

# Raum - Zeit - Materie

## Auf der Suche nach einer einheitlichen Theorie der fundamentalen Naturgesetze

Klaus Mecke

Institut für Theoretische Physik, Universität Erlangen-Nürnberg,  
Staudtstrasse 7, 91058 Erlangen, Germany

Sommer 2018

Woher ‚kommt‘ die Zeit? Warum ‚leben‘ wir in drei Dimensionen des Raumes? Was ‚ist‘ eigentlich Materie? Solche Fragen erwartet man üblicherweise von Philosophen und nicht von Naturwissenschaftlern. In der Tat setzen selbst das Standardmodell der Elementarteilchenphysik und die Allgemeine Relativitätstheorie der Kosmologie bereits Antworten voraus, indem sie postulieren, dass die Welt aus einer kontinuierlichen 4-dimensionalen Raumzeit besteht, die mit Quantenfeldern angefüllt ist. Unbeachtet sind dabei bereits eine Reihe von Annahmen gemacht worden, die weder empirisch belegt noch explizit in Frage gestellt sind, insbesondere, dass Materie substanzhaft und wesensfremd vom Raum als einer leeren Bühne sich mit der Zeit kausal verändert. Alternativ kann man die Welt als einen Prozess von elementaren Ereignissen auffassen, in dem uns die Anordnung der endlich vielen vergangenen Ereignisse als ‚Raum‘, ‚Zeit‘ oder ‚Materie‘ erscheint.

Dieses neue geometrische Modell der Welt, das elementare Ereignisse als endliche Punktmenge beschreibt, deren Struktur sich durch Ereignisfolgen ergibt, könnte auf die grundlegenden Fragen physikalische Antworten geben. Beachtet man die Unterschiede der Geometrie endlich vieler Punkte zum mathematisch komplizierteren Kontinuum von Punkten, kann mit nur wenigen geometrischen Annahmen argumentiert werden, dass die wahrgenommene 4-dimensionale Raumzeit mathematisch die einzig mögliche Welt ist, die durch punktuelle Ereignisse entstehen kann. Materie erscheint dabei als geometrische Verzerrung und ist daher nicht von der Raumzeit zu trennen, sondern mit ihr notwendig verbunden. Alle physikalischen Eigenschaften der elementaren Materieteilchen, ihre wechselwirkende Kräfte, Massen und Ladungen, sowie ihre ungewöhnlichen Quantenphänomene folgen allein aus der geometrischen Struktur einer Welt endlich vieler Ereignispunkte. Diese Einheit von Materie, Raum und Zeit wurde bereits von Albert Einstein und Hermann Weyl im Anschluß an die Allgemeine Relativitätstheorie gesucht aber nicht gefunden, da sie vermutlich mit der Annahme eines reellen Kontinuums von Punkten nicht möglich ist.

Die Interpretation der Weltpunkte als ein Prozess von Ereignissen öffnet einen Raum der Möglichkeiten für zukünftige Entwicklungen - im Gegensatz zum Determinismus der klassischen Physik. Sie erlaubt eventuell auch Ereignisse jenseits von Raum und Zeit, die als Bewußtseinsprozesse verstehbar sind und auf ein einheitliches Weltbild von Materie und Geist führt.

## Ist die Welt diskret oder kontinuierlich?

Die Welt ist unserer Wahrnehmung nach ein lückenloser *Raum* von Orten, an denen sich dichte *Materie* befindet, die sich in der *Zeit* stetig verändert. Raum, Zeit und Materie werden als völlig verschiedenartige Entitäten wahrgenommen, die *kontinuierlich* vor uns liegen, bzw. fließen oder sich ausbreiten. Spätestens mit der Erfindung des Mikroskopes haben wir aber die Erfahrung gemacht, dass die glatten Oberflächen der Dinge auf kleinen Längenskalen ganz anders aussehen und gar letztendlich aus diskreten Atomen aufgebaut sind, deren Abbilder durch ein Elektronenmikroskop wir heute alle vor Augen haben. Könnte es also sein, dass die Lückenlosigkeit, Stetigkeit und Dichtheit unserer Alltagserfahrung von Raum, Zeit und Materie eventuell nur eine Illusion unserer Sinne ist? Der Raum selber erscheint doch immer noch als kontinuierlich, bewegen sich in ihm doch selbst die Atome kontinuierlich in der Zeit. Spätestens mit der Erfindung des Films haben wir aber die Erfahrung gemacht, dass eine Abfolge von 50 diskreten Bildern in einer Sekunde als ein kontinuierliches Geschehen wahrgenommen wird. Müssen wir also nur genau und schnell genug hinschauen, um auch die scheinbare Bewegung der Atome als eine Illusion der Sinne zu erkennen, die ‚in Wahrheit‘ nur eine Abfolge von Standbildern ist?

Bereits die antiken Vorsokratiker behandelten die Frage, ob alles im Fluß ist - wie Heraklit von Ephesos behauptete - oder es Bewegung oder Veränderung gar nicht geben kann - wie Zenon und Parmenides von Elea argumentierten. Zentral ist dabei die Frage, ob die Welt in diskrete Einheiten zerlegbar ist oder alles in einer kontinuierlichen Veränderung sich befindet. Dass dies kein Widerspruch sein muss, machte u. a. der Mathematiker und Philosoph Alfred North Whitehead deutlich, der in seinem Weltbild (*Process and Reality*, 1929) sich von einer Ontologie des Seienden abwendete und einen Prozess der kontinuierlichen Realisierung von diskreten Ereignissen annahm. Raum, Zeit und Materie als kontinuierliche Entitäten anzunehmen könnte ein „Trugschluss der unangebrachten Konkretisierung“ und die *Welt* könnte nur ein Geschehen von endlich vielen diskreten Ereignissen sein. Albert Einstein meinte allerdings, eine Abkehr vom raumzeitlichen Kontinuum sei „ähnlich wie der Versuch, in einem luftleeren Raum zu atmen“. Dies soll hier nun dennoch versucht und gezeigt werden, daß erst durch die Annahme von nur endlich vielen Ereignispunkten in der Welt es gelingt, ein **einheitliches geometrisches Modell von Raum, Zeit und Materie** zu formulieren.

## Lineare Welten: Axiome der Inzidenz

Elementare Ereignisse sind als punktartige Elemente der Welt durch Fall- oder Lagebeziehungen miteinander verbunden. Für ein geometrisches Modell der physikalischen Welt benötigt man daher ‚Punkte‘ und ein Konzept, wie diese zusammenhängen sollen. Punkte sollen Ereignisse in Raum und Zeit markieren, d. h. ‚Raumzeitpunkte‘ sein, während Linien die Orte eines Geschehens in dieser Raumzeit markieren, z. B. die Bewegung eines Teilchens durch aufeinanderfolgende Orte in Raum und Zeit. Felix Klein schlug in seinem „*Erlanger Programm*“ vor, die projektive Geometrie zur Grundlage aller geometrischen Fragen zu machen. Sie beruht im wesentlichen auf nur drei Axiomen des ‚Zusammentreffens‘ (‚Schnittes‘ oder der ‚Inzidenz‘) von Punkten:

- (i) es gibt Punkte  $P$ ;
- (ii) zwei Punkte sind immer genau durch eine Linie  $L$  verbunden;
- (iii) zwei Linien in einer Ebene schneiden sich immer in genau einem Punkt.

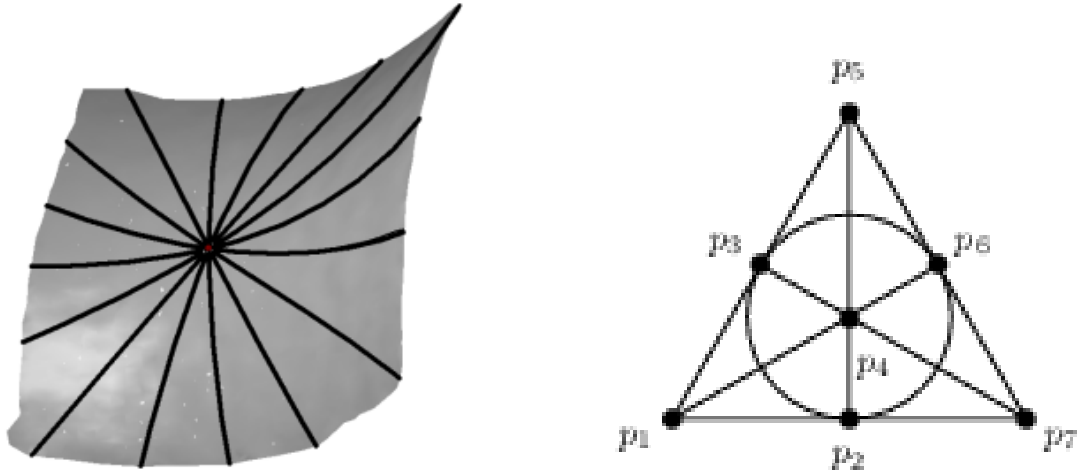


Abbildung 1: (a) Kontinuierliche Mannigfaltigkeit: eine glatte Fläche mit Linien durch einen zentralen Punkt, wobei der Rand der Fläche durch die Zeichnung künstlich zustande kommt. (b) Endliche Punktmenge: die kleinste projektive Geometrie ist diese Fano-Ebene bestehend aus 7 Punkten und 7 Linien, die die 3 Axiome **(i)**-**(iii)** erfüllen. Sie hat keinen Rand, sondern besteht nur aus den gezeigten Punkten  $P_i$  mit  $i = 1, \dots, 7$ ; die Linien geben nur an, welche Punkte zusammengehören, z. B. die Punkte der Linie  $L = \{P_1, P_2, P_7\}$ .

Man kann zeigen, dass eine Menge von Punkten mit solchen Eigenschaften nicht notwendigerweise eine kontinuierliche Menge wie unser gewöhnlicher Anschauungsraum sein muß. Sie kann zwar kontinuierlich mit unendlich vielen Punkten und Linien als durchgezogenen Geraden realisiert werden (siehe Abb. 1a), aber auch mit nur endlich vielen Punkten, die eben nicht ‚dicht‘ sondern ‚vereinzelt‘ liegen, und ‚Linien‘ nur Ketten aufeinander folgenden Punkte sind (siehe Abb. 1b). Unter Punkten und Linien stellt man sich üblicherweise auf einem Blatt Papier gezeichnete Objekte vor, oder abstrahiert Objekte im Raum. Eine solche Vorstellung ist aber nicht notwendig, da die Annahmen **(i)**-**(iii)** mit ihren verwendeten Begriffen auch anders interpretiert werden können. Mit Punkten könnte man auch bestimmte ‚elementare Ereignisse‘ bezeichnen und ihre kausale Relation durch Linien darstellen.

