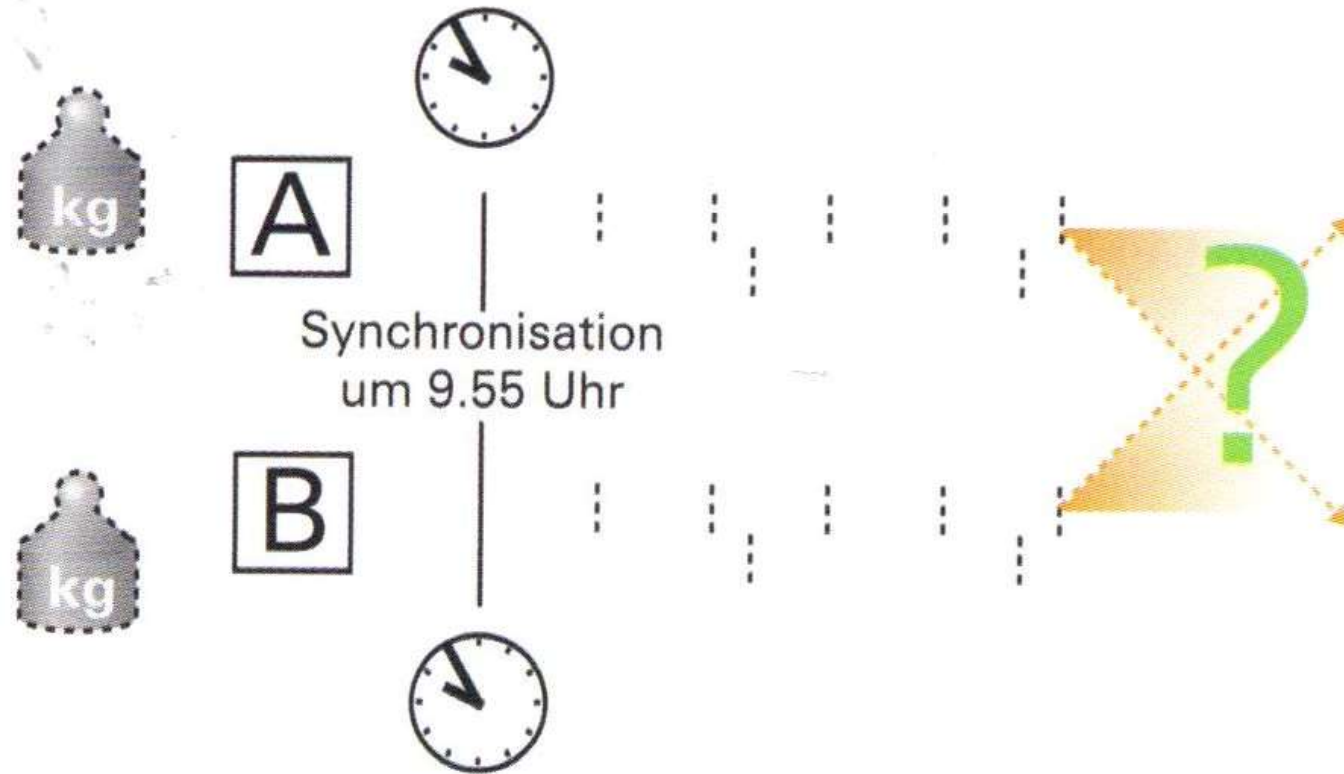
# Kausalität in der Raumzeit

Zwischen den Messungen an beiden Orten kann kein Signal von A nach B laufen (raumartige Trennung).



# Kausalität in der Quanten-Raumzeit

Befindet sich die Masse in einer Superposition zweier Orte nahe A oder B, misst A vor B und zugleich B vor A.



Religiöse und magische Wunder sind nichts gegen die absurde Welt des Mikrokosmos

Allerdings flößen uns die Wunder der Quantentheorie eher Unbehagen, ja vielleicht Angst ein.

