DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Hans Reichenbachs Relativität der Geometrie“

Verfasser

Robert Irlbek

angestrebter akademischer Grad

Magister der Philosophie (Mag. phil.)

Wien, 2010

Studienkennzahl lt. Studienblatt:	A 296
Studienrichtung lt. Studienblatt:	Philosophie
Betreuerin:	MMag. DDr. Esther Ramharter

Verzeichnis

Biographische Daten von Hans Reichenbach[1]

Hans Reichenbach wurde am 26. 09. 1891 in Hamburg geboren. Sein Vater Bruno Reichenbach war ein Kaufmann jüdischer Herkunft der in seinen späteren Jahren zum Protestantismus übertrat und immer bedauerte, nicht studiert zu haben. Hans Reichenbachs Mutter Selma Menzel hatte weit zurückreichende Wurzeln zum Protestantismus. Der Großvater mütterlicherseits war Bauingenieur, so verwundert es nicht, dass Hans Reichenbach von 1910 bis 1915 Bauingenieurwesen an der TH Stuttgart studierte. Da das Ingenieurwesen ihn intellektuell nicht genügend forderte, wandte er sich zusätzlich anderen Gebieten zu und studierte Mathematik, Physik und Philosophie an den Universitäten Berlin, München und Göttingen. Er hatte das Glück, äußerst beeindruckende und kompetente Professoren als Lehrer gehabt zu haben, etwa Max Planck, Ernst Cassirer, Edmund Husserl oder David Hilbert.[2] 1915 promovierte er in Philosophie, diente aber dann wegen des Ersten Weltkriegs an der russischen Front, bis er dort 1917 schwer erkrankte. Danach arbeitete er als Ingenieur in der Rundfunkindustrie und setzte gleichzeitig sein Studium fort. Sein Interesse galt der Philosophie der Physik, welche er nach seiner Habilitation 1920 als a.o. Professor an der Universität Berlin von 1926 bis 1933 lehrte. In dieser Zeit lernte er Rudolf Carnap und den Wiener Kreis kennen und gründete mit Carnap die Zeitschrift *Erkenntnis*. 1933 emigrierte er zunächst in die Türkei und wurde dann 1938 nach Los Angeles an die University of California berufen.

Noch in seiner Studienzeit entwickelte er eine Ablehnung gegen transzendentale, theologische und metaphysische Lehren, die sich nicht zuletzt in der Negierung des kantischen Apriori widerspiegelte.[3] Kurz nach seiner Promovierung in Mathematik und Physik hatte er die einmalige Gelegenheit, das erste Seminar Albert Einsteins über die Relativitätstheorie zu besuchen. Darin wurde nicht nur eine lebenslange Freundschaft zu Einstein begründet, sondern auch sein Interesse für die Themen Raum, Zeit und Relativität. Als allgemein anerkannte Leistung gilt Reichenbachs Ausarbeitung der philosophischen Hintergründe der Relativitätstheorie.[4]

[1] Hans Reichenbach, *Der Aufstieg der wissenschaftlichen Philosophie*, Gesammelte Werke in 9 Bänden, Bd. 1, hrsg. von Andreas Kamlah, Braunschweig 1977, Deckblatt.

[2] Andreas Kamlah, *H. Reichenbach: Prinzipien, Konventionen, Wahrscheinlichkeit,* In: *Grundprobleme der großen Philosophen. Philosophie der Neuzeit VI,* hrsg. v. Josef Speck, Göttingen 1992, 67.

[3] Reichenbach, *Aufstieg*, 9.

[4] Ole Engler Fynn, *Wissenschaftliche Philosophie und moderne Physik I*, Berlin: 2007, 6.

An einem Herzleiden starb Hans Reichenbach am 9. 4. 1953 in Los Angeles während seiner Arbeit an dem Buch *The Direction of Time*. Zu den zahlreichen Schülern Reichenbachs gehörten u.a. Hilary Putnam, Carl Hempel und Wesley Salmon.

Reichenbachs Philosophie der Geometrie des Raumes

Die Zuordnungsdefinition

Die Relativität der Geometrie des Raumes ist Reichenbachs Antwort auf die Frage nach der *wirklichen* Geometrie, wie sie sich seit der Entdeckung der nichteuklidischen Geometrien stellte. Diese Theorie steht im Zusammenhang mit der Relativitätstheorie, ohne sich daraus zwingend zu ergeben. *Relativität* bedeutet aber, genauso wie bei der Relativitätstheorie, abhängig von den (Rahmen-)Bedingungen. Die zentrale Rolle als Bedingung für die Geometrie des Raumes nimmt in der reichenbachschen Philosophie das Messinstrument ein. Der Maßstab, oder in der Fachdiskussion als starrer Stab/Körper bezeichnet, ist die Basis des empirischen Messens. Ihm wird eine Metrik zugeordnet und erst dann lässt sich die Geometrie erkennen. In dieser Zuordnung der Metrik zum Maßstab liegt nun für Reichenbach das relativistische Prinzip.

Die Physik muss aus den verschiedenen möglichen Raumtypen der Mathematik (nach Riemann) den herausfinden, der wirklich existiert, denn Raum und Zeit sind nach Reichenbach nicht subjektive Ordnungsformen, die vom Menschen in die Realität gebracht werden, sondern Ordnungseigenschaften der Wirklichkeit selbst und von dem erkennenden Menschen aus der Realität entnommen.[5]

D.h. das Problem um das es hier geht ist: Welche Geometrie hat der physikalische Raum und welche Relevanz hat die praktische Raumvermessung für die Beantwortung dieser Frage? Denn um die Raumgeometrie zu bestimmen kann die Physik nur eine empirische Methode anwenden, d.h. mit einer praktischen Vermessung im Raum. Es stellt sich damit aber gleich die Frage, ob der Mensch von seiner Position im Raum, die Geometrie des gesamten Raumes erkennen kann, ob er nicht den Raum verlassen müsste um ihn von außen zu erkennen. Der Hinweis

[5] Dieter Zittlau, *Die Philosophie von Hans Reichenbach*, München 1981, 86.

Reichenbachs, dass auch die Kugelform der Erde durch Messung erkannt wurde, ohne die Erde zu verlassen, soll die empirische Methode stützen: „Es gibt eine geodätische Vermessung des Raumes, genau so wie es eine Vermessung der Erdoberfläche gibt.“[6]

Wenn also die Geometrie des physikalischen Raumes nur per empirischer Vermessung erkannt werden kann, muss geklärt werden, wie diese Vermessung zu erfolgen hat und welchen *Einflüssen* sie unterliegt. Denn welche Auswirkungen die empirische Raumvermessung haben kann und welches relativistische Prinzip sich daraus ergibt, soll das von Reichenbach stammende Beispiel veranschaulichen.