## Quadratische Welten: Die Ordnung von Nachbarschaften

Beide Abbildungen 1 sind allerdings irreführend, denn (mathematisch streng genommen) ist durch die Annahmen **i-iii** auf einer Linie  $L$  die Abfolge oder der Abstand der Punkte  $P$  noch gar nicht definiert, wofür man nämlich eine vierte Annahme benötigt:

**(iv)** jeder Punkt auf einer Linie hat genau zwei Nachbarpunkte, die den Abstand 1 haben.

Die Menge dieser Nachbarpunkte bildet eine sogenannte ‚Quadrik‘  $Q$  (oder ‚quadratische Form‘) um jeden Punkt, da sie die Lösungsmenge einer quadratischen Gleichung sind. In der (euklidischen) zwei-dimensionalen Ebene kennt man die Lösungsmenge  $Q$  einer quadratischen Gleichung als Kreis, Ellipse, Parabel oder Hyperbel, die sich alle als sogenannte ‚Kegelschnitte‘ darstellen lassen (siehe Abbildung 2). Man kann systematischer sagen, dass Punkte  $P$  geometrische Objekte 0. Ordnung sind, Linien  $L$  Objekte 1. Ordnung und Quadriken  $Q$  Objekte 2. Ordnung.

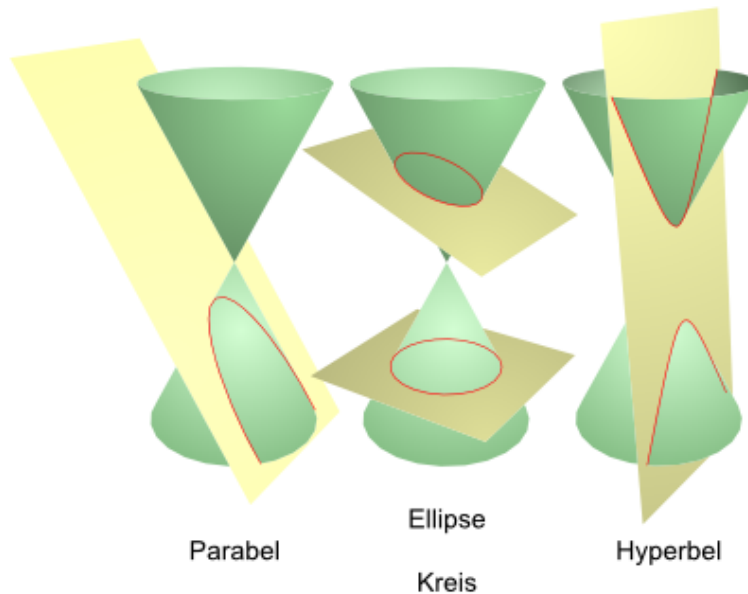


Abbildung 2: Kreis, Ellipse, Parabel und Hyperbel sind ‚Kegelschnitte‘ der Euklidischen Geometrie, die sich auch als ‚quadratische Formen‘ oder kurz ‚Quadriken‘ beschreiben lassen und die bereits Kepler als Grundfiguren für die Bewegung der Planeten erkannte. Alle Kegelschnitte haben in ihrer Schnittebene einen eindeutigen ‚Zentrumspunkt‘. Als Nachbarpunkte des Zentrums sind genau diejenigen Punkte in der Ebene auf dem Kegelschnitte definiert. Je nach Neigung der Ebene hat man eine andere Geometrie der Nachbarschaftsrelation, nämlich eine Euklidische (Kreis), elliptische oder hyperbolische Geometrie.

Je nach Wahl der quadratischen Form erhält man verschiedene ‚Geometrien‘ der Nachbarschaftsbeziehung (iv), d. h. verschiedene Quadriken  $Q$  und damit verschiedene Begriffe von Raumabständen und Zeitdauern. Denn mit jeder Quadrik  $Q$  läßt sich als einer Menge von ‚Einheitspunkten‘ ein wohldefinierter *Abstand* zwischen beliebigen Punkten ableiten, indem man einfach sukzessive von einem Nachbarpunkt zum nächsten ‚fortschreitet‘ und die Anzahl der Schritte zählt. Die Möglichkeit unterschiedliche Quadriken als Maßbeziehungen zu wählen, ist der Grund für das neue und oft irritierende Verständnis von Raum und Zeit in der Relativitätstheorie: wählt man eine hyperbolische Geometrie, erhält man die relativistischen Längenkontraktionen und Zeitdilatationen, die mittlerweile sehr gut in der Natur beobachtet und genau gemessen wurden. Doch sind wir frei, eine Quadrik einfach zu wählen oder gibt es ein Naturgesetz, dass die Metrik festlegt?

## Allgemeine Relativitätstheorie der Raumzeit

Eine Quadrik definiert daher eine Metrik  $g_{\mu\nu}$ , die Einstein als ein eigenständiges physikalisches Objekt ansah und zum Ausgangspunkt seiner Allgemeinen Relativitätstheorie von Raum, Zeit und der Gravitation der Materie machte. Er erkannte, dass in jedem Punkt  $P$  der Raumzeit eine eigene Metrik  $g_{\mu\nu}(P)$  sich befindet, wobei die Abhängigkeit der Metrik von den Punkten durch ein Naturgesetz bestimmt sei. Wie die Beschleunigung  $a$  eines Teilchens und dadurch auch seine Bahnkurve durch die Newtonsche Bewegungsgleichung  $F = ma$  und die Angabe einer Kraft  $F$  determiniert ist, formulierte er zur Festlegung der Metrik  $g_{\mu\nu}$  als

Naturgesetz die *Einstein-Gleichung*  $G(P) = \kappa T(P)$  wobei anstelle der Kraft der sogenannte Energie-Impuls-Tensor  $T(P)$  der Materie und anstelle der Masse  $m$  die universelle Gravitationskonstante  $\kappa$  steht. Der Einstein-Tensor  $G[g_{\mu\nu}]$  ist dabei ein Maß für die lokale Krümmung der Welt (anstelle der Beschleunigung  $a$ ), der eindeutig aus der Metrik  $g_{\mu\nu}$  (anstelle der Bahnkurve) berechenbar ist. Die Einstein-Gleichung drückt die Gleichheit zweier eigentlich grundverschiedener Konzepte aus: die Geometrie der Raum-Zeit (Krümmung  $G$ ) entspricht dem Energie-Impuls der Materie  $T$ . Dadurch ist zwar noch keine Einheit von Materie, Raum und Zeit ausgedrückt, wohl aber eine gegenseitige Beziehung bzw. Beeinflussung: erst die Metrik bestimmt, wie sich die Materie in Raum und Zeit bewegt, aber auch die Raumabstände und Zeitdauern werden durch die Materie und ihre Bewegung beeinflusst. Experimentell ist die Einstein-Gleichung auf großen Skalen hervorragend bestätigt worden - allerdings nicht auf sehr kleinen Skalen, so dass hier Raum für andere geometrische Weltmodelle ist.

## Das Standardmodell der elementaren Teilchen

Für den Energie-Impuls-Tensor  $T$  der Materie in der Einstein-Gleichung ist ein völlig anderer Typ von Theorie entwickelt worden, die sogenannten *Quantenfeldtheorie*. Diese setzt die Existenz einer Raumzeit von Punkten  $P$  mit ihren Metriken  $g_{\mu\nu}(P)$  einfach voraus und postuliert dazu die Existenz von *Teilchenfeldern*  $\Psi(P)$  als komplexwertigen Funktionen auf dieser Punktmenge, von denen der Energie-Impuls-Tensor  $T(P)[\Psi(P)]$  eindeutig abhängt. Experimentell fand man in Teilchenbeschleunigern wie dem CERN (Genf) und DESY (Hamburg) unterschiedliche Typen von elementaren Teilchenfeldern  $\Psi(P)$ , die sich aufgrund ihrer gemessenen Eigenschaften (Masse, Ladung, Spin) in das in Abbildung 3 gezeigte Schema einordnen ließen: Elektron-Felder, Neutrino-Felder, Quark-Felder und das Higgs-Feld. Historisch war die Entdeckung dieser elementaren Teilchen ein langer Prozess über 100 Jahre hinweg, der sich im wesentlichen von der Identifizierung des Elektrons 1897 durch Joseph John Thomson bis zur Messung des Higgs-Teilchens hinzog, dessen Nachweis am 4. Juli 2012 vom CERN bekannt gegeben wurde. Wichtig ist, dass der mathematische Ausdruck  $\mathcal{T}[\Psi(P)]$  eine überraschende Symmetrie aufweist, die mathematisch durch die sogenannte *Eichgruppe*  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$  beschrieben wird, deren Symmetrie-Transformation durch bestimmte Eichfelder (Photonen, Gluonen,  $W^\pm$  und  $Z^0$ -Bosonen) beschrieben werden können. Das Konzept einer Eichsymmetrie wurde bereits 1918 von Hermann Weyl gleich nach Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie als eine notwendige Erweiterung der Riemannschen Geometrie vorgeschlagen, um Materie beschreiben zu können. Wieso ausgerechnet diese Symmetrie und genau die in Abb. 3 gezeigten elementaren Teilchenfelder  $\Psi(P)$  existieren, ist aber weitgehend unverstanden und wird durch das Standardmodell nicht erklärt. Dennoch werden die Allgemeine Relativitätstheorie und das Standardmodell als die beiden fundamentalen Säulen des physikalischen Weltbildes angesehen, da alle bekannten Gesetzmäßigkeiten der physikalischen Phänomene aus ihnen hergeleitet werden können. Es ist heute kein einziger physikalischer Vorgang bekannt, der zu messbaren Abweichungen von der Vorhersage dieser beiden Theorien führt. Wenn also ein neuer (geometrischer) Ansatz die Allgemeine Relativitätstheorie und das Standardmodell begründen kann, dann kann sie zu Recht als eine ‚*einheitliche*‘ Theorie der Welt bezeichnet werden.