Feynman geht von dem Gedanken aus, dass ein Teilchen nicht nur einen bestimmten Weg geht, sondern alle Bahnen auf einmal! Die (unendlich vielen) Pfade eines Teilchens bilden jede eine Geschichte. Aus diesem Grundgedanken entwickelt er den Formalismus „der Summe über alle Geschichten“ oder den Pfadintegrationsformalismus.

Feynman: „Ich denke, ich kann mit Fug und Recht sagen, dass niemand die Quantenmechanik versteht.“

Wir können dem Unbehagen begegnen, indem wir für unseren Alltagsverstand eine Erklärung finden, warum er in der Quantenmechanik versagt.

Unser Weltverständnis ist für den Mesokosmos und nicht den Mikro- und Makrokosmos evolutionär entwickelt worden.

Vollmer unterscheidet zwischen Makrokosmos, Mesokosmos und Mikrokosmos. Unsere Alltagswelt (drei Dimensionen, geozentrisches Weltbild, Anthropomorphisierung) bildet den Mesokosmos. Durch die Entwicklung der wissenschaftlichen Physik ist es der Menschheit gelungen, in den Makrokosmos und den Mikrokosmos vorzudringen.

Überwindung des „evolutionären Gebirges“!





Spätere Besteigungen (z- B. im Alter): anstrengend, aber die Überwindung des Gebirges ist möglich.

## Der Mesokosmos und unser Erkenntnisvermögen

Vollmer stellt fest, dass unser Erkenntnisapparat ein Ergebnis der Evolution ist. Er hat sich als Anpassung an die reale Welt ausgebildet. Daraus folgt, dass es eine von uns unabhängige Welt gibt und dass wir zumindest teilweise Züge und Strukturen dieser realen Welt richtig erfassen, sonst hätten wir nicht überlebt.

Verstehen wir uns als Lebewesen wie andere, so entfallen die philosophischen Spekulationen über Idealismus und Materialismus, das cogito ergo sum des Decartes und vor allem der Solipsismus (Stirner: der Einzige und sein Eigentum).

Die Realität ist nicht nur etwas von uns Konstruiertes, sondern wirklich vorhanden



Der Mensch hat in seiner Evolution Kategorien entwickelt, die er an die Welt anlegt. Die wichtigsten dieser Kategorien sind Raum, Zeit und Kausalität.

Kant (Ausz. 1998) hat bereits dargelegt, dass unsere Wahrnehmung vorab durch die Anschauungsformen von Raum und Zeit bestimmt wird. Die Kausalität zählt er zu den „Kategorien“, die ebenfalls a priori, d. h. vor aller Erfahrung, unsere Erkenntnis bestimmen.

Aus der Sicht der evolutionären Erkenntnistheorie haben sich Anschauungsformen und Denkkategorien im Laufe der Entwicklung der Homininen allmählich herausgebildet, offenbar weil sie sich als nützlich erwiesen haben (Kausalitätshypothese bereits bei Tieren)

Rupert Riedl: Unser Erkenntnisapparat hat eine Reihe von Hypothesen über die Welt entwickelt

Vergleichshypothese: gleiche Gegenstände haben die gleichen Eigenschaften;

Dependenzhypothese: es gibt Ordnungsmuster in der Welt;

Orthypothese: Jeder Gegenstand ist an einem bestimmten Ort;

Zeithypothese: jeder Gegenstand hat eine gewisse zeitliche Dauer;

Zweckhypothese: alles dient einem bestimmten Zweck;

Exekutivhypothese: bei bekannten Ursachen tritt eine bekannte Wirkung ein.

Worin besteht nun eigentlich das Wunder?

Dass wir trotz unseres auf den Mesokosmos abgestimmtes Denken in der Lage waren, in die Geheimnisse der Quantenwelt einzudringen

Wir haben gewissermaßen die Evolution ausgetrickst

und damit an uns selbst ein Wunder gewirkt!