Das Hügelmodell: [7]

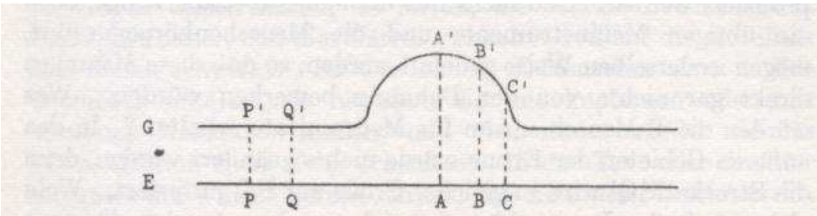

Fig. 2. Projektion einer nichteuklidischen Geometrie auf eine Ebene.

Auf der Ebene G leben Menschen. Diese Ebene besteht aus einer ebenen Glasfläche an den Außenrändern und aus einer Glashalbkugel in der Mitte. Unterhalb der Ebene G liegt eine Ebene E, auf der ebenfalls Menschen leben. Die Ebene E hat keine Unebenheit. Von oben erreichen die Ebene E Sonnenstrahlen, die parallel verlaufend Schatten von den Gegenständen auf der Ebene G projizieren. Unter der Wölbung entstehen Verzerrungen der Schattenbilder, genauer: Verzerrungen der Distanzen zwischen den Schattenbildern.

Nun ermitteln die Menschen auf Ebene G die Geometrie ihrer Ebene durch empirische Vermessungen. In regelmäßigen Abständen sind Markierungen angebracht, alle mit gleicher Distanz (P’, Q’, A’, B’ und C’). Dabei erkennen sie die ebene Fläche, und anhand von Abweichungen der Geometrie von den euklidischen Verhältnissen des Zweidimensionalen, die Wölbung in der Mitte, also eine dritte

[6] Hans Reichenbach, *Philosophie der Raum-Zeit-Lehre*, Gesammelte Werke in 9 Bänden, Band 2, hrsg. v. Andreas Kamlah, Braunschweig [u.a.] 1977, 27.
[7] Ebd.

Dimension die eine Verzerrung bewirkt. Die Menschen auf G messen folgende Verhältnisse: Die Entfernung von A’ zu B’ ist dieselbe, wie von B’ zu C’: A’B’ = B’C’.
Für die Menschen auf Ebene E gelten nun besondere Bedingungen. Auch sie messen die Distanzen, aber ihre Messkörper und sie selbst unterliegen einer unbestimmten *Kraft,* die alles in dem Ausmaß dehnt und streckt, entsprechend wie die Glaswölbung auf Ebene G geformt ist. Sie messen für die Distanz von P zu Q dasselbe Maß wie von P’ zu Q’. Bei dieser Projektion wird nichts verzerrt. Doch unter der Wölbung müssten sie eigentlich verzerrte Distanzen messen, die Distanzen auf der Ebene E sind verzerrt: AB > BC, da aber ihre Messkörper deformiert werden, messen sie dasselbe Resultat wie die Menschen auf Ebene G: A’B’ = B’C’

Die Menschen auf Ebene E bemerken vielleicht schließlich eine Differenz zwischen den Distanzen auf ihrer Ebene E und jener über ihnen liegenden Ebene G, die sie sich nicht erklären können, da sie von der Wölbung nichts wissen und die Deformierung ihrer Messinstrumente durch die universelle Kraft nicht bemerken. Sie würden schließlich ebenfalls in der Mitte ihrer Ebene eine Wölbung deuten, weil das ihre Messinstrumente und ihre euklidischen Geometrievorstellungen ergeben, obwohl ihre Ebene keine Wölbung hat. Hätten sie eine andere Geometrie als Basis für ihre Vermessung gewählt oder den Einfluss der Kraft berücksichtigt, hätten sie die wahre Form ihrer Ebene E erkennen können.

Dieses oft behandelte Hügelbeispiel, sowohl bei Adolf Grünbaum als auch bei Michael Friedman, zeigt, dass die empirische Vermessung des Raumes stark von der Formstabilität der Messinstrumente abhängt. Verändern diese sich im gleichen Maße wie der Raum, verfälscht dieser Umstand also die sich ergebende Geometrie. Die Frage nach der richtigen Methode der empirischen Raumvermessung muss also Einflüsse wie deformierende Kräfte berücksichtigen, die die Geometrie der Messinstrumente verändern können und damit die Messresultate verfälschen.

Was sind solche deformierenden Kräfte? Deformierende Kräfte haben die Eigenschaften, dass sie auf alle Materialien in gleichem Ausmaß einwirken und dass es keine Abschirmung, keine Isolation ihnen gegenüber gibt. Sie werden universelle Kräfte genannt im Unterschied zu differentiellen Kräften, wie etwa Wärme. (Mehr dazu unten).

Aus dem Beispiel ergibt sich die Frage, was es heißt, dass zwei Strecken *wirklich* gleichlang sind. Reichenbach betont den Begriff *wirklich*, das heißt, es geht ihm nicht nur um eine theoretische Definition von Gleichheit, sondern wie diese in der Wirklichkeit erfahren werden kann. „Wir müssen deshalb die erkenntnistheoretischen Voraussetzungen des Messens untersuchen. Wir werden dabei einen Begriff in den Vordergrund stellen, dessen Notwendigkeit in der Philosophie bisher übersehen wurde und der doch erst die Lösung dieser Probleme bringt: den Begriff der Zuordnungsdefinition.“[8]

In der wissenschaftlichen Diskussion um den Begriff der Zuordnungsdefinition bei Reichenbach werden auch andere Bezeichnungen für denselben Sachverhalt verwendet. In der englischsprachigen Literatur wird Zuordnungsdefinition als *coordinative definition* übersetzt (so z.B. bei A. Grünbaum und M. Friedman), E. May schreibt von *Festsetzungen* und W. Dubislav von *Vereinbarungen*.[9] Allein diese verschiedenen Begriffe erklären im Ansatz, worum es bei der Zuordnungsdefinition geht. Bei den Definitionen in der Physik geht es darum, theoretische Begriffe wirklichen Dingen zuzuordnen. Derselbe Begriff soll immer dasselbe Ding bezeichnen. Während allgemeine Definitionen der Geometrie Begriffe auf andere Begriffe zurückführen, man spricht dabei von Begriffsdefinitionen oder einer *reinen Beziehungslehre*[10], treten v.a. bei metrischen Beziehungen Zuordnungsdefinitionen auf, wo ein Körper bestimmt wird, der als starrer Maßstab gelten soll.[11] Damit folgt Reichenbach Moritz Schlick, der schreibt: „Die Gesamtheit unserer naturwissenschaftlichen Satze in Wort und Formel […] ist nichts als ein Zeichensystem, das den Tatsachen der Wirklichkeit zugeordnet ist […] Das Zeichensystem heißt aber ‚wahr’, wenn die Zuordnung vollständig eindeutig ist.“[12]
Führen also Begriffsdefinitionen von einem Begriff auf den anderen, muss es an der Basis erste Definitionen geben, die sich auf die Wirklichkeit beziehen. Bei diesen ersten Definitionen werden Begriffe realen Objekten oder physikalischen Körpern zugeordnet; und diese Definitionen werden daher Zuordnungsdefinitionen genannt.