‚Schön‘ oder auch nur ‚einfach‘ ist das Standardmodell sicherlich nicht zu nennen und es stellt sich natürlicherweise die Frage, ob dieses unübersichtliche Schema der Elementarteilchen nicht einen tieferliegenden Grund in einer einfachen geometrischen Struktur der Welt hat. Diese *gesuchte Einheit von Raum, Zeit und auch Materie*, die die Einstein-Gleichung mitsamt

Drei Generationen  
der Materie (Fermionen)

	I	II	III		
Masse →	2,3 MeV	1,275 GeV	173,07 GeV	0	125,09 GeV
Ladung →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
Spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
Name →	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>γ</b> Photon	<b>H</b> Higgs Boson
	4,8 MeV	95 MeV	4,18 GeV	0	
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
Quarks	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>g</b> Gluon	
	<2 eV	<0,19 MeV	<18,2 MeV	91,2 GeV	
	0	0	0	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	<b>ν<sub>e</sub></b> Elektron- Neutrino	<b>ν<sub>μ</sub></b> Myon- Neutrino	<b>ν<sub>τ</sub></b> Tau- Neutrino	<b>Z<sup>0</sup></b> Z Boson	
	0,511 MeV	105,7 MeV	1,777 GeV	80,4 GeV	
	-1	-1	-1	±1	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
Leptonen	<b>e</b> Elektron	<b>μ</b> Myon	<b>τ</b> Tau	<b>W<sup>±</sup></b> W Boson	Eichbosonen

Abbildung 3: Materie besteht aus elementaren Teilchen, die aufgrund ihrer Eigenschaften (Masse, Ladung, Spin) in ein bestimmtes Schema einsortiert werden können, das Ausdruck einer fundamentalen Symmetrie der Teilchenfelder  $\Psi(P)$  ist, die sogenannte Eichgruppe  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ . Woher dieses Schema kommt, ist die zentrale Frage einer vereinheitlichenden Feldtheorie, nach der seit Jahrzehnten bisher erfolglos gesucht wird. (Quelle: [de.wikipedia.org/wiki/Standardmodell](http://de.wikipedia.org/wiki/Standardmodell))

ihrer komplizierten rechten Seite, dem Energie-Impulstensor  $T[\Psi(P)]$  der Materie erklärt, konnte aber bisher nicht in einem adäquaten geometrischen Weltmodell formuliert werden. Für dieses Ziel wurden zwar in den letzten 100 Jahren u. a. höhere Dimensionen der Welt postuliert, neue geometrische Objekte wie Strings und Branes eingeführt oder völlig neue geometrische Strukturen wie ‚Supersymmetrien‘ ausgedacht - aber bisher ohne Erfolg.

Ein wichtiger (ästhetischer) Grund, warum die meisten Physiker weder die Allgemeine Relativitätstheorie noch das Standardmodell als der Weisheit letzten Schluß ansehen, ist die Kompliziertheit ihrer mathematischen Beschreibung: nichtlineare, partielle Differentialgleichungen wie die Einstein-Gleichung und die Topologie von Hauptfaserbündeln wie die lokale Eichgruppe - zumal in ihrer kanonisch quantisierten Operator Darstellung als Quantenfeldtheorien - sind nicht gerade als ‚mathematisch einfach‘ zu bezeichnen. Das hier vorgestellte finite Weltmodell ist deutlich ‚harmonischer‘ und basiert auf wenigen Annahmen (i) -(vi) über die Natur von Ereignispunkten, die mathematisch im wesentlichen nur die Linearisierung quadratischer Formen verwendet. Dabei kehren die einfachen Kegelschnitte zurück in die fundamentale Physik - allerdings nicht zur Beschreibung von Planetenbahnen wie bei Kepler, sondern als ordnende Grundfigur der elementaren Ereignisse in der Welt.

## Ursprung von Raum und Zeit: endliche Geometrie der Welt

Die Annahme, dass die Welt nur aus endlich vielen Punkten besteht, hat enorme Vorteile in der mathematischen Modellierung physikalischer Phänomene. Eine Beschreibung basierend auf kontinuierlichen Geometrien scheint nämlich unweigerlich Singularitäten zu erzeugen, bei denen physikalische Größen unendlich groß werden. So führt im Rahmen der Allgemeinen Relativitätstheorie nach dem Penrose-Hawking-Theorem die Krümmung der kontinuierlichen Raumzeit zu einem ‚Gravitationskollaps‘, in dem Trajektorien von Teilchen einfach enden. Auch im Rahmen der Quantenfeldtheorie für elementare Teilchen führt nach dem Haag-schen Theorem jede Störungstheorie von Teilchen in einem kontinuierlichen Raum zu Widersprüchen, so dass jedes Wechselwirkungsbild inkonsistent ist bzw. mathematisch gar nicht existiert. Diese unphysikalischen Konsequenzen der Mathematik kontinuierlicher Geometrien wurden in der Physik bisher gerne ignoriert - trotz ihrer Bedeutung, das Standardweltmodell grundlegend in Frage zu stellen. Durch die Annahme einer finiten Geometrie wird dagegen eine fundamentale Skala eingeführt, die jede dieser mathematischen Inkonsistenzen auf natürliche Weise vermeidet. Allerdings hat es sich als äußerst schwierig erwiesen, ein finites Weltmodell zu formulieren, das empirisch adäquat ist. Wenn dies gelingen würde, könnten eventuell sogar Annahmen begründet werden, die in der kontinuierlichen Geometrie der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) und des Standardmodells einfach vorausgesetzt werden, obwohl man sie durchaus in Frage stellen kann:

- Woher kommt überhaupt die Zeit, bzw. warum gibt es nur genau eine Zeitdimension und nicht mehrere oder keine? In der ART ist ‚Zeit‘ eine notwendig vorausgesetzte Dimension der Welt, in einer finiten Geometrie folgt sie aus der Äquivalenz quadratischer Formen (siehe **A** unten).
- Wieso ‚leben‘ wir in drei Dimensionen des Raumes? In der ART ist die Dimension  $d$  ein willkürlich festgelegter Parameter, in einer finiten Geometrie folgt sie aus der Nicht-Existenz von Eikörpern für  $d \geq 4$  (siehe **B**. unten).
- Warum gibt es überhaupt Materie, bzw. was ‚ist‘ Materie eigentlich geometrisch? Im Standardmodell ist Materie keine geometrische Eigenschaft der Welt, sondern eine eigenständige Entität, die sich im Raum bewegt. In einer finiten Geometrie folgt die Existenz von Materiefeldern aus den zusätzlichen Freiheitsgraden einer notwendig projektiven Geometrie (siehe **C**. unten).
- Warum zeigt die Materie Quanteneigenschaften, bzw. warum können Teilchen verschwinden oder entstehen? Im Standardmodell muß zusätzlich angenommen werden, dass Teilchenfelder ‚quantisiert‘, d. h. mathematisch ausgedrückt, dass sie Operatoren  $\hat{\Psi}(P)$  und nicht einfach klassische Felder  $\Psi(P)$  sind. In einer finiten Geometrie folgt die Quantisierung aller Teilchenfelder von selbst aus der geometrischen Struktur der Welt, die aus einer Raumzeit als Basis und Feldern als Fasern besteht (siehe Abb. 6).
- Warum gibt es überhaupt eine Geometrie, bzw. wofür stehen ‚Punkte‘ und ‚Linien‘? In der ART wird die Raumzeit als eine präexistente Bühne angenommen, in der die Materie sich bewegt und alles Geschehen vor sich geht. Eine finite Geometrie erlaubt ein anderes Verständnis, das einen Prozess von Ereignissen anstelle der Existenz von Dingen zum Grund der Welt erklärt, was der Erfahrung von Freiheit in einer offenen Zukunft besser entspricht.

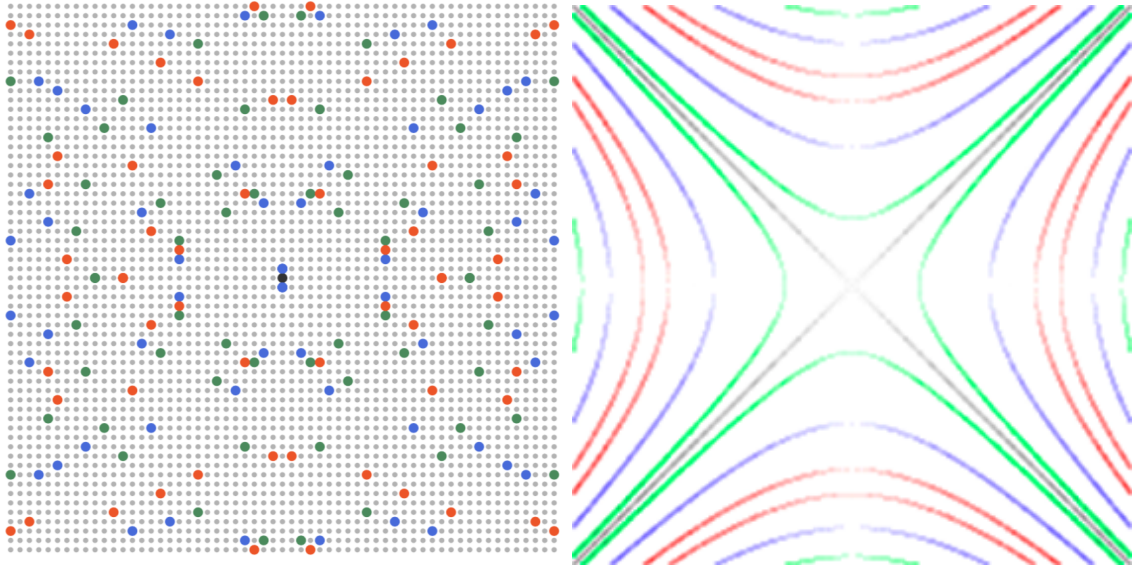


Abbildung 4: (a) Eine 2-dimensionale finite Ebene mit  $n^2$  Punkten ( $n = 59$ ). Die blauen, roten und grünen Punkte sind verschiedene Quadriken (Kegelschnitte). Die Geometrie endlich vieler Punkte ist auf den ersten Blick verwirrend: die Nachbarpunkte zu dem zentralen Punkt in der Mitte liegen in der gesamten Ebene verteilt und bilden keine so schönen Kurven wie die in Abb. 2 gezeigten Kegelschnitte der Euklidischen Ebene. Dieser Unterschied scheint der geometrische Grund für Quantenphänomene zu sein. (b) Im Kontinuumslimit geht die Quadrik im Basisraum in die hyperbolischen Kegelschnitte der Minkowski Raumzeit über. Rechts ist  $n = 10007$  zu sehen, wobei die reelle Wurzel aus den Quadratkoordinaten gezogen wurde, die links für  $n = 59$  gezeigt sind. (Quelle: A. Laska)

- Wie kommt Neues in die Welt, bzw. welche zukünftigen Ereignisse sind durch die Geometrie der Welt festgelegt? Im Standardmodell sind die Teilchenfelder eindeutig durch Anfangswerte bestimmt. Ein Laplacescher Dämon kennt daher nicht nur die Vergangenheit sondern auch schon die Zukunft vollständig, bzw. die Wahrscheinlichkeiten aller möglichen Ereignisse. In einer finiten Geometrie ist die Zukunft von Ereignissen dagegen prinzipiell offen.

Um diese neuen Antworten geben zu können, müssen wir die Unterschiede zwischen kontinuierlichen und finiten Geometrien betrachten, da letztere interessante Alternativen zum (kontinuierlichen) Standardmodell bieten.