**Makrokosmos**

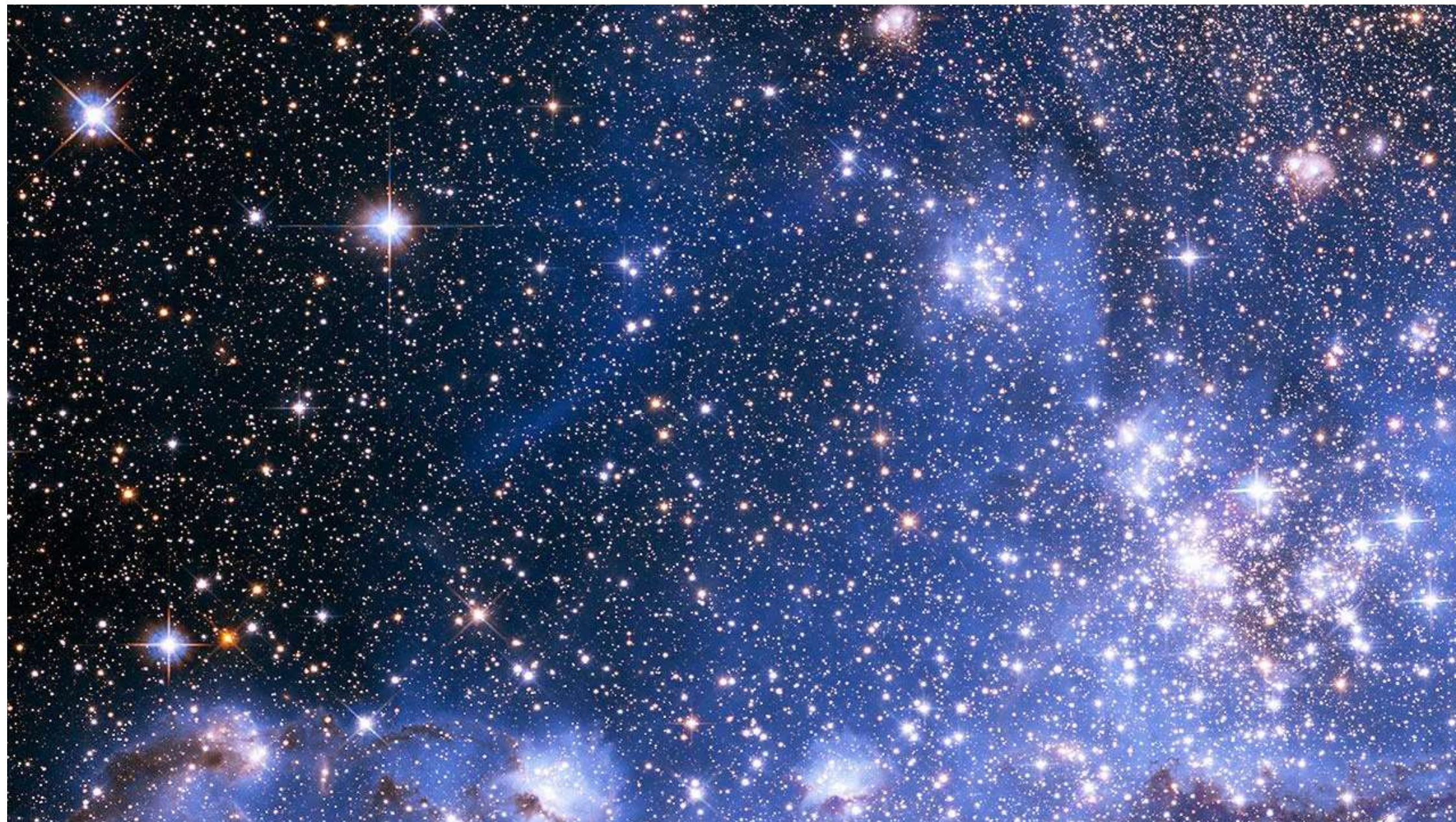
## **Der Makrokosmos – jenseits unseres Vorstellungsvermögens und doch für uns ein Wunder, das uns mit Ehrfurcht erfüllt**

Der Anblick des Sternenhimmels

Kant: "Zwei Dinge erfüllen das Gemüt mit immer neuer und zunehmender Bewunderung und Ehrfurcht, je öfter und anhaltender sich das Nachdenken damit beschäftigt: der bestirnte Himmel über mir und das moralische Gesetz in mir."