[8] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre,* 30.
[9] Zittlau, *Philosophie von Hans Reichenbach*, 93.
[10] Rudolf Carnap, *Der Raum. Ein Beitrag zur Wissenschaftslehre*, Berlin 1922, 8.
[11] Carnap, *Der Raum*, 33.
[12] Moritz Schlick, *Die philosophische Bedeutung des Relativitätsprinzips*, in: *Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik*, 159, Leipzig 1915, 129.

Der physikalische Körper, dem der Begriff zugeordnet wird, wird als *Realglied*[13] der Zuordnungsdefinition bezeichnet. Dabei ist zu beachten, merkt Reichenbach an[14], dass diese ersten Zuordnungsdefinitionen willkürlich gewählt sind und somit einer gewissen Relativität unterliegen.

Welche Rolle Zuordnungsdefinitionen bei metrischen Beziehungen spielen, soll folgender Sachverhalt verdeutlichen: Für eine Längenmessung braucht man per Definition eine Einheitslänge, ein Maß mit dem man misst. Hierbei zeigt sich, dass sowohl eine Begriffsdefinition als auch eine Zuordnungsdefinition notwendig ist: Auf die Frage: Was ist die Einheit? Gibt man eine Begriffsdefinition als Antwort, z.B.: „Eine Einheit ist eine Länge, durch deren Abtragen auf einer anderen Länge die Maßzahl dieser Länge erhalten wird."[15] Es stellt sich jedoch die Frage: Wie groß ist diese Einheit? Dies kann man nur mit einer Zuordnungsdefinition beantworten. Man bezieht sich dann auf eine natürlich gegebene Länge, z.B. auf den Urmeter in Paris. Einen Meter auf den Metallbalken in Paris zu definieren ist eine *metrische Zuordnungsdefinition* ostensiver Natur, die nur durch den *Hinweis* auf das Realglied gegeben werden kann. Es lässt sich durchaus auch der Erdumfang als Realglied denken, ebenso wie die Wellenlänge des Lichts, denn auch wenn diese Längen nicht direkt beobachtbar sind, sind sie ein *Stück Wirklichkeit* und können somit als Realglied einer Zuordnungsdefinition dienen.[16]

Eine Zuordnungsdefinition ist also eine Definition, bei der theoretische Begriffe bzw. Terme einer wissenschaftlichen Theorie per Hinweis empirischen Gegenständen in der Welt, so genannten Realgliedern, konventionell zugewiesen werden.

[13] Vgl.: Carsten Klein, *Konventionalismus und Realismus*, Paderborn 2000, 30f.
[14] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 31.
[15] Ebd.
[16] Klein, *Konventionalismus und Realismus*, 30f.

Das metrische Kongruenzproblem

Die Gedanken zur Zuordnungsdefinition sind die Basis für Reichenbachs Lösung eines Kongruenzproblems der Metrik, das von Moritz Schlick in die Diskussion eingebracht wurde. Dabei wird ein Vergleich von zwei Längen an verschiedenen Orten gedacht, bzw. ein Transport von Maßstäben mit folgendem Kongruenzvergleich: „Das Vergleichen zweier Körper wird zur wahrhaften Messung erst unter der Voraussetzung, dass es Sinn hat, von dem Abstand zweier Punkte eines Körpers, z.B. der Länge eines Stabes, als von einer Größe zu reden, die ihm unabhängig von seinem Orte und seiner Lage zugeschrieben werden kann, denn nur so wird es möglich, verschiedene Strecken durch Anlegung eines Maßstabes miteinander zu vergleichen. […] Veränderte sich nämlich der Maßstab bei seinem Transport von Ort zu Ort in unbekannter Weise, so hätte es keinen angebbaren Sinn mehr, von gleichen Abständen an verschiedenen Orten zu sprechen.“[17]

So ist zwischen zwei Kongruenzsituationen zu unterscheiden. Erstens der leichtere Fall, wenn die zu vergleichenden Objekte nebeneinander liegen und der Kongruenzbegriff auf den Koinzidenzbegriff zurückführbar ist. Schwieriger ist der zweite Fall, wenn die Objekte sich an verschiedenen Orten befinden. Denn auch wenn man Objekt A mit einem Maßstab M am Ort O1 misst und dann das Objekt B am Ort O1 mit dem selben Maßstab vergleicht, weiß man nicht, ob sich der Maßstab M sich auf dem Weg von O1 zu O1 nicht verändert hat, etwa in Folge einer unbekannten Krafteinwirkung.[18] Daher muss eine weitere Festlegung erfolgen, bevor die Kongruenzrelation zwischen räumlich getrennten Objekten definiert werden kann. „Die Zuordnungsdefinition der Kongruenz muss vorausgeschickt werden, ehe überhaupt nach der Gleichheit räumlich getrennter Körper gefragt werden kann.“[19]

Man vergleicht dazu zwei vor dem Transport als gleichlang gemessene Maßstäbe, nachdem sie an einen anderen Ort gebracht wurden. Haben die Maßstäbe dann auch noch die selbe Länge wie vor dem Transport, ist die Kongruenz bestätigt. Die Frage, die sich mit diesen Messungen aber nicht beantworten lässt ist, ob die Maßstäbe auch *während* dem Transport gleich lang waren bzw. noch genauso lang

---

[17] Moritz Schlick, *Allgemeine Erkenntnislehre*, Berlin 1979[1], 309.
[18] Klein, *Konventionalismus und Realismus*, 32.
[19] Klein, *Konventionalismus und Realismus*, 37.

sind, wie *vor* dem Transport, denn vielleicht haben sie sich in gleichem Ausmaß gegenüber ihrem Ausgangsstadium verändert. Sollten diese während der Ortsveränderung etwa durch eine *universelle* Kraft deformiert worden sein, ist das nicht feststellbar, denn eine universelle Kraft wirkt auf beide Messkörper in gleicher Weise. Bezeichnet man die Länge der Messkörper vor und nach dem Transport als Meter, so hat man eine Kongruenzdefinition angewandt. „Es handelt sich hier eben nicht um eine Frage der Erkenntnis, sondern der Definition."[20] Eine Kongruenzbestimmung hat immer den Charakter einer Definition. Das Beispiel anders formuliert: Man bestimmt anhand einer natürlich gegebener Größe, wie etwa anhand des Urmeters in Paris, die Einheitslänge eines Maßstabes und nennt diesen dann einen Meter lang. Nun bringt man diesen Maßstab fort von Paris um ihn an anderen Orten verwenden zu können. Verwendet man nun diesen Maßstab ohne ihn ständig mit dem Original vergleichen zu können, also ohne ihn ständig zu eichen, muss man annehmen oder vielleicht sogar hoffen, dass sich der Maßstab in der Zwischenzeit nicht verändert hat. Diese Veränderung könnte man nicht feststellen, darum geht man davon aus, dass der Körper konstanter Größe ist und bestimmt ihn weiterhin als Meter.