## Unterschiede kontinuierlicher und finiter Weltmodelle

In Abbildung 4 ist eine solche 2-dimensionale finite Geometrie gezeigt, die aus  $59^2 = 3481$  Weltpunkten besteht. Die roten Punkte (wie auch die blauen und grünen) sind eine finite Quadrik, d.h. mögliche Nachbarpunkte zu dem schwarzen Punkt in der Mitte. Offensichtlich bilden diese keine so schön geformten Kurven wie die Kreise, Ellipsen oder Hyperbeln der kontinuierlichen Geometrie, die in Abbildung 2 gezeigt sind, obwohl beide Lösungsmengen einer quadratischen Gleichung sind. Immerhin kann man durch ein unten beschriebenes Umsortieren erreichen, dass für eine große Anzahl von Punkten (siehe rechts in Abb. 4 für



$10007^2 = 100140049$  Punkte) auch in der finiten Ebene so etwas wie kontinuierliche Hyperbeln entstehen. Aber diese unterschiedliche geometrische Struktur quadratischer Formen in finiten Geometrien ist der tiefere mathematische Grund, warum physikalische Aussagen über die Dimensionalität des wahrnehmbaren Raumes und die Existenz einer Zeitkoordinate möglich sind:

- A. Äquivalenz:** Während es in kontinuierlichen Geometrien verschiedene Typen von Quadriken gibt (Kegelschnitte wie Kreis, Ellipse, Hyperbeln), sind sie in finiten Geometrien stets hyperbelartig. Physikalisch impliziert dies, dass es **genau eine Zeitdimension** gibt und damit eine konstante Lichtgeschwindigkeit sowie einen sogenannten Lichtkegel, auf dem sich Licht im Raum ausbreitet.
- B. Existenz von Eikörpern:** Während in kontinuierlichen Geometrien es stets auch ‚eiförmige‘ Quadriken (Kreis, Ellipse, Kugel,...) gibt, enthalten sie in finiten Geometrien immer auch ganze Geraden, wenn die Dimension der Welt größer als 3 ist. Physikalisch impliziert dies, dass es **höchstens drei sichtbare Raumdimensionen** gibt, da jede höhere Dimension in finiten Geometrien vom Lichtkegel ‚verschluckt‘ wird und daher als Raum nicht sichtbar ist.
- C. Winkelmaße:** Während in kontinuierlichen Geometrien mit der Quadrik  $Q$  nicht nur Abstände zwischen Punkten, sondern stets auch Winkel zwischen Geraden und Ebenen festgelegt sind, müssen diese in finiten Geometrien durch die Bestimmung von ‚Nachbarlinien‘ und ‚Nachbarebenen‘ extra definiert werden. Physikalisch impliziert dies, dass die Geometrie **projektiv** sein muß - mit zusätzlichen Freiheitsgraden in Geraden- und Ebenenanordnungen, die als Materie- bzw. Eichfelder interpretierbar sind.

Es ist etwas ungewöhnlich, sich vorzustellen, dass der so anschauliche kontinuierliche (Euklidische) Raum mathematisch betrachtet eigentlich eine hochspezialisierte Geometrie mit vielen zusätzlichen Annahmen über den Zusammenhang (Topologie), die Abstände (Metrik) und Ordnung der unendlich vielen Punkte ist, die viele geometrische Aspekte einer Menge von endlich vielen Punkte schlicht zum Verschwinden bringen. Die wenigen und einfachen Annahmen **(i)-(iv)** über die Nachbarschaft endlich vieler Punkte erlauben dagegen noch geometrische Eigenschaften in endlichen Punktmenge, die physikalische Eigenschaften von Raum, Zeit und Materie erklärbar machen. In Abbildung 5 ist eine solche 2-dimensionale finite projektive Geometrie mit ihrer hyperbolischen Quadrik in einem 3-dimensionalen Koordinatensystem veranschaulicht. Gezeigt sind 49 Weltpunkten, die (roten) Nachbarpunkt des zentralen schwarzen Punktes, sowie einem 2-dimensionalen Lichtkegel (zwei Geraden aus gelben Punkte) und projektiven Freiheitsgrade als Punkte im ‚Unendlichen‘ (außerhalb des Punktequadrates).

## Ursprung der Materie: Vielfalt einer inhomogenen Welt

Die Annahme endlich vieler Punkte ist wohl das einfachste geometrische Modell, das die Grundeigenschaften einer geordnet zusammenhängenden Welt erfüllt. Eine notwendige logische Konsequenz der vier oben genannten Annahmen **(i)-(iv)** ist, dass die Welt aus drei Raumdimensionen und einer Zeitdimension besteht - mehr ist bisher nicht gefolgert, insbesondere wissen wir noch nichts über die möglichen Eigenschaften von Materie in dieser Welt. Seit der Antike mit den Atomisten Leukip und Demokrit von Abdera wurde die Materie von Zeit

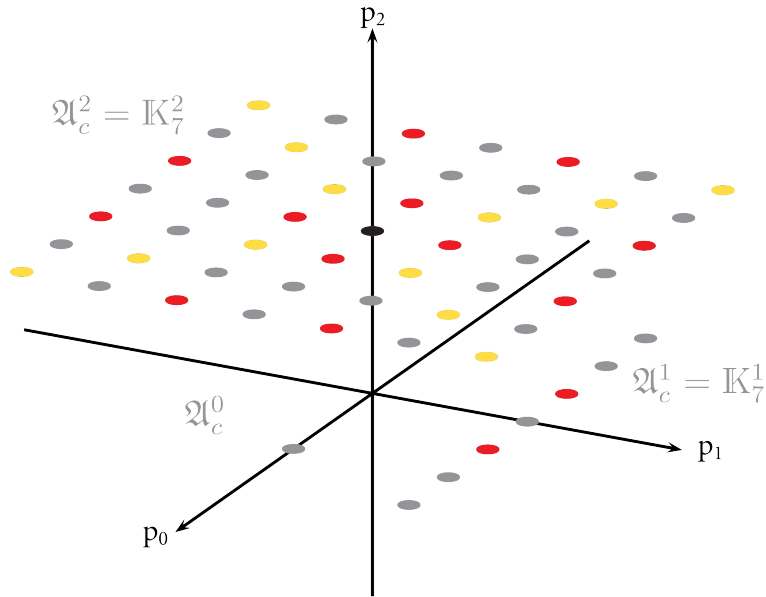


Abbildung 5: Eine 2-dimensionale finite Geometrie kann man sich als ein Quadrat von  $n^2$  Punkten vorstellen (hier  $n = 7$ ). Der Lichtkegel zum zentralen Punkt (‚hier und heute‘) besteht aus den zwei Geraden aus gelben Punkten. Die Quadrik (Nachbarpunkte zum Zentrum) sind als rote Punkte eingezeichnet. In einer finiten Ebene müssen nicht nur die Punkte, sondern auch die Geraden explizit angegeben werden (siehe **C.**): sie werden hier durch zusätzliche Punkte ‚außerhalb‘ des Quadrates der  $n^2$  Weltpunkte symbolisiert. (Quelle: Alexander Laska)

und Raum getrennt, der nur als leerer Behälter vorgestellt wurde, in dem sich punktförmige Teilchen bewegen und damit die Vielfalt der Erscheinungen der Materie hervorbringen.

Geht man davon aus, dass die Welt von jedem Punkt aus betrachtet ‚gleich‘ aussieht, dann wäre sie tatsächlich ziemlich einfach und vor allem leer. Diese Annahme der Gleichheit in jedem Punkt ist aber gar nicht notwendig, denn mit den vier obigen Annahmen ist es durchaus verträglich, dass die Nachbarschaftsordnung an jedem Punkt eine andere ist. Denn die Festlegung von Nachbarn legt nicht die weiteren Nachbarpunkte der Nachbarn fest. Mit anderen Worten, man kann in jedem Punkt  $P$  eine andere Quadrik (quadratische Form)  $Q(P)$  haben, die seine Nachbarpunkte festlegt, ein sogenanntes *Quadrik-Feld*  $Q(P)$ . In der Physik spricht man seit Michael Faraday von einem ‚Feld‘ wenn eine physikalische Größe jedem Ort  $P$  ‚angeheftet‘ ist - wie die Halme bei einem ‚Getreidefeld‘ oder die Fasern bei einem Teppich bzw. wie bei dem in Abb. 6 gezeigten ‚Faserbündel‘. Wie bei einem Getreidefeld kann ein physikalisches Feld ‚gleichmäßig geordnet‘ oder wild durcheinandergewirbelt sein. Nun ist aber nicht jede beliebige Nachbarschaftsordnung an jedem Punkt möglich, da sonst alles in unabhängige Punkte zerfallen und gar nichts zusammenhängen würde. Es ist sinnvoll, eine Symmetrie der Nachbarschaftsbeziehung als fünfte Annahme zu fordern:

- (v) ein Nachbarpunkt eines Punktes hat als Nachbar auch diesen Punkt.

Umgangssprachlich bedeutet dies, dass man immer der Nachbar seines Nachbarn ist. So selbstverständlich diese Annahme klingt, so weitreichend ist ihre Konsequenz: sie impliziert, dass die Quadriken ‚zusammenhängen‘, die Materiefelder untereinander wechselwirken, was symbolisch durch die *Wechselwirkungsrelation*  $P = Q \circ Q(P)$  geschrieben werden kann. Die

Verknüpfung  $Q \circ Q$  soll symbolisch andeuten, dass der Schritt zum nächsten Nachbarn ( $\in Q$ ) wiederholt wird - allerdings in umgekehrter Richtung. Nur aufgrund der Annahme  $(\mathbf{v})$  gibt es ein *Netzwerk* von Nachbarschaftsbeziehungen.

Ein wichtiger Test der Annahme  $(\mathbf{v})$  wäre, sie als das finite Analogon der fundamentalen physikalischen Wechselwirkungen zu zeigen, d.h. aus ihnen die Einstein-Gleichung und den Energie-Impuls-Tensor im Standardmodell abzuleiten. Dies ist gerade die Aufgabe, vor der die Forschung zum finiten Weltmodell steht. Niemand weiß zum jetzigen Zeitpunkt, ob dies gelingt, oder ob die Annahme  $(\mathbf{v})$  durch eine andere ersetzt, oder gar der ganze finite Ansatz modifiziert werden muß.

## Linearisierte Wechselwirkung: Klassifikation elementarer Teilchen

Das hier vorgestellte Weltmodell beruht einzig auf der Strukturierung von Punkten durch quadratische Formen, dem Feld von Quadriken  $Q(P)$ , das die Nachbarschaft jeden Punktes  $P$  angibt. Die sogenannte ‚Feldtheorie‘ der Physik versucht, die möglichen Konfigurationen von physikalischen Feldern zu beschreiben, die Felder  $Q(P)$  möglichst vollständig zu klassifizieren. Eine elegante Methode dafür stellt die ‚Linearisierung‘ von quadratischen Formen dar. Aus der Äquivalenz aller quadratischen Formen (siehe A. oben) folgt, dass diese Quadriken  $Q(P) = \Psi^t(P)\Psi(P)$  durch eine sogenannte Transformationsmatrix (Projektivität)  $\Psi(P)$  dargestellt werden können, die quasi die ‚Wurzel‘ der quadratischen Form  $Q(P)$  ist. Anschaulich stellen die Transformationsmatrizen  $\Psi(P)$  eine ‚Deformation‘ der Nachbarschaft dar, analog wie im Anschauungsraum eine Ellipse ein ‚deformierter‘ Kreis ist. Die Punkte des Kreises werden dabei durch  $\Psi(P)$  auf die Punkte einer Ellipse mit Mittelpunkt  $P$  ‚verschoben‘. Die Stärke der mathematischen Sprache ist - neben ihrer Exaktheit - die Fähigkeit, einfache Verfahren zu verallgemeinern und dadurch neue Beschreibungsmöglichkeiten zu schaffen. Das Ziehen der Wurzel einer Zahl ist von der elementaren Schulmathematik vertraut; die Erweiterung des Konzeptes auf andere mathematische Objekte als einfachen Zahlen war oft ein wichtiges Erkenntnismittel. Physikalisch können wir die einzelnen Komponenten der Transformationsmatrix  $\Psi(P)$  als elementare Teilchen interpretieren, d.h. als Felder der in Abb. 3 aufgeführten Elektronen, Quarks oder Neutrinos. Was wir als Materieteilchen erfahren, sind geometrisch also Verzerrungen der Quadrik, d.h. der Nachbarschaftsrelationen von Punkten in der Welt.