## **Entstehung und Ausdehnung des Universums**

Urknall vor 13,7 Milliarden Jahren, inflationäre Phase

Unsere Milchstraße hat einige hundert Milliarden Sterne, es gibt mehrere Milliarden Galaxien

Die sichtbare Masse beträgt aber nur 5%

Suche nach der dunklen Materie und der dunklen Energie, inzwischen auch alternative Überlegungen

Neu: Das Universum dehnt sich beschleunigt aus



Unser Sonnensystem entstand aus den Resten einer explodierenden Supernova

Aus rotierenden Staubwolken bildete sich das Zentralgestirn, unsere Sonne.

Aus dem Rest der rotierenden Staubwolken bildeten sich die Planeten

Der dritte Planet ist die Erde

Das Wunder: Wir verdanken unsere Existenz einem sterbenden Stern

Unvorstellbare Entfernungen: 1 Lichtjahr ist 9,46 Billionen Kilometer

Der nächste Stern Alpha Centauri ist 4,3 Lichtjahre entfernt. Mit einem Raumschiff würde man Tausende von Jahre für eine Reise dorthin brauchen (Beschleunigung bis zur Hälfte der Strecke, dann Abbremsen bis zum Ziel).

Bei 100.000 km/std bräuchte man 10709 Jahre für die Entfernung von einem Lichtjahr (bitte nachprüfen, ob das stimmt!), also über 50.000 Jahre bis Alpha Centauri.

Die Galaxien sind jedoch Millionen bis Milliarden Lichtjahre von uns entfernt. Bei entfernten Galaxien hat das Licht also Milliarden Jahre benötigt, bis es zu uns gelangt ist.

Für Menschen erscheint es aussichtslos, jemals den nächsten Stern zu erreichen

Die Größenordnung des Makrokosmos flößt uns Ehrfurcht ein und macht uns noch kleiner als wir schon sind.

**Science Fiction** bietet zwei Möglichkeiten an:

„Wurmlöcher“: Direktverbindungen im Universum

Antrieb mit Überlichtgeschwindigkeit

## **Unvorstellbare Anzahl von Sternen**

Unsere Galaxie hat 200-300 Milliarden Sterne

Es gibt schätzungsweise hundert Milliarden sichtbare Galaxien, die sich zu Galaxienhaufen gruppieren

Das sichtbare Universum ist nur ein Teil des gesamten Universums, die äußersten Bereiche senden Licht aus, das uns nie erreichen wird.

Elliptische Galaxien



Spiralgalaxien



Balkenspiralen



## **Der Makrokosmos: Spezielle Relativitätstheorie**

Konstanz der Lichtgeschwindigkeit

Nichts ist schneller als das Licht

Relativität der Zeit: Das Zwillingspaar-Gleichnis

Vergrößerung der Masse mit der Geschwindigkeit.  
Bei Lichtgeschwindigkeit wird die Masse unendlich.

Eine wunderbare, aber auch fremdartige Welt!