„Daß unsere Welt wegen des genannten Tatbestands im Verhalten starrer Stäbe eine einfachere Zuordnungsdefinition erlaubt, ist selbst eine Tatsache; aber diese Tatsache nimmt der einfachen Definition nicht ihren definitorischen Charakter."[21]

Auch beim Beispiel mit der Glashalbkugel zeigt sich, dass es keine Frage der Erkenntnis ist, ob AB = BC, sondern eben eine Frage der Definition, denn der Maßstab den die Menschen auf Ebene E verwenden ist nicht *starr*, d.h. er lässt sich deformieren und verzerrt somit die Wahrnehmung. Eine andere Zuordnungsdefinition, die die Deformierung der universal wirkenden Kraft miteinbezogen hätte, hätte ihnen ein anderes Resultat geliefert, und sie hätten sich auf einer Ebene ohne Kugel erkannt. „Die geometrische Form eines Körpers ist kein absolutes Datum der Erfahrung, sondern hängt von einer vorausgehenden Zuordnungsdefinition ab."[22]

Bestimmt man Kongruenz anhand von Zuordnungsdefinitionen, wird damit das erkenntnistheoretische Problem der Frage nach der wirklichen Geometrie des

[20] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 33.
[21] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 35.
[22] Ebd.

Raumes insofern gelöst, als man die Annahme einer wirklichen Geometrie gegenüber einer gewählten ersetzt. Die geometrische Form ist erst nach einer vorausgegangenen Zuordnung bestimmt, wie analog z.B. die Höhe eines Berges relativ zu seinem Grund erst dann bestimmbar ist, wenn das Nullniveau konventionell festegelegt wurde, denn eine Höhe an sich gibt es für einen Berg nicht. Inwiefern aber ein physischer Körper starr gegenüber einer Universalkraft sein kann, wird weiter unten untersucht.

Folgendes weitere Beispiel soll die vorangegangenen Überlegungen verdeutlichen: Das Modell dafür ist der Vorgang der praktischen Feldvermessung.

Dabei werden starre Meterstäbe als unverändert transportabel, d.h. kongruent fest angenommen. Misst man damit nun einen großen Kreis auf der Erdoberfläche, z.B. mit einem 100 Meter Radius, so ergibt sich bei dem Verhältnis Umfang zu Durchmesser eine Zahl kleiner als π aufgrund der Krümmung der Erdoberfläche. Obwohl es sich hierbei um eine zweidimensionale Messung handelt, ist der Ausweg für die euklidische Geometrie, wonach das Verhältnis von Umfang zu Durchmesser eines Kreises π gleich 3,1415 sein muss, möglich. Man geht in die dritte Dimension, misst den Durchmesser, der durch die Wölbung der Erde geht, und erhält so π. Misst man jedoch schon im dreidimensionalen Raum, ist eine weitere Dimensionserhöhung nicht mehr möglich, um an der euklidischen Geometrie festzuhalten. Hätte man eine andere Zuordnungsdefinition der Kongruenz für die Messung gewählt, etwa dass der Maßstab seine Größe beim Transport verändert, wäre eine andere Geometrie das Ergebnis. Eine abweichende Definition könnte etwa so aussehen, dass der Maßstab nach zweimaligem Legen nur noch halb so groß sein soll, nach dreimaligem Legen nur noch ein Drittel seiner Größe hat, usw.[23]

„Die Frage nach der Geometrie des wirklichen Raumes kann deshalb nicht beantwortet werden, bis die Zuordnungsdefinition angegeben ist, die für diesen Raum die Kongruenz festsetzt."[24]

Wenn die Wahl der Zuordnungsdefinition so einerseits *willkürlich* ist und andererseits so bestimmend für die Raumgeometrie, drängt sich die Frage auf, welche Zuordnungsdefinition man für den wirklichen Raum wählen sollte. Grundlegend für eine Geometrie ist also die Kongruenz, daher muss die Zuordnungsdefinition der Geometrie eine Kongruenzdefinition sein.

---

[23] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 28.
[24] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 36.

Offen ist, welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede empirische Theorien in der Praxis aufweisen, die von der Freiheit einer willkürlichen Zuordnungsdefinition Gebrauch machen.[25] Auf einen Einwand muss an dieser Stelle hingewiesen werden: Wie Reichenbach selbst als Anspruch voraussetzt, geht es der Physik um wirkliche Zustände, um Tatsachen oder eine Beschreibung der Welt, die der Fall ist. Eine Geometrie, die sich aus der willkürlich oder konventionalistischen Wahl der Metrik ergibt, ist nicht zwingend die wirkliche, wenngleich vielleicht eine komfortable. Um dieses Problem zu lösen, bietet sich die Vorstellung an, es gäbe keine wirkliche Geometrie, der Raum sei relationistisch, ein Standpunkt, den Michael Friedman einnahm (siehe unten).

Der starre Körper

Von allen Aggregatzuständen ist nur einer als Ausformung einer Maßeinheit zu gebrauchen. Gasförmigkeit oder Flüssigkeit sind in ihrer Form zu instabil, variabel, als dass sie als konstante Form für Kongruenz dienen könnten. (Selbiges gilt natürlich für Plasma.) So bleibt nur der feste Aggregatzustand übrig, denn er verändert sich nur wenig im Laufe der Zeit unter Einwirkung von Kräften. Nun ergeben die vorangegangenen Überlegungen, dass gerade die Form und Größe eines Körpers von der Zuordnungsdefinition der Kongruenz abhängt. Die Wahl eines festen Körpers für die Zuordnungsdefinition kann somit nicht von der Erfahrung, der Erkenntnis des Körpers abhängen, denn seine Form wird ja erst über die Zuordnungsdefinition definiert.

Das Problem löst sich auch nicht durch Hinweis auf einen wirklichen Körper. Nennt man den Tisch eben, die Zimmerdecke rechtwinkelig usw., so hat man das nicht erkannt, sondern definiert. „[…] irgendeine *Wahrheits*aussage ist es nicht, daß eine gespannte Schnur *gerade* ist, sondern wirklich nur eine bequeme Definition.“[26]

Was ist der starre Körper in der Physik? Die Definition dessen muss ohne den Begriff der Größenänderung auskommen. Zunächst gilt es aber, die Begriffe *starr* und *fest* voneinander zu unterscheiden und es muss klar sein, dass es einen starren Körper nicht wirklich geben muss, sondern es ausreicht, wenn er sich berechnen lässt.[27]

---

[25] Klein, *Konventionalismus und Realismus*, 29.
[26] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 39.
[27] Kamlah, *Reichenbach*, 81.

Die Zuordnungsdefinition des starren Körpers

Feste Körper zeichnen sich dadurch aus, dass sie real keiner Formveränderung unterliegen, wie Gase oder Flüssigkeiten, zumindest relativ. Starre Körper aber unterliegen nicht aufgrund ihrer realen Eigenschaften keiner Formveränderung, sondern wegen ihrer Definition. Der Begriff des starren Körpers wird von Reichenbach durch eine Definition festgelegt, die er durch Benutzung des Begriffs des realen festen Körpers und der *Universalkraft* erreicht.