Die im Standardmodell per Hand eingeführten Teilchenfelder  $\Psi(P)$  sind nach dieser geometrischen Deutung daher nicht etwas, was zusätzlich zu Raum und Zeit hinzukommt und sich in ihnen verändert, sondern sie drücken gerade als Transformationsmatrix  $\Psi(P)$  die Struktur von Raum und Zeit aus, indem sie ein Quadrikfeld  $Q(P) = \Psi^t(P)\Psi(P)$  (durch Quadriken) bestimmen, das die Nachbarschaften der Punkte festlegt. Das Vorhandensein von Teilchen ist eigentlich nur eine bestimmte Textur der jeweiligen Anordnung von Punkten, Geraden und Ebenen. Ihre physikalischen Eigenschaften wie z.B. ihre Ladung, Masse oder Spin sind dann bestimmte geometrische Parameter dieser Störung einer homogenen Weltstruktur, deren Werte aus den geometrischen Annahmen  $(\mathbf{i})$ - $(\mathbf{v})$  abgeleitet werden können. Auch wenn dieser Test noch nicht bestanden wurde, eröffnet dieses finite Weltmodell neue Denkmöglichkeiten: wie bei Textilien durch Kräuselung der Fasern sehr verschiedenes Aussehen erzielt werden und selbst Kunststoffe den Charakter von Naturfasern erhalten können, so wird die Strukturierung der Weltpunkte als vielfältige Erscheinungsweisen der Materie wahrgenommen.

Ein wichtiger Teil der beobachteten elementaren Teilchen in Abb. 3 haben wir bisher nicht

besprochen. Wo sind die sogenannten Eichbosonen, die die Wechselwirkungen zwischen den Materieteilchen bestimmen: das Photon für das Licht und die elektromagnetische Kraft, die Gluonen für die starke Kernkraft und die  $W^\pm$ ,  $Z^0$ -Bosonen für die schwache Kraft. Um ihren Ursprung zu verstehen, müssen wir auf ein wichtiges Prinzip der Physik zu sprechen kommen, das für die Feldtheorie im 20. Jahrhundert leitend war: die **Symmetrien** physikalischer Gesetzmäßigkeiten insbesondere der Eigenschaften der elementaren Teilchen in Abbildung 3.

## Symmetrie: Translationen, Eich- und Lorentztransformationen

Wenn man die Wurzel aus einer Zahl zieht, erhält man in der Regel zwei Lösungen, z.B.  $+1$  und  $-1$  als Lösungen der Gleichung  $x^2 = 1$ . Genauso erhält man für die Wurzel  $\Psi(P)$  aus der quadratischen Gleichung  $\Psi^t(P)\Psi(P) = Q(P)$  mehrere Lösungen, die äquivalent sind, bzw. durch eine Symmetrietransformation auseinander hervorgehen. Genau so wie  $-1$  durch ein Vorzeichenwechsel aus der Lösung  $+1$  entsteht, können alle Lösungen  $\Psi(P)$  der Gleichung  $\Psi^t(P)\Psi(P) = Q(P)$  für gegebenes  $Q(P)$  durch Multiplikation eines ‚Vorzeichens‘  $\Psi_0(P)$  aus einer gegebenen Lösung erzeugt werden. Eine Lösung  $\Psi_0(P)$  dieser quadratischen Gleichung gibt eine Transformation des Koordinatensystems an, die die quadratische Form  $Q(P)$  und damit die Nachbarschaftsrelation **(iv)** nicht ändert; es ist eine sogenannte *Isometrie* oder *Eichsymmetrien*. Anschaulich entspricht eine solche Symmetrietransformation einer Quadrik der Drehung eines Kreises im kontinuierlichen Anschauungsraum, d. h. einer Transformation des Kreises, die seine Form nicht verändert, ihn z. B. nicht in eine Ellipse deformiert, was eine beliebige Transformationsmatrix  $\Psi$  tun würde.

Die Anzahl dieser Isometrien ist nun nicht zwei wie bei  $x^2 = 1$ , sondern sehr groß und beinhaltet nicht nur Rotationen des Raumes, sondern auch sogenannte Lorentz-Transformationen und Eichtransformationen, die für das symmetrische Schema der Elementarteilchen in Abbildung 3 verantwortlich sind. Denn sie lassen sich auch als elementare Teilchenfelder interpretieren, nämlich als Gluonenfelder  $g(P)$ , als  $W_\mu^\pm(P)$  und  $Z_\mu^0(P)$ -Eichbosonenfelder sowie als elektromagnetisches Feld  $\gamma_\mu(P)$  (Photon-Feld). Zu jedem Typ der elementaren Teilchen äußert sich diese Nachbarschaftssymmetrie als eine Kraft, die wir als Gravitation ( $k = 4$ ), starke ( $k = 3$ ), schwache ( $k = 2$ ) und elektromagnetische ( $k = 1$ ) Wechselwirkung kennen. Das, was wir in der Natur als Kräfte erfahren, sind also Zwangsbedingungen (Restriktionen) an mögliche Nachbarschaftsordnungen von Punkten, Geraden und Ebenen, die wir in verschiedene Kraftarten zwischen elementaren Teilchentypen klassifizieren können.

Die Existenz solcher elementarer Eichfelder liegt im finiten Weltmodell also allein an der quadratischen Struktur der Nachbarschaftsbeziehung **(iv)**, die viele Linearisierungen durch Symmetrie-Transformationen  $\Psi_0$  als Lösungen der quadratischen Gleichung erlaubt.

## Einheit von Raum, Zeit und Materie: Inhomogenität der Welt

Albert Einsteins zentrale Idee in der Allgemeinen Relativitätstheorie war, dass die *Inhomogenität* der Raumzeit, d. h. ihre Krümmung in der Welt als physikalisches Phänomen der Gravitation wahrgenommen wird. Eigenschaften der Materie, z. B. ihre Schwere, werden damit zu geometrischen Eigenschaften des Raumes, in dem sie sich bewegen. Wechselt man - aus obigen Gründen - die Annahmen über die Geometrie des Raumes von einer kontinuierlichen Mannigfaltigkeit zu einer Menge endlich vieler Punkte, ist sogar eine noch viel weitreichendere Folgerung möglich: die *Einheit von Materie mit Raum und Zeit*. Die finite Welt ist notwendig projektiv und hat dadurch mehr Freiheitsgrade, die nicht nur als Krümmung der

Raumzeit, sondern auch als materielle Freiheitsgrade der Welt verstanden werden können. Was wir als Materie und Kräfte wahrnehmen, sind nach diesem Weltmodell nur geometrische Krümmungen von zusammenhängenden Punkten. Es gibt keinen prinzipiellen Unterschied zwischen Raum, Zeit und Materie; alle drei sind nur verschiedene *Erscheinungsweisen einer inhomogenen Welt* von Punkten, die Nachbarpunkte haben. Diese Nachbarschaftsordnungen legen fest, welche Weltstruktur wir als Raum wahrnehmen, was als Zeit erfahren oder als Kräfte von Materie erleben. Die materiellen Freiheitsgrade sind dabei solche Nachbarschaftsordnungen, die eine homogene Ordnung der Welt stören, d. h. die Punkte zu ‚Klumpen anhäufen‘ und die Linien ‚kräuseln‘ wie in einem kunstvollen Gewebe.

Doch ganz so einfach ist es in endlichen Geometrien nicht, da dort im Unterschied zu kontinuierlichen Geometrien sogar die homogenen Räume sehr kompliziert aussehen und keineswegs einfach mit unserem homogenen Anschauungsraum vergleichbar sind. Wie dieser aus einer endlichen Punktmenge entsteht, muß nun untersucht werden.

## Ursprung des Raumzeitkontinuums: Nähe und Nachbarschaft

Das in Abbildung 5 gezeigte Beispiel einer finiten Ebene sieht nicht gerade aus wie unser kontinuierlicher Anschauungsraum und die roten Quadrikkpunkte entsprechen nicht dem, was wir üblicherweise als Kreis oder Hyperbel betrachten. Warum können wir also in diesem finiten Modell überhaupt erwarten, eine (von Materie leere) Welt auf großen Skalen als eine kontinuierlich wahrgenommene Raumzeit beschreiben zu können?

Warum beobachten wir einen scheinbar andauernd vor uns liegenden Raum und eine stetig fortschreitende oder ruhig fließende Zeit - im Gegensatz zu den komplex veränderlichen Zuständen der Materie? Permanent erscheint etwas dann, wenn es bei all den Veränderungen ‚gleich‘ bleiben kann. Eine notwendige Voraussetzung dafür ist, dass zumindest Drehungen der Blickrichtung oder Verschiebungen des Standpunktes einer Beobachtung nicht zu Änderungen der Geometrie des Raumes führen. Das ist zwar für unseren Anschauungsraum der Fall, nicht aber in finiten Geometrien, da die Begriffe ‚Umgebung‘ und ‚Nachbarschaft‘ auseinanderfallen und nicht mehr Ähnliches bezeichnen.

In unserem Anschauungsraum unterscheiden wir kaum zwischen den Begriffen ‚Nähe‘ und ‚Nachbarschaft‘, zwischen Umgebung und unmittelbarer Angrenzungs. Wenn etwas ‚benachbart‘ oder ‚angrenzend‘ ist, dann ist es auch ‚nahe‘ und umgekehrt. In finiten Geometrien können dagegen Nachbarn ‚nicht-lokal‘ verteilt und weit weg sein wie z. B. in Abb. 4 gezeigt. Insbesondere kann sich die Umgebung eines Punktes, d. h. die ihn lokal umgebenden Punkte, komplett verändern, nur allein durch Veränderung der Blickrichtung. In diesen verwirrenden Nachbarschaftsrelationen einer finiten Geometrie muß daher ein Raumkonzept gefunden werden, das eine (unter Symmetrien) ‚stabile Lokalität‘ zeigt.