## **Allgemeine Relativitätstheorie**

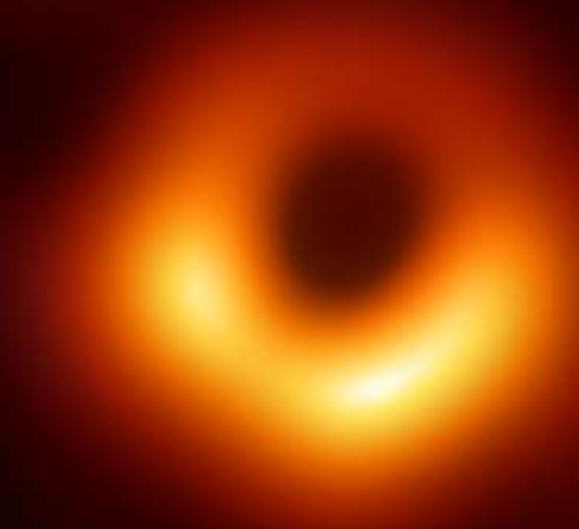
Sie deutet Gravitation als geometrische Eigenschaft der gekrümmten vierdimensionalen Raumzeit.

Masse bewirkt Krümmung der Raumzeit (Modell: Gummituch mit Einbuchtungen)

Zur Beschreibung der gekrümmten Raumzeit bediente sich Einstein der Differentialgeometrie. Beschreibung des Universums durch Feldgleichungen.

Beschleunigung hat die gleiche Wirkung wie die Gravitation

Schwarze Löcher

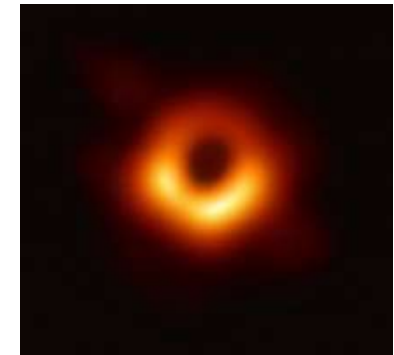


Ein komponiertes Gebilde, „sehen“ kann man ein schwarzes  
Loch nicht



Mit einem Verbund aus Radioteleskopen haben Astronomen ein Bild vom zentralen Schwarzen Loch in der 55 Millionen Lichtjahre entfernten Galaxie Messier 87 aufgenommen (besser gesagt, konstruiert).

Ein **Schwarzes Loch** ist ein Objekt, dessen Masse auf ein extrem kleines Volumen, eine sogenannte Singularität, konzentriert ist. Sie erzeugt in ihrer unmittelbaren Umgebung eine so starke Gravitation, dass nicht einmal Licht von dort entkommen kann.



Die äußere Grenze dieses Bereiches wird Ereignishorizont genannt. Innerhalb eines Ereignishorizonts kann sich nichts von der Singularität entfernen.

Hawking als bedeutendster Erforscher der Schwarzen Löcher: ein Wunder für sich

Für ein hypothetisches Schwarzes Loch von der Masse der Sonne hätte dieser Bereich einen Durchmesser von etwa sechs Kilometern, rund vier Millionstel des jetzigen Sonnendurchmessers.

Die spezielle Gravitationswirkung eines Schwarzen Loches folgt also nicht etwa aus einer besonders großen Masse, sondern aus dem kleinen Volumen, in dem sich diese Masse konzentriert, und beschränkt sich auf eine nach astronomischen Maßstäben sehr kleine Umgebung der Singularität-

Zentrales Schwarzes Loch in unserer Galaxie, nämlich Sagittarius A\* mit ca. 4,3 Millionen Sonnenmassen.

## Das Erstaunliche und Unbegreifliche

Für einen außenstehenden Beobachter, der aus sicherer Entfernung zusieht, wie ein Objekt auf ein Schwarzes Loch zufällt, hat es den Anschein, als würde es sich *asymptotisch* dem Ereignishorizont annähern. Das bedeutet, ein außenstehender Beobachter sieht niemals, wie es den Ereignishorizont erreicht, da aus seiner Sicht dazu unendlich viel Zeit benötigt wird. Das gilt nicht für sehr große Objekte, die selbst die Raumzeit verformen, wie etwa eine Supernova.