„Starre Körper sind feste Körper, wenn sie keinen differentiellen Kräften unterliegen, bzw. wenn der Einfluss differentieller Kräfte durch Korrektionsrechnung eliminiert wird; universelle Kräfte werden dabei außer acht gelassen.“[28]

Die Unterscheidung Universal- und Differenzkräfte

In der Definition des starren Körpers von Reichenbach spielen die Begriffe differentielle und universelle Kräfte eine Schlüsselrolle. Die Frage nach der richtigen Geometrie des Raumes führte zur Frage der richtigen Vermessung des Raumes und zur Frage der richtigen Zuordnungsdefinitionen der Messbegriffe. Die Zuordnungsdefinition der Länge ist wiederum abhängig von dem Begriffspaar Festigkeit und Starrheit und diese eben nun von den einwirkenden Kräften.
Die unterschiedliche Wirkungsweise der universellen und der differentiellen Kraft erklärt Reichenbach schon im §3 der *Philosophie der Raum-Zeit-Lehre*. Im Unterschied zu differentiellen Kräften wirken universelle Kräfte

a) auf alle Materialien gleich und
b) es gibt es keine Isolierung gegen sie.[29]

Wärme ist danach keine universelle Kraft sondern eine differentielle, denn sie wirkt z.B. auf Metall anders als auf Kunststoff, und Wärmeisolierung ist eine gängige Praxis in der Technik. Dabei ist anzumerken, dass dieses Beispiel nur zeigt, dass die

[28] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 40. Dieser Definition kommt eine Schlüsselrolle in Reichenbachs Philosophie zu. Die Definition des starren Körpers schließt an eine physikalische Diskussion der Vergangenheit v.a. bei Helmholtz an und Kritiker äußerten sich im starken Maße dazu (siehe unten).
[29] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 29.

Reaktion, die *Auswirkung* von Wärme bei verschiedenen Körpern unterschiedlich ist. Die *Einwirkung* von Wärme mag dieselbe sein.
Differentielle Kraft lässt sich nun recht einfach nachweisen. Man denke an ein altes Quecksilberthermometer das bei unterschiedlicher Temperatur verschiedene Längenmaße der Quecksilbersäule sichtbar macht. Den Grad der Temperatur misst man anhand der Differenz der Länge der Quecksilbersäule im Vergleich zur Skala an der Glassäule. Eine universelle Kraft würde keine unterschiedliche Auswirkung zeigen. Wäre Wärme eine universelle Kraft, d.h. alles dehnt und schrumpft im gleichen Maß, wäre sie in der Geometrie des Raumes nicht erkennbar. So ist also der Nachweis einer differentiellen Kraft grundsätzlich ein geometrisches Verfahren. „Nur über die Trennung der Erscheinungen in Geometrie und Physik verfügt unsere Unterscheidung von universeller und differentieller Kraft.“[30]
Um also nicht in die Definition des starren Körpers ein bestimmtes Material wie z.B. Stahl mit einzubeziehen setzt man voraus, dass das Material keinen differentiellen Kräften unterliegen darf. Gleich stellt sich natürlich die Frage, ob es so ein Material gibt und ob somit eine Zuordnungsdefinition des starren Körpers auf ein wirkliches Ding möglich ist, wo darauf hingewiesen werden muss, dass ein rein theoretischer Begriff von Starrheit für Berechnungen ausreichend ist.

Darf man universelle Kräfte einfach vernachlässigen? Nein, doch werden sie hier nicht negiert, sondern gleich Null gesetzt. Anders lässt sich ein starrer Körper nicht definieren, denn gegen universelle Kräfte ist kein Körper starr. (In der Physik sind alle vorkommenden Kräfte differentiell.) Der erste Teil der Definition erklärt sich so: Da äußere Kräfte nach definitorischer Abschaltung universeller Kräfte durch Differenzeffekte nachweisbar sind, definiert man umgekehrt die Erhaltung der Form durch das Fehlen äußerer Kräfte.
Wobei der Korrektheit wegen angemerkt werden muss, dass die Formveränderung eines festen Körpers dann klein ist, wenn die äußeren Kräfte klein sind gegenüber den inneren, also Spannungen im Körper.[31] Das heißt, der starre Körper ist ein Ideal oder ein theoretischer Grenzfall. Diese Idealität ergibt sich auch aus der Annahme eines vollständig abgeschlossenen Systems. In der Wirklichkeit kann man immer nur von *abgeschlossen in einem gewissen Genauigkeitsgrad* sprechen, da kein System vollständig isoliert werden kann. Die Einwirkung äußerer Kräfte muss erkannt und

[30] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 45.
[31] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 33.

dann minimiert werden. Wird sie aber schon gar nicht erkannt, weil sowohl das Außen als auch der Körper im System dieser Kraft in gleichem Maß unterliegen, ohne diese universellen Kräfte neutral zu setzen, ist ein abgeschlossenes System nicht abgeschlossen, also nicht denkbar.

Zum Gedankenexperiment, das vermutlich[32] auf Schlick zurück geht, wonach sich alles über Nacht im gleichen Maß verändern würde und somit niemand eine Differenz bemerken könnte. „Wenn über Nacht alle Dinge, einschließlich unserer Körper, zehnmal so groß würden, könnten wir das am nächsten Morgen nicht feststellen. Wir könnten es überhaupt nie herausfinden, denn unter den angenommenen Bedingungen sind die Wirkungen einer solchen Veränderung unbeobachtbar, und deswegen kann ein Nachweis weder dafür noch dagegen erbracht werden. Vielleicht sind wir heute zehnmal so groß, als wir gestern waren."[33] Ist eine Kraft die Ursache dieser spezifischen Veränderung, so wird sie in der Literatur als koinzidenzerhaltende Kraft bezeichnet, weil sie die Verhältnisse der Dimensionen der Körper zueinander im gleichen Maß verändert. Solche Kräfte müssen bzw. können nur bei der Frage nach der Gestalt des Raumes gleich Null gesetzt werden. Die koinzidenzerhaltende Kraft ist aber ein Sonderfall der Universalkraft, denn ebenso denkbar ist eine *koinzidenzzerstörende* Kraft die universell wirkt, also auf alle Materialien gleich und ohne Isolierungsmöglichkeit vor ihr. Auch diese universell *koinzidenzzerstörenden* Kräfte müssen gleich Null gesetzt werden.[34]

„Wann existiert eine Kraft? Unter Kraft verstehen wir ein Etwas, das wir für eine geometrische Veränderung verantwortlich machen."[35]
Angenommen sei eine vorhandene Geometrie G. Nun misst man eine von G abweichende Geometrie G'. Damit ist auch gleich eine Kraft K definiert bzw. erkannt, die den Unterschied von G zu G' bewirkt. Gibt es nun zu G mehrere abweichende Geometrien, nämlich G1', G2', usw., je nach Material mit dem man misst, misst man das Wirken einer differentiellen Kraft.
Gibt es jedoch zu G nur ein G', wirkt eine universelle Kraft, da unabhängig vom Material der Messkörper dieselben Abweichungen gemessen werden. Dabei kann