Diese fehlende Eindeutigkeit von Anordnung von Punkten ist wohl der Grund gewesen, warum finite Geometrien seit ihrer Entdeckung am Ende des 19. Jahrhunderts nicht für Modelle der Physik herangezogen wurden. Die Überlagerung verschiedener Ordnungen widersprach zu sehr der alltäglichen Anschauung in der klassischen Welt. Erst die Entdeckung von Quantenphänomenen ließ es zu, auch über eine Überlagerung von Zuständen der Materie nachzudenken und letztendlich auch über eine Überlagerung von Räumen und Zeiten.

Eine Möglichkeit, die unterschiedlichen Ordnungen zu vereinigen, liegt also in der Einteilung aller Punkte der Welt in einen (*externen*) *Basisraum* und viele (*interne*) *Faserräume*, die an jedem Basispunkt ‚angeheftet‘ sind und seine Nachbarpunkte enthalten. In der Mathematik nennt man eine solche geometrische Struktur ein ‚Faserbündel‘, da sie - wie in

Abbildung 6 illustriert - wie ein geknüpfter Teppich aussieht. Allerdings ist ein Punkt in der Faser Nachbarpunkt zu mehreren Basispunkten, so dass die Fasern an bestimmten Stellen verknüpft sind, was in der Quantenphysik für den Ursprung der Nicht-Lokalität wichtig ist. Dass wir überhaupt so etwas wie einen (beständigen) ‚leeren Raum‘ wahrnehmen, liegt an den Wechselwirkungen ( $\mathbf{v}$ ) der Quadriken, die gebundene Systeme hervorbringen, die den finiten Basisraum auf großen Skalen zu einem persistenten Ereignis machen - im Gegensatz zu den ständig sich verändernden Materiepunkten in den Fasern. Denn makroskopische Körper können als gebundene Systeme nicht so ohne weiteres den Basisraum verlassen und spannen ihn sozusagen als ihren Aufenthaltsraum auf. Die kontinuierliche Raumzeit, die wir wahrnehmen, ist dann ein ‚unscharfes‘ Bild dieses Basisraums von endlich vielen persistenten Punkten. Die Freiheitsgrade der Punkte in den Fasern erscheinen dann als wechselwirkende Quanten in der gleichbleibenden Raumzeit. Durch die Unterscheidung von Basisraum und Faserraum bei den Punkten in der finiten Welt gewinnen wir die physikalisch wichtige Definition, was als Raumzeit und was als Materie erscheint: Die Punkte in den Fasern stellen somit Teilchen dar, die in Basispunkten raumzeitlich auftauchen und gemäß der Transformationmatrix  $\Psi(P)$  als Teilchenfelder bestimmte elementare physikalische Eigenschaften (Spin, Ladungen und Masse) tragen. Mit anderen Worten, die Quadriken  $Q(P)$  bzw. ihre Linearisierungen in den Transformationsmatrizen  $\Psi(P)$  verleihen den Punkten  $P$  der Faser ihre physikalische Bedeutung - nicht als Orte in einer Raumzeit, sondern als Materiepunkte.

Wir haben in Abbildung 4) gesehen, dass in der quadratischen Nachbarordnung die Orte der Quadrikenpunkte  $Q$  sich so sortieren, dass sie auf große Skalen (d.h. kleine Auflösung des Bildes) wie die vertrauten Hyperbeln der Euklidischen Geometrie aussehen (siehe Abb. 2). Genauso muß gezeigt werden, dass in einem solchen ‚Kontinuumsmlimes‘ die vertraute Physik erscheint, die empirisch so hervorragend getestet wurde. Finales Ziel der Forschung ist also die Herleitung sowohl der Einsteinschen Allgemeinen Relativitätstheorie als auch der (nicht-abelschen) klassischen Eichtheorie des Standardmodells in einem sogenannten Kontinuumsmlimes des finiten Weltmodells. Wenn dies im Einzelnen gelingt, ist der wesentliche Schritt für eine einheitliche Beschreibung von Raum, Zeit und Materie gemacht.

## Ursprung der Quantenphänomene: Zustände der Welt

Eine Eigenschaft der beobachtbaren Materie ist bisher nicht erwähnt worden: die in Abb. 3 aufgeführten elementaren Teilchen sind ‚Quanten‘, die nicht-lokal verschränkt sind, sowie erzeugt und vernichtet werden können. Materie ist daher nicht einfach da, sondern kann spontan verschwinden sowie umgekehrt aus dem ‚Nichts‘ entstehen. Physiker sprechen lieber vom ‚Vakuum‘, um eine ‚leere‘ Raumzeit ohne Materie zu bezeichnen. Diese sogenannten ‚Quantenfluktuationen‘ zeigen zudem eine von Einstein so genannte ‚spukhafte Fernwirkung‘, da die Korrelationen der Teilchenentstehung und -vernichtung instantan über beliebig große Entfernungen korreliert sind. Um diese bemerkenswerte Eigenschaft der Quantenbahnen verstehen zu können, muß nun abschließend die Quantisierung des Weltmodells diskutiert werden.

Um Quantenphänomene im Standardmodell mathematisch beschreiben zu können, werden üblicherweise die Teilchenfelder  $\Psi(P)$  mathematisch zu *Quantenfeldern*  $\hat{\Psi}(P)$ , die nicht mehr einfach Zahlenwerte einer physikalische Größe am Punkt  $P$  der Welt sind, sondern Operatoren, die Teilchen mit den physikalischen Eigenschaften von  $\Psi$  am Punkt  $P$  erzeugen. Dafür wurden von Werner Heisenberg die sogenannte *kanonischen Quantisierungsregel* mit den sogenannten *Kommutatoren*  $[\hat{a}_i, \hat{a}_j^\dagger]_{\pm} = \delta_{ij}$  für die Amplituden  $\hat{a}_i$  der Felder  $\Psi(P)$  eingeführt, die mathematisch beschreiben, was unter Teilchenoperatoren  $\hat{\Psi} = \hat{a}_i \Psi(P)$  zu verstehen ist

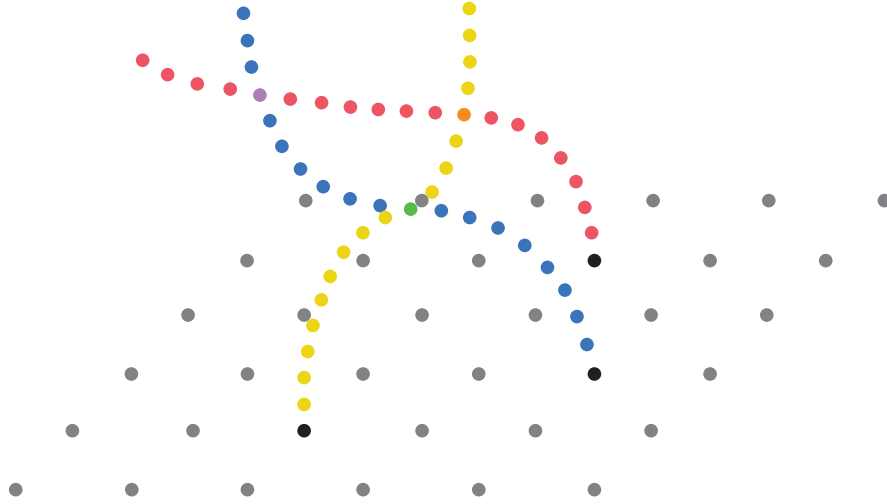


Abbildung 6: Basisraum (grau) mit Fasern (farbig) an jedem Punkt des Basisraums. Der Basisraum nähert sich für große Skalen dem vertrauten kontinuierlichen Anschauungsraum an, wobei die komplexe Nachbarschaftsordnung durch gemeinsame ‚Verknüpfungs- oder Schnittpunkte‘ der Fasern wiedergegeben ist. (Quelle: A. Laska)

Eine wichtige Konsequenz der Quantisierung ist, dass physikalische Größen  $\mathcal{O}(\psi)$  dadurch ‚unbestimmt‘ sind und keine bestimmten Werte mehr haben, sondern nur noch Wahrscheinlichkeiten  $W = \Psi^\dagger \Psi$  ‚besitzen‘, bestimmte Werte bei einer Messung zu zeigen. Was bedeutet aber die Quantisierung für die Einstein-Gleichung? Dies ist die Frage nach der *Einheit der Physik*, nach der Einheit von Raum, Zeit und Materie, für die mit der Allgemeinen Relativitätstheorie und der Quantenfeldtheorie zwei mathematisch ‚wesensfremde‘ Theorien in Einklang gebracht werden müssen. Die meisten Antwortversuche der letzten 100 Jahre gehen davon aus, dass die Quantentheorie gültig ist und die Einstein-Gleichung dementsprechend modifiziert werden muss. Das hier vorgeschlagene finite Weltmodell geht den umgekehrten Weg, indem es Einsteins geometrischen Ansatz der Allgemeinen Relativitätstheorie als grundlegend ansieht und die Quantenphysik nur als ein emergentes Phänomen der Geometrie. Für die Quantenphänomene muß demzufolge ein geometrischer Grund im Rahmen des finiten Weltmodells gefunden werden.

Bisher wurde die finite Geometrie eingeführt, um ‚mögliche‘ Nachbarpunkte von Punkten zu beschreiben. Ob diese möglichen Punkte überhaupt auch realisiert sind in der Welt, scheint aber eine physikalische Frage zu sein. Es macht daher Sinn, die Möglichkeit in Betracht zu ziehen, dass nicht alle möglichen Punkte auch in der Welt realisiert sind, und eine weitere geometrische Annahme über den *Zustand* der Welt zu machen:

(vi) Ein Zustand der Welt ist die Untermenge von ‚realisierten‘ Punkten.

Um den Zustand (eindeutig) zu bezeichnen, kann man *Besetzungszahlen*  $n(P) \in \{0, 1\}$  für jeden Punkt  $P$  einführen, so dass der Zustand gerade die Menge der ‚besetzten‘ Nachbarpunkte  $P'$  von  $P$  mit  $n(P') = 1$  ist. Diese Einführung von Besetzungszahlvariablen ist gerade die *Quantisierung im finiten Weltmodell*. Führt man die Besetzungszahl  $n(P)$  als Vorfaktor  $n(P)Q(P)$  für die Quadrik  $Q(P)$  an diesem Punkt ein, muß die Linearisierung  $n(P)Q(P) = \Psi(P)I_- \Psi(P)$  zu Vorfaktoren  $\hat{a}_P$  der Transformationsmatrizen  $\hat{a}_P \Psi(P)$  führen,

die die *quadratische Teilchenzahlrelation*  $n(P) = \hat{a}^\dagger \hat{a}$  erfüllen. Daraus folgt mathematisch bereits die Quantisierungsregel  $[\hat{a}_i, \hat{a}_j^\dagger]_{\pm} = \delta_{ij}$  von Heisenberg. Im Unterschied zur kanonischen ist die finite Quantisierung keine zusätzliche Forderung, sondern nur eine Beschreibung eines (klassischen) Zustandes von realisierten Punkten in der Welt.