Für einen Beobachter, der sich im freien Fall auf das Schwarze Loch zubewegt, ist dies freilich anders. Dieser Beobachter erreicht den Ereignishorizont in endlicher Zeit. Der scheinbare Widerspruch zu dem vorherigen Ergebnis rührt daher, dass beide Betrachtungen in verschiedenen Bezugssystemen durchgeführt werden. Ein Objekt, das den Ereignishorizont erreicht hat, fällt (vom Objekt selbst aus betrachtet) in endlicher Zeit in die zentrale Singularität.

Makrokosmos und Mikrokosmos passen gut zusammen. Die Geschehnisse nach dem Urknall lassen sich durch Gesetze der Mikrophysik und Quantenmechanik erklären.

Einsteins berühmte Formel:

$$E = mc^2$$

Sie verbindet Mikro- und Makrokosmos

Die Sonnenenergie entsteht durch atomare Prozesse der Kernfusion: 2 Wasserstoffatome verbinden sich zu einem Heliumatom

Im Makrokosmos gilt die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie, im Mikrokosmos die Quantenmechanik. Sie können bis jetzt noch nicht zusammengeführt werden

Beide Erklärungsbereiche sind für unser Vorstellungs- und Erkenntnisssystem fremd. Wir greifen zu Bildern und Analogie, um sie zu verstehen. Aber letztlich sind sie nur durch die Mathematik zugänglich.

Die Urknalltheorie benötigt das Wissen der Quantenmechanik, der Chemie und der Atomphysik

Zwei Theorienfamilien versuchen heute, die zwei Welten des Mikro- und Makrokosmos zu vereinen: die Stringtheorie(n) und die Quantengravitationstheorie



## Das Wunder unserer Existenz im Weltall: Anthropisches Prinzip

Als erste konkrete Formulierung des anthropischen Prinzips gelten einige Passagen in Carters Publikation von 1974:

**Allgemeines AP:** ».. was wir zu beobachten erwarten können, muss eingeschränkt sein durch die Bedingungen, welche für unsere Gegenwart als Beobachter notwendig sind.« (Einschränkung)

**Schwaches AP** (engl. *weak anthropic principle, WAP*): ».. wir müssen bereit sein, die Tatsache in Betracht zu ziehen, dass unser Ort im Universum in dem Sinne notwendig privilegiert ist, dass er mit unserer Existenz als Beobachter vereinbar ist.« (Einmaligkeit und nicht Beliebigkeit)

**Starkes AP** (engl. *strong anthropic principle, SAP*): ».. das Universum (und deswegen die fundamentalen Parameter, von welchen es abhängt) muss derart sein, dass es die Entstehung von Beobachtern in ihm in manchen Phasen erlaubt.« (Auf uns abgestimmt)

## Das anthropische Prinzip bei Barrow und Tipler

1986 wurde das kontroverse Buch *The Anthropic Cosmological Principle* der Physiker John D. Barrow und Frank J. Tipler veröffentlicht.

Es geht darum, eine Form des Umgangs mit den schier unglaublichen Zufällen zu finden, die zu unserer Gegenwart in einem Universum führten, das perfekt auf unsere Existenz eingestellt scheint. Alles vom genauen Energiezustand des Elektrons bis hin zur Ausprägung der schwachen Wechselwirkung scheint maßgeschneidert, um unsere Existenz zuzulassen.

Wir scheinen in einem Universum zu leben, das von einer Reihe unabhängiger Variablen abhängt, bei denen eine winzige Veränderung ausreichte, es unbewohnbar für jedwede Form von Leben zu machen. Und trotzdem existieren wir.

## **John Archibald Wheeler: Participatory anthropic principle (PAP)**

- Beobachter sind notwendig, um das Universum zu erzeugen. Insbesondere wird beim PAP ein quantenmechanisches Phänomen, die sogenannte Reduktion der Wellenfunktion bei der Messung, in Verbindung mit einem Beobachter gebracht.

Der Beobachter wäre demnach ein wesentlicher Bestandteil der physikalischen Beschreibung der Welt; erst durch seine Beobachtung würde die Welt „Realität“ annehmen.