[32] Zittlau, *Reichenbach*, 93.
[33] Reichenbach, *Aufstieg*, 152.
[34] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 38.
[35] Ebd.

aber dann auf den Unterschied zu G & G' verzichtet werden und somit die universelle Kraft gleich Null gesetzt werden. Dies ist die Leistung von Reichenbachs Definition des starren Körpers.
Der Begriff der Universalkraft muss etwa bei Adolf Grünbaum Kritik ertragen und Reichenbachs Schüler Wesley Salmon hält es für angebrachter, im Zusammenhang einer wissenschaftlichen Philosophie auf metaphorischen Begriffe wie *Kraft* oder *Effekt* zu verzichten, „[…] um klar im Auge zu behalten, dass hier von nicht mehr und nicht weniger die Rede ist, als von den Zuordnungsrelationen der Kongruenz."[36]

Technische Unmöglichkeit – Prinzipielle Unmöglichkeit[37]

Eine von Reichenbach angegebene Kritik[38] an der Theorie der Zuordnungsdefinition setzt daran an, dass die Willkür der Wahl der Definition auf einer Unmöglichkeit des Messens basiert. Worin liegen die Grenzen des Messens? Man muss zunächst unterscheiden zwischen einer *subjektiven Unerkennbarkeit* von Messergebnissen und einer *objektiven Unbestimmbarkeit*. Ein Beispiel für eine subjektive, technische Unerkennbarkeit ist der Weg eines einzelnen Wassertropfens im Wasserkreislauf des Klimas. Die Unmöglichkeit, die exakte Route eines Tropfens auf seinem Weg vom Regen zu Flüssen, Seen und Meeren bis zurück zu einer Wolke zu verfolgen, schafft eine Grenze des Messens. Zwar existiert an sich ein eindeutiger Weg, aber dieser entzieht sich unserer Erkennbarkeit. Weitere Beispiele für subjektive Unerkennbarkeiten zeigen sich mit der Technikentwicklung, wonach etwa im Weltraum erst dann gewisse Sichtungen erfolgen konnten, nachdem die dafür notwendigen Geräte erfunden wurden.
Es ist im Gegensatz dazu prinzipiell, objektiv unmöglich zu bestimmen, ob etwa der Urmeter in Paris ein Meter lang ist, weil dieser erst definiert was ein Meter ist.

Es ist also klar zu unterscheiden zwischen einer Unmöglichkeit des Messens und einer objektiven Unbestimmbarkeit. Die Unmöglichkeit des Messens beruht auf den Grenzen der technischen Mittel. Darum nennt Reichenbach die Unmöglichkeit des

---

[36] Wesley C Salmon, *Hans Reichenbach und die Tragweite seiner Philosophie. Einleitung zur Gesamtausgabe,* In: Hans Reichenbach, *Philosophie der Raum-Zeit-Lehre,* Gesammelte Werke in 9 Bänden, Band 2, hrsg. v. Andreas Kamlah, Braunschweig 1977, 27.
[37] Vgl.: Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre,* 47ff.
[38] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre,* 47.

Messens technische Unmöglichkeit, während die objektive Unbestimmtheit eine prinzipielle, logische Unmöglichkeit des Messens darstellt.
Die prinzipielle (Un-) Möglichkeit geht der technischen (Un-) Möglichkeit voraus. „Es ist deshalb nicht ein technisches Versagen, daß wir die Gestalt der Fläche ohne Zuordnungsdefinition der Kongruenz nicht entscheiden können, sondern hier handelt es sich um eine logische Unmöglichkeit, die mit den Grenzen menschlichen Könnens nichts zu tun hat.“[39]

Reichenbachs Geometrieverständnis

Unter Eindruck der Philosophie von Poincaré, wonach einerseits geometrische Axiome keine Erfahrungssätze, sondern auf Übereinkunft beruhende Konventionen sind[40], und andererseits mit der Erkenntnis von der Differenz einer (*a*) *reinen Geometrie* im Sinne Hilberts, also einer formalen Geometrie ohne empirischen Realitätsbezug, und einer (*b*) *angewandten* oder *physikalischen Geometrie*, die Aussagen über Verhältnisse physikalischer Körpern macht, entwickelte Reichenbach sein Geometrieverständnis. Darin sind Axiome der Geometrie weder wahr noch falsch, sondern *willkürliche Setzungen*.[41] So ist dann das Geltungsproblem von Axiomen eine Scheindiskussion und anstatt deren Wahrheit zu fordern, ist eine Widerspruchsfreiheit anzustreben. Die reine Geometrie ist für Reichenbach ein logisches Beziehungsgefüge, eine begriffliche mathematische Struktur, bei der geometrische Begriffe von geometrischen Zeichen zu unterscheiden sind. Damit schließlich aus einer *reinen* eine *angewandte, physikalische Geometrie* wird, muss man Zuordnungen zwischen den Begriffen der reinen Geometrie und physikalischen Objekten vornehmen.[42]

[39] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 40.
[40] Klein, *Konventionalismus und Realismus*, 23.
[41] Klein, *Konventionalismus und Realismus*, 26.
[42] Klein, *Konventionalismus und Realismus*, 28.

Die Relativität der Geometrie des Raumes

Auf die Frage, welche der möglichen Geometrien für den wirklichen Raum gilt, gibt Reichenbach also die Antwort, dass dies empirisch per Messung entschieden werden muss. Dabei zeigt sich, dass für die Messung die Zuordnungsdefinition eine Schlüsselrolle spielt und die Wahl der Zuordnungsdefinition willkürlich erfolgen muss. Abgekürzt formuliert heißt das: Welche Geometrie der Raum hat, unterliegt der Willkür des Fragenden. „Der Name Relativität soll zum Ausdruck bringen, daß die Messungen verschieden werden, je nachdem die Zuordnungsdefinitionen gewählt werden."[43] Nach einer ausführlichen Analyse der möglichen Priorität der euklidischen Geometrie für die menschliche Wahrnehmung kommt Reichenbach auch dabei zu dem Schluss, dass die euklidische Geometrie zur gewohnten Konvention wurde.