Zusammenfassend stellen wir fest, dass die Einführung einer Nachbarschaftsrelation **(iv)** von Punkten die wesentliche Strukturierung der Welt darstellt. Da diese als Lösungsmenge einer quadratischen Gleichung (Quadrik) dargestellt werden kann, sind alle physikalischen Phänomene im wesentlichen eine quadratische Struktur: die Metrik  $g_{\mu\nu}$  in Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie, die Eichsymmetrien  $\Psi_0^t \Psi_0 = I$  der Wechselwirkungen im Standardmodell und auch die quantenphysikalische Bornregel  $W = \Psi^t \Psi$ . Alle drei Fälle haben ihren Ursprung in der Nachfolgerrelation **(iv)** von Ereignissen. Auch die Quantentheorie ist nur die Linearisierung dieser quadratischen Nachbarschaftsrelation **(iv)**. Abschließend kann man sagen: **Quanten sind linearisierte Quadriken.**

Richtig verständlich ist dieser ‚quantenphysikalische‘ Aspekt des finiten Weltmodells zugegebenermaßen nicht. Es sind bisher nur vage Ideen, die mathematisch ausgearbeitet werden müssen. Noch spekulativer wird es, wenn man sich die ultimative Frage stellt, woher überhaupt die geometrische Struktur der Welt kommt. Die bisherige abstrakte mathematische Diskussion war notwendig, um zu motivieren, dass unsere Sinne uns eventuell trügen und tatsächlich eine finite Geometrie unserem Anschauungsraum zugrunde liegt, bzw. zumindest mathematisch denkmöglich ist. Doch woher kommt die Geometrie der Welt? Bzw. wieso sollen wir die obigen Annahmen **(i)**- **(vi)** über Punkte und die sie verbindenden Linien und ordnende Quadriken überhaupt machen?

## Ursprung der Geometrie: Prozess von Ereignissen

Bisher sind wir von den mathematischen Eigenschaften finiter, projektiver Geometrien ausgegangen - ohne uns wirklich Rechenschaft über die verwendeten Grundbegriffe zu geben. Wir müssen nun abschließend klären, welchen Sinn es macht, von Punkten und Geraden, von ihren Schnittrelationen und Quadrikstrukturen als der Grundlage der Welt zu sprechen. Denn ein Weltmodell wie die hier vorgestellte finite Geometrie beruht auf Symbolen und Begriffen, die nicht von selbst verstehbar sind. Im Rahmen eines Modells kann man zwar bestimmte Eigenschaften der Welt ableiten und dadurch Erfahrungen erklären, man kann aber weder über Sinn noch Bedeutung reden, die man erst versteht, wenn das Modell in einen Begründungskontext übersetzt wurde. Ein Weltbild versucht dafür einen stimmigen Verstehensrahmen zu entwerfen, in dem jeder Grundbegriff und jede Aussage eines Weltmodells konsistent interpretiert werden kann. Es ist nicht Ziel dieses Kapitels die grundlegenden Fragen der Wissenschaftsphilosophie zu diskutieren, sondern nur Interpretationsmöglichkeiten des eingeführten finiten Weltmodells aufzuzeigen.

Nachdem Materie als geometrische Inhomogenitäten (geometrische ‚Fluktuationen‘ der Quadriken) mit Kräften als Nachbarschaftssymmetrie (Annahme **(v)**) verstanden wurden, die kontinuierliche Raumzeit als geometrische Ordnung der Quadriken (Annahme **(iv)**) und selbst die Quantenphänomene der Materie möglicherweise als Ausdruck der geometrischen Unordnung (geometrische ‚Fluktuation‘ der Umgebungen) erkannt wurden, stellt sich natürlicherweise die Frage, woher überhaupt die Geometrie kommt, welchen Grund wir für die Existenz von ‚Punkten‘, ‚Linien‘ und ‚Quadriken‘ angeben könnten. Primär existieren ‚offensichtlich‘ nur die Punkte  $P$ , während Linien  $L$  und Quadriken  $Q$  ‚nur‘ Beziehungen der Punkte untereinander kennzeichnen, die mathematisch eine bestimmte Geometrie der Punkte



definieren und die wir als Raum, Zeit und Materie wahrnehmen. Was aber ‚sind‘ Punkte? Mit dieser ontologischen Frage verlassen wir den Rahmen eines mathematisch-physikalischen Weltmodells und müssen uns ein Bild von der Welt machen, das das Modell als natürlich erscheinen läßt. Ein physikalisches Weltmodell ist ja nur eine Ordnung der Phänomene mit dem begrifflich klaren Instrumentarium der Mathematik, aber keine Interpretation der Grundbegriffe. David Hilbert soll zu der Frage ‚Was sind Punkte‘ gesagt haben: „Man muß jederzeit an Stelle von ‚Punkte, Geraden, Ebenen‘ ‚Tische, Stühle, Bierseidel‘ sagen können.“ Er verdeutlichte damit, dass dem Begriff ‚Punkt‘ in der Geometrie keine eigentliche Bedeutung zukommt, sondern es allein auf die in den obigen Axiomen (i)- (vi) ausgedrückten (Inzidenz-)Relationen ankommt. Die Geometrie ist zwar ursprünglich als Mathematik von Maßbestimmungen in Räumen entstanden, in der modernen Sichtweise ist es aber die Wissenschaft von Inzidenzbeziehungen. Die können auch für andere Elemente als Punkte und Linien zutreffend sein, z. B. für *punktuelle Ereignisse als Elemente einer Welt*, die prozesshaft gedacht wird.

Bisher geht die Physik in ihren Standardtheorien davon aus, dass eine kontinuierliche (topologische) Mannigfaltigkeit von Punkten als struktur- und beginnlose Bühne bereits vorliegt, in der sich dann die Materie und auch die Raum- und Zeitabstände entwickeln.<sup>1</sup> Begrifflich ist dies bei der Annahme einer kontinuierlichen Geometrie auch gar nicht anders möglich, wenn man vermeiden will, über ‚Ränder‘ einer Mannigfaltigkeit zu sprechen, wenn diese in einem Prozess überhaupt erst entstünde. Bei einer Geometrie endlich vieler Punkte ist dies anders, da Punkte stets schon ihrem Begriff nach singulär und vereinzelt sind, so dass endliche Punktmengen überhaupt keine ‚Ränder‘ haben können bzw. nur aus Rändern bestehen, die sich um jeden einzelnen singulären Punkt legen.

Die Annahme, dass die Welt aus endlichen Punkten besteht, macht also die Entstehung dieser Punkte als ein Prozess singulärer Ereignisse plausibel denkbar. Der Mathematiker und Philosoph Alfred North Whitehead schrieb schon 1919 in seiner ersten naturphilosophischen Schrift *Enquiry Concerning the Principles of Natural Knowledge*: „Raum, Zeit und Materie sind Attribute der Ereignisse. Nach der alten Theorie der Relativität sind Raum und Zeit Relationen zwischen Materiepartikeln; nach unserer Theorie sind sie Relationen zwischen Ereignissen.“ Er meinte damit, dass man nicht ‚Seiendes‘ als Grundlage der Welt machen sollte, sondern einen Prozess von Ereignissen, und ‚Dinge‘ nur als ‚permanente Ereignisse‘ anzusehen sind. Allerdings sind für Whitehead ‚Punkte‘ keine ‚atomaren‘ Ereignisse, sondern abstrakte Klassen von Ereignissen, sozusagen, das Abstraktum, das einer bestimmten Menge von Ereignissen ‚gemeinsam‘ ist.

In dem finiten Weltmodell gibt es somit zwei völlig verschiedene Arten von Zeit: (i) die Koordinaten-Zeit der Minkowski-Raumzeit und (ii) die Prozess-Zeit der Abfolge von Realisierungen einzelner Ereignisse. Dass beide zusammenfallen ist das Ergebnis der Schaffung einer Wahrnehmungsraumzeit durch gebundene Systeme (starre Körper), die zu einer Perpetuierung von Raumzeitereignissen führt, so dass jedes Ereignis einen Basispunkt in der Wahrnehmungsraumzeit induziert. Die Koordinaten-Zeit ist eigentlich keine wirkliche Zeit, da sie ein ‚Blockuniversum‘ impliziert, in dem alles statisch festgelegt ist - ohne jede eigentliche Entwicklung - wie es das bisherige Weltbild der Physik behauptet. Dagegen entspricht die Prozess-Zeit unserer unmittelbaren Zeiterfahrung, wird aber bisher in der Physik als ‚nicht-physikalisch‘ angesehen.

---

<sup>1</sup>Auch in der Allgemeinen Relativitätstheorie wird eine vier-dimensionale topologische Mannigfaltigkeit vorausgesetzt, die dann durch eine Metrik in allen ihren Punkten strukturiert wird. Mit anderen Worten, die gesamte Welt aller möglichen Punkte existiert bereits vor dem Urknall bzw. gleich nach der Singularität, nach der sich dann die Metrik zwischen allen Punkten entwickelt.

## Raum der Möglichkeiten: Freiheit und Geschichtlichkeit der Welt

Wenn diese Prozessinterpretation der geometrischen Grundbegriffe sinnvoll ist, dann hat dies Konsequenzen für unser Verständnis, was Physik bedeutet: sie ordnet ‚nur noch‘ bereits geschehene Ereignisse in ihre geometrische Ordnung, die wir als Naturgesetze formulieren, kann aber kaum Ereignisse eindeutig voraussagen. Die Zukunft ist (bedingt) offen und kann nicht durch Naturgesetzlichkeit festgelegt werden, da diese nur die Vergangenheit beschreibt und letztlich nur aus den Annahmen **(i)**-**(vi)** über die Natur von Ereignissen bestünde. Dies ist anders als in der klassischen Mechanik oder auch der bisherigen kontinuierlichen Quantentheorie, bei denen der Zustand eines Systems aufgrund von differentiellen Bewegungsgleichungen die zukünftige Entwicklung determiniert. In der finiten Geometrie von Ereignissen bestimmen die vergangenen Ereignisse (d.h. der Zustand der Welt) durch die ‚Naturgesetze‘ **(i)**-**(vi)** (Bewegungsgleichungen) die Realisierung von zukünftigen Ereignissen aber nicht eindeutig. Die Vorhersagekraft der Physik beruht dann allein darauf, einen Rahmen für mögliche zukünftige Ereignisse setzen zu können, die eben nicht beliebig sind, sondern den Eigenschaften **(i)** - **(vi)** von ‚Ereignissen‘ (‚Punkten‘) genügen müssen. In bestimmten Situationen, z.B. für makroskopische Körper legen diese bereits viel fest, in anderen so gut wie gar nichts, z.B. in der mikroskopischen Welt der Atome oder bei komplexen Systemen wie einem Gehirn. Was zukünftig passiert, ist aber prinzipiell offen, da die Naturgesetze **(i)** - **(vi)** von Ereignisprozessen immer noch einen Raum vieler Möglichkeiten erlauben. Diese Physik wäre insbesondere nicht prädiktiv. Die meisten bisherigen Theorien der Physik setzen voraus, dass Anfangsbedingungen die Zukunft eindeutig bestimmen. In diesem finiten Weltmodell läge die Vorhersagefähigkeit der Physik aber nur an der technischen Möglichkeit, durch Ereignisse Randbedingungen für weitere Ereignisse zu stellen. Determiniert wäre aber nur die bereits geschehene Vergangenheit.