Das PAP hängt eng mit der Interpretation der Quantenmechanik zusammen, insbesondere mit der sogenannten Kopenhagener Deutung, welche die Reduktion der Wellenfunktion bei der Messung vertritt

Neuere Interpretationen der Quantenmechanik versuchen das Prinzip der Beobachtungsabhängigkeit aufzuheben.

## Anti-teleologische versus teleologische Erklärung

Anti- oder nicht-teleologische Interpretation: Vielweltentheorie. Es gibt ungeheuer viele Universen, in denen die Naturkonstanten andere Werte haben. Unsere Welt fügt sich dann als eine Varianten unter schier unendlich vielen möglichen Welten ein.

Die Stringtheorien beinhalten die Möglichkeit und die Wahrscheinlichkeit des Nebeneinander-Existierens sehr vieler naturgesetzlich verschiedener Universen (typische Schätzungen nennen die astronomische Zahl von ca.  $10^{500}$ ). Sollte sich diese noch spekulative Möglichkeit erhärten, wäre dies ein starkes Argument für die nichtteleologische Interpretation, eine dieser vielen Welten sei *zufällig* „lebensfreundlich“.

Die teleologische Interpretation versucht, das Universum als durch ziel- bzw. zweckgerichtete Prinzipien oder Mechanismen geleitet, oder auch durch ein göttliches Wesen geplant und geleitet, darzustellen. Als Beispiel für ein teleologisches anthropisches Prinzip wird oft das kontrovers diskutierte *Partizipatorische Anthropische Prinzip* von John Archibald Wheeler genannt.

Die Theologen könnten argumentieren: Aha, um eine nicht-teleologische Welt zu erklären, muss man gleich unendliche viele Welten dazu konstruieren. Ein wirklich verzweifelter Akt, ohne Gott auszukommen.

Die meisten Physiker lehnen die teleologische Interpretation strikt ab, weil sie auch sonst in der gesamten Physik und in anderen Naturwissenschaften nicht verwendet wird.



Das anthropische Prinzip entsteht nur, wenn der Mensch sich in den Mittelpunkt der Welt stellt

Dieser Anthropozentrismus ist aber nicht gerechtfertigt

Er impliziert, dass wir uns als wichtigste Wesen oder Entitäten im Universum ansehen.

Es fällt also immer noch schwer, den Menschen als unbedeutendes Wesen unter vielen anderen zu sehen.

Etwas mehr Bescheidenheit würde uns gut tun.

**Dennoch: Umso mehr ist es ein Wunder, dass wir existieren!**

## **Das Wunder der Raumfahrt**

Aufbruch in die dritte Dimension

Das Wunder: Lebewesen, die dafür nicht geschaffen sind, gelingt es, sich in eine lebensfeindliche Welt zu begeben.

Radikale Veränderung des Blickwinkels, wenn man die Erde von außen sieht.

Gespräche mit Ulrich Walter

Raumfahrt hat frühe Grenzen

## Resümee

Am Ende unserer Betrachtung erweist sich das wirklich Wunderbare:

Es ist ein unglaubliches Wunder, dass wir

in einer Welt existieren, in der Leben und menschliche Existenz möglich sind,

Beobachter dieses Universums sein können und

ein paar Sekunden bewusst an ihm teilhaben dürfen.

Wir haben das Glück, in einer Zeit zu leben, in der die Wissenschaft ein erstaunliches Wissen über den Mikrokosmos und Makrokosmos angesammelt hat. Welch ein Privileg! Welch ein Wunder!

Nur in Demut bin ich in den Kosmos eingeschlossen. Auf diese Weise reduziere ich mich auf das Teilchen, das sich in die Gesetze des Ganzen fügt (Manfred Poisel)





Wir wohnen am Rande der Milchstraße in einem unbedeutenden  
Nebenarm.

Welch ein Wunder, dass es uns gibt.