Diese Theorie muss sich gegen die Argumente behaupten, die die euklidische Geometrie als die zu bevorzugende Geometrie für den Raum bestimmen. Wenn diese Argumente sich als nichtig erweisen, ist die Theorie der Relativität der Geometrie des Raumes das Resultat. Die Argumente zur Erhaltung der euklidischen Geometrie sind:

1. Argument des erkenntnistheoretischen Apriori: Die Wahl der Zuordnungsdefinition sei wegen der Komplexität der Messinstrumente, die sich aus der euklidischen Geometrie ergab, nicht willkürlich sondern bereits vorherbestimmt.[44] Reichenbach antwortet auf diese These: Der Relativität der Geometrie widerspricht es nicht, die euklidische Geometrie als Ausgangsgeometrie für die Metrik vorauszusetzen, jedoch erhält man dann eventuell Resultate, die eine Universalkraft K ergeben, die alle Messinstrumente in gleichem Maße deformiert. Wenn man umgekehrt K definitorisch gleich Null setzt, korrigiert man rückwärts die Theorie der Metrik. Zwar ist es richtig, dass jeder Messung zur Geometrie eine Zuordnung vorausgehen muss, mitunter auch eine für euklidische Geometrie, aber ein Irrtum ist es, diese Zuordnungen könnten nicht nachträglich wieder korrigiert werden. „Genau so gut, wie man mit einem Fahrenheitthermometer Temperaturmessungen machen und sie dann in Celsiusgrade umrechnen kann, kann man auch unter der Voraussetzung einer euklidischen Geometrie die

[43] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 32.
[44] Vgl.: Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 50f.

Messungen beginnen und sie nachträglich auf eine nichteuklidische umrechnen.“[45]

2. Argument des anschaulichen Apriori: Eine innere Veranlagung des Menschen bedinge die euklidische Geometrie.[46] Dem entgegnet Reichenbach: Diese Evidenz ist nicht logischer Natur, da die Mathematik bewiesen hat, dass es nicht zu Widersprüchen der Anschauung führt, wenn man nichteuklidische Geometrien konstruiert. Nimmt man an, dass solch ein Anschauungsvermögen existiert und die euklidische Geometrie sei die vor allen zu bevorzugende, stellt sich die Frage, was daraus für den Raum der *wirklichen* Dinge folgt.

Satz ϑ: „Sei irgend eine Geometrie G’ gegeben, welche die Messkörper befolgen; dann können wir immer eine universelle Kraft K so wirksam denken, dass die Geometrie eigentlich die Form einer beliebig zu wählenden Geometrie G hat und die Abweichung von G auf einer universellen Deformation der Messkörper beruht.“[47]

Nun ist also zu klären, ob sich mit dem Satz ϑ ein anschauliches Apriori denken lässt. Einerseits ja, denn da auch die euklidische Geometrie G_0 zu den Geometrien der riemannschen Art gehört, folgt aus dem Satz ϑ, dass es möglich ist, die anschaulich bevorzugte Geometrie für den wirklichen Raum abzubilden. Der Forderung der Anschauung kann immer nachgegeben werden. Nicht vereinbar mit der Theorie des anschaulichen Apriori ist jedoch, dass mit Satz ϑ behauptet wird, der euklidischen Geometrie komme kein besonderer *Erkenntniswert* zu. Satz ϑ formuliert das Relativitätsprinzip der Geometrie, keine Geometrie hat darin eine Vorzugstellung, keine ist die *wahre*. Eine objektive Aussage über die Geometrie der Wirklichkeit erhält man erst, wenn man außer der Geometrie G auch noch das universelle Kraftfeld K angibt. „Erst die Kombination G + K ist eine Angabe von Erkenntniswert.“[48] Und weiter: „Über den Raum der wirklichen Dinge aber ist mit der Existenz einer solchen Anschauung nichts ausgesagt.“[49]

[45] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 50.
[46] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 51f.
[47] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 53.
[48] Ebd.
[49] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 54.

3. Die euklidische Geometrie sei die *einfachste* Geometrie und deshalb sei $G = G_0$ der Zuordnungsdefinition $K = 0$ vorzuziehen.[50] Reichenbach widerspricht: Generell bedeutet die Einfachheit keinen Vorzug für den Erkenntniswert, doch selbst wenn, ist nicht die Einfachheit der Geometrie entscheidend für die Physik sondern die Einfachheit der Zuordnungsdefinition, und somit ist $K = 0$ günstiger, weil damit $G + K$ sich auf G reduziert. Von der Einfachheit kann nicht auf den Erkenntniswert geschlossen werden, denn mit einer Ökonomie die Kräfte sparen will, spart man auch ein Wahrheitskriterium.

   Hat man die Wahl zwischen mehreren Beschreibungssystemen, entscheidet man sich idealerweise für das einfachste von diesen. Dabei wird aber natürlich auch nicht das Wahrheitskriterium berührt, denn ein einfacheres System wird damit nicht wahrer. Das Dezimalsystem mag einfacher sein, weil wir 10 Finger haben, aber es ist nicht wahrer als ein binäres System. Reichenbach bezeichnet eine Einfachheit dieser Art als *deskriptive* Einfachheit. Im Rahmen induktiver Überlegungen kann zwar die Einfachheit ein Wahrheitskriterium sein, aber diese induktive Einfachheit bezieht sich auf nicht-äquivalente Beschreibungen und ist nicht Inhalt der Relativitätstheorie. Die euklidische Geometrie mag eine einfachere Beschreibung des physikalischen Raumes sein als die nichteuklidische, sie ist damit aber nicht *wahrer*.[51]

   Damit antwortet Reichenbach einer oft geäußerten Kritik, dass eine Entscheidung aus Zweckmäßigkeitsgründen bzw. einer Bewährung im Sinne eines Pragmatismus keinen Anspruch auf Wahrheit hat.[52] Auch die newtonsche Himmelsmechanik greift auf eine Einfachheit zurück, die der euklidischen Geometrie. Damit erhält man aber komplizierte Beschreibungen, wenn man auf Messergebnisse stößt die von den einfachen Grundgleichungen abweichen. Poincaré vertrat ebenfalls die Ansicht, die Wahl der fallweise gültigen äquivalenten Beschreibungsform wäre Konvention und der Physiker solle die Beschreibung mittels der einfachsten Geometrie wählen, welche die euklidische sei.[53] Die einsteinsche Himmelsmechanik im Gegensatz dazu zielt auf eine *außenbestimmte* Einfachheit ab, indem sie statt der euklidischen, die komplexe

[50] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 54f.
[51] Vgl.: Hans Reichenbach, *Die philosophische Bedeutung der Relativitätstheorie*, Gesammelte Werke in 9 Bänden, Bd. 3, hrsg. v. Andreas Kamlah, Braunschweig [u.a.] 1979, 324.
[52] Vgl.: Eduard May, *Am Abgrund des Relativismus*, 2. Berlin 1942^2, 102; oder Michael Friedman, *Foundations of Space-Time Theories*, Princeton/New Jersey 1983, 264ff.
[53] Zittlau, *Reichenbach*, 98.

riemannsche Geometrie an den Anfang stellt und damit zu einfacheren Erfahrungsbeschreibungen gelangt.[54] Die Wahrheit beschreiben beide Theorien, eine höhere Treffsicherheit erzielt jedoch die einsteinsche, indem sie die Zuordnungsdefinition in Hinsicht auf die Einfachheit der äquivalenten Beschreibung wählt. Reichenbach ist mit seinem Konzept der Universalkraft der einsteinschen Mechanik näher als der Auffassung Poincarés, die euklidische Geometrie wäre die einfachere Beschreibungsform. Nach Reichenbach ist es Aufgabe der Physik, die einfachere Zuordnungsdefinition auszuwählen und das ist jene, bei der keine universellen Kräfte zu berücksichtigen sind, wo also K = 0 und damit die Geometrie nichteuklidisch ist.[55]

Die Theorie der Relativität der Geometrie des Raumes sagt also aus, dass keine der gleichberechtigten Geometrien eine Vorzustellung hat oder ihr der Charakter einer wahren Geometrie zukommt, weder in erkenntnistheoretischer noch in anschaulicher Dimension, und man erst zu einer objektiven Aussage über die Geometrie des Raumes gelangt, wenn man die zugrundeliegende Zuordnungsdefinition als Kombination angibt. Die Zuordnungsdefinition der Kongruenz selbst liefert keine Erkenntnis über den wirklichen physikalischen Raum, aber die richtige Wahl derselben bestimmt die Komplexität der Beschreibung.[56]

---

[54] May, *Relativismus*, 113.
[55] Zittlau, *Reichenbach*, 124.
[56] Zittlau, *Reichenbach*, 125.