Die Interpretation von ‚Punkten‘ als Ereignisse und ‚Linien‘ als Prozessabfolgen, ermöglicht damit eine neue Weltsicht, die bisherige Annahmen in Frage stellt. Gibt es wirklich einen Raum, der sich in die Zukunft erstreckt und dort bereits vorliegt, um von unseren Handlungen mit Ereignissen gefüllt zu werden? Oder ist nicht alles, was wir sehen, Vergangenes, das unsere Sinne nur für uns festhalten? Es gibt nichts in der Zukunft, auch keinen Raum und keine Zeit, denn sie sind auch nur permanent erscheinende Ereignisse der Vergangenheit. Die Zukunft ist dagegen völlig offen.

Die Frage, was die Realisierung von Ereignissen im Prozess bestimmt, scheint über die Möglichkeiten der Physik hinauszudeuten, da sie keine Frage der Strukturierung der bereits geschehenen Phänomene betrifft. Physik beschäftigt sich nur mit dem Beobachtbaren, d. h. der Vergangenheit, nicht mit den zukünftigen Ereignissen. Es ist wichtig zu betonen, dass die grundlegenden Naturgesetze **(i)**-**(vi)** eben ‚nur‘ Eigenschaften von vergangenen Ereignissen sind, die sich in Regelmäßigkeiten von Phänomenen ausdrücken. Durch ihre geometrische Struktur beeinflussen sie zwar zukünftige Ereignisse aus dem Raum der Möglichkeiten, da diese sich in Vergangenes einfügen müssen, sie determinieren sie aber nicht. Wie wird dann aber die Realisierung eines konkreten Ereignisses aus der Unendlichkeit der Möglichkeiten ausgewählt? Es könnte purer Zufall sein, oder ein völlig unbekanntes, nicht-physikalisches Prinzip, oder eventuell die Intention eines Bewußtseins. Empirisch scheint dann aber das größte ungelöste Problem zu sein, wie genau das Bewußtsein und der freie Wille des Menschen im Rahmen eines finiten Weltmodells wirkt, wie Intentionen in die Welt kommen. Bei solchen Fragen scheint die Physik momentan in der Tat an ihr Ende gekommen zu sein.

## Jenseits von Raum und Zeit: Geist und Seele

Zum Schluß bleibt eine Frage, die sich schon zu Beginn der Geschichte die Vorsokratiker stellen: in welchem Verhältnis steht der Geist zur Welt, sei es die kognitive Psyche - von Plato ‚nous‘ genannt - oder die intentionale und bewegende Lebenskraft - von Anaximenes Pneuma - genannt? Was ist Intention von Punkten? Was ist raumloser Geist? Gibt es eine Seele? Und letztlich, wo ist Gott in einer finiten Welt? Erlaubt ein finites Weltmodell, zu solchen Fragen etwas beizutragen, was nicht früher schon formuliert war? Man könnte darüber spekulieren, ob in dieser Welt der Ereignisse es nicht auch Ereignisse gibt, die sich nicht in Raum und Zeit zeigen: Prozesse der Gefühle und des Bewußtseins, der Intention und des Willens. Qualia wären raumzeitlose Ereignisse, die aber ‚verbunden‘ sind mit neuronalen Gehirnaktivitäten als den (korrelierten) Ereignissen in Raum und Zeit. Die Welt finiter projektiver Geometrien würde solche Geistereignisse zulassen, z. B. als Ereignisse im ‚Unendlichen‘, die außerhalb von Raum und Zeit liegen aber als Ereignisse von Linien oder Hyperebenen dennoch mit ihnen verbunden wären. Denkmöglich sind solche Fragen im Rahmen eines finiten Weltmodells geworden, aber was sind die definierenden Eigenschaften solcher Geist-Ereignisse und wie genau nehmen sie Einfluß auf die Welt der Raumzeit-Ereignisse? Nun kann man über mögliche Antworten trefflich spekulieren und debattieren. Entscheidend ist, ob das vorliegende Weltmodell mit den empirisch feststellbaren Fakten konsistent ist.

## Auf dem Weg zum Standardmodell der Physik

Wir müssen uns abschließend also der Frage stellen, wie weit das bisher formulierte Weltmodell empirisch adäquat ist und der tatsächlichen Welt entspricht. Im Gegensatz zur Allgemeinen Relativitätstheorie und der Quantenfeldtheorie der elementaren Teilchen ist das hier vorgestellte Weltmodell bisher nicht in seinen physikalischen Vorhersagen ausgearbeitet oder gar empirisch getestet. Es ist bisher nur ein theoretischer Ansatz, der vielversprechende Aspekte aufweist, eine einheitliche Theorie der physikalischen Phänomene der Welt zu erklären. Ob das Weltmodell einer projektiven Geometrie endlich vieler Ereignispunkte tatsächlich mit allen empirischen Daten verträglich ist, wird gerade studiert. Ziel ist dabei, sowohl das Standardmodell der Elementarteilchenphysik als auch die Allgemeine Relativitätstheorie der Kosmologie aus der grundlegenden finiten Geometrie als effektive Theorien für große Skalen abzuleiten. Wenn dies mathematisch gelingt, kann die bereits vorliegende, hervorragende empirische Bestätigung dieser Theorien zur Begründung des tiefer liegenden geometrischen Weltmodells verwendet werden.

Abgesehen davon, dass die Grundstruktur einer 3+1-dimensionalen Welt mit Quantenmaterie ohne Singularitäten auf natürliche Weise durch eine finite Geometrie von Ereignissen begründet werden kann, stellt sich offensichtlich die Frage, ob auch etwas Beobachtbares neu erklärbar bzw. dieser theoretische Ansatz durch empirische Experimente testbar ist. Dafür spielen vor allem die Vermessungen der elementaren Teilchen an Beschleunigern wie dem CERN und der großräumigen Struktur des Universums wie durch das Weltraumteleskop Hubble eine entscheidende Rolle, da nur bei den kleinsten oder größten Längenskalen sich die entscheidenden Eigenschaften der Materie zeigen (siehe Abb. 7). Die Hoffnung ist, mit diesem finiten Weltmodell auch Fragen zu diesen kosmologischen Beobachtungen bzw. gemessenen physikalischen Werten elementarer Teilchen beantworten zu können, die momentan im kontinuierlichen Standardmodell der Physik zwar thematisiert, aber nicht beantwortet werden können: Woher kommen die gemessenen **Werte der 24 unbestimmten Parameter**

im Standardmodell, insbesondere die Hierarchie der verschiedenen Massen und Wechselwirkungskonstanten? Warum gibt es **drei Familien** von elementaren Teilchen? Was ist die **„Dunkle Materie“**? Was ist die **„Dunkle Energie“**? Ist die beobachtete Beschleunigung der Expansion des Universums möglicherweise ein Effekt der zusätzlichen Dimensionen im Lichtkegel einer finiten Geometrie, der quasi als zusätzlicher Raum in jedem Raumzeitpunkt der Welt als **„Hintergrunddynamik“** wirkt?

Es ist noch viel zu tun, alle diese Werte zu berechnen. Auch wenn dies konkret noch nicht geschehen ist, erlaubt das finite Weltmodell doch zumindest Ideen, woher diese Werte kommen könnten und eröffnet damit ein produktives Forschungsfeld für die nächsten Jahrzehnte. Es würde an ein Wunder grenzen, wenn alle diese Zahlenwerte wie gemessen aus dem finiten Geometriemodell berechenbar wären. Selbst wenn sich dieser Ansatz als empirisch nicht adäquat erweisen sollte, ist er aber nicht wertlos. Es ist ein wohldefiniertes Modell, von dem es sich lohnt, seine Eigenschaften zu studieren und Konsequenzen zu kennen. Es eröffnet vor allem auch Denkmöglichkeiten, die vielleicht in eine andere Richtung weisen werden, die dann hoffentlich erfolgreicher wären, die Phänomene zu erklären.

Wenn dieses Modell und die Interpretation der finiten projektiven Geometrie als ein Prozess von Ereignissen stimmt, wäre dies wohl das Ende der Grundlagensuche der Physik. Die Physik hebt sich quasi auf, da es keine Naturgesetzlichkeit mehr zu entdecken gibt, wenn die beobachtete Welt nur die zurückbleibende Spur des Geschehenden ist, die sich notwendigerweise als finite projektive Geometrie strukturiert. Natürlich wurde das Ende der Physik schon öfters ausgerufen; am Ende des 19. Jahrhunderts mit der Klassischen Mechanik als einer alle natürlichen Phänomene erklärenden Theorie und neuerdings mit der Superstringtheorie und anderen Varianten einer Weltformel oder **„Theory of Everything“**. Wer weiß schon, welche Überraschungen Natur für uns bereit hält in immer kleineren oder größeren Skalen? Es gibt allerdings einen guten Grund, ein Ende der Grundlagensuche der Physik zu erwarten: die fundamentalen Naturgesetze, aus denen die Allgemeine Relativitätstheorie und das Standardmodell ableitbar sind, könnten so **„einfach“** sein, dass überhaupt kein Bedarf nach einer weiteren Suche da wäre. Wenn die benötigten Grundbegriffe und Grundrelationen gar keine Mathematik mehr benötigen und so evident einleuchtend sind, dass sich jede weitere Frage erübrigt. Physik hebt sich dann auf, weil sie nichts mehr zu erklären hat, weil die fundamentalen Naturgesetze sich nicht in abstrakter Mathematik finden lassen, sondern sich auflösen in den Eigenschaften eines Prozesses von Ereignissen.

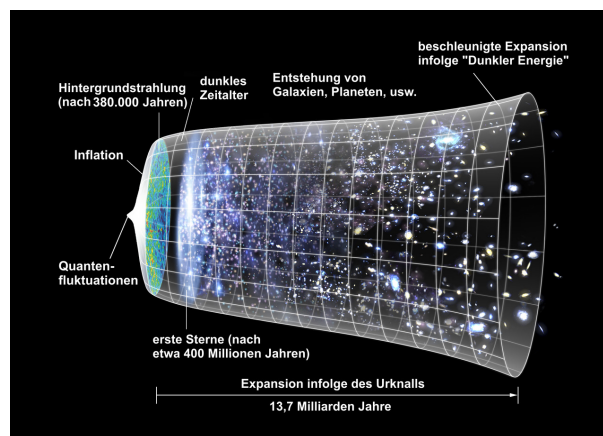


Abbildung 7: Der Kosmos als ein Entstehungsprozess von Raum, Zeit und Materie.