Historische Hintergründe

Längenmessung ist an sich schon relativ, denn ob man in Meter, Fuß oder Lichtjahren misst, hängt von der willkürlichen Auswahl, der Übereinkunft, oder auch von dem unterschiedlichen Kulturkreis ab. Bei dem Vergleich von Längen erhält die Relativität aber einen weiteren Aspekt. Denn auch die Kongruenz ist definitionsabhängig. „Dieses Ergebnis kann auch als der definitionsmäßige Charakter der Kongruenz formuliert werden.“[57] Worin liegt die Erkenntnis dieser Theorie und ist das nicht ohnehin evident, fragt Andreas Kamlah: „Es hat offenbar nur dann einen Sinn, eine derartige These zu äußern, wenn andere Leute etwas Gegenteiliges behauptet haben, nämlich daß es ein wahres Beschreibungssystem gibt.“[58] Die Theorie der äquivalenten Beschreibung ist die Antwort auf eine historische Diskussion. In *Der Aufstieg der wissenschaftlichen Philosophie* stellt Reichenbach die historische Entwicklung der Theorie dar.[59]

Die Entwicklung der nichteuklidischen Geometrie[60]

Die Basis für Reichenbachs Geometriephilosophie, die nichteuklidische Geometrie, entstand, weil die euklidische sich als unzureichend erwies. Begonnen hat die Diskussion um die Notwendigkeit des Paralellenaxioms in der euklidischen Geometrie schon vor 2000 Jahren, unmittelbar nach Abfassung des Axiomsystems der Geometrie von Euklid. In seinem Werk Die Elemente leitete er die Eigenschaften geometrischer Objekte, der natürlichen Zahlen und der Größen aus einer Menge von Axiomen her. Beginnend mit den Definitionen „1. Ein Punkt ist, was keine Teile hat“, „2. Eine Linie breitenlose Länge.“, „3. Die Enden einer Linie sind Punkte.“[61] usw. entwickelte er Axiome aus denen sich die nach ihm benannte euklidische Geometrie ergibt. Diese Beschreibung der Geometrie wurde zum Standard in der Mathematik und noch Kant gab der euklidischen Geometrie apriorische Bedeutung. Eine Definition darin erwies sich aber als problematisch. Die 23. Definition lautet: „Parallel sind gerade Linien, die in derselben Ebene liegen und dabei, wenn man sie nach

[57] Hans Reichenbach, *Die philosophische Bedeutung der Relativitätstheorie*, Gesammelte Werke in 9 Bänden, Band 3, hrsg. v. Andreas Kamlah, Braunschweig [u.a.] 1979, 322.
[58] Kamlah, *Reichenbach*, 71.
[59] Reichenbach, *Aufstieg*, 148.
[60] Felix Klein, *Vorlesungen über nicht-euklidische Geometrie*, Berlin 1928, 271ff.
[61] Euklid, *Die Elemente*, nach Heibergs Text aus d. Griech., übers. u. hrsg. v. Clemens Thaler, Darmstadt 1980, Buch 1, Definitionen 1-3.

beiden Seiten ins unendliche verlängert, auf keiner einander treffen."[62] Das daraus folgende Parallelenaxiom hat dann diese Form:

„Endlich, wenn eine Gerade zwei Gerade trifft und mit ihnen auf derselben Seite innere Winkel bildet, die zusammen kleiner sind als zwei Rechte, so sollen die beiden Geraden, ins Unendliche verlängert, schließlich auf der Seite zusammentreffen, auf der die Winkel liegen, die zusammen kleiner als zwei Rechte sind."[63]

Die umständliche Formulierung und die Verwendung des Begriffs *das Unendliche* haben seit der Antike dieses Axiom zur Diskussion gestellt. Es wurde in der Folge versucht, die Geometrie ohne Parallelenaxiom axiomatisch zu bestimmen. Entweder indem man es entfernt oder versucht, es aus den vorigen Axiomen abzuleiten. Es aus den vorigen Axiomen abzuleiten funktionierte nicht, daher bemühte man sich Geometrien zu entwickeln, die ohne Parallelenaxiom auskommen.

Im 19. Jahrhundert entdeckte man schließlich eine Geometrie, die das Parallelenaxiom verneint, nämlich die *hyperbolische Geometrie*. In dieser gibt es, im Unterschied zur euklidischen Geometrie, zu jeder Geraden g und einem Punkt P mindestens *zwei* Geraden (h und i), die durch P gehen und zu g parallel sind. Vorrangiges Ziel war nun, diese hyperbolische Geometrie auf Widerspruchsfreiheit zu überprüfen, und nachdem dies gelang, zeigte sich, dass das Parallelenaxiom für eine widerspruchsfreie Geometrie nicht notwendig ist.[64]

Diese Phase ist mit drei Namen verbunden: Johann Carl Friedrich Gauß (Deutschland 1777-1855), Nikolai Iwanowitsch Lobatschewski (Russland, 1792-1856) und János Bolyai (Ungarn 1802-1860). Alle drei gelten als Entdecker der nichteuklidischen Geometrien. Es mag in der Sache gelegen haben, dass ähnlich wie bei der Entdeckung der Infinitesimalrechnung mehrere Personen im gleichen Zeitraum eine Entwicklung vollzogen. Gauß hat über seine Untersuchungen nur Andeutungen in Briefen gemacht, da er das *Geschrei der Böotier*[65] fürchtete. Im Nachlass von Gauß wurde jedoch ersichtlich, dass Gauß etwa um 1817 eine klare Erkenntnis der hyperbolischen Geometrie gewonnen hatte. Etwa 1823 entdeckt János Bolyai, dass das Parallelenaxiom keine notwendige Voraussetzung für eine Geometrie ist. János Bolyais Vater war ein Jugendfreund von Gauß und hat sich

[62] Euklid, *Elemente*, Buch 1, Definition 23 (35).
[63] Klein, *nicht-euklidische Geometrie*, 272.
[64] Klein, *nicht-euklidische Geometrie*, 274ff.
[65] Klein, *nicht-euklidische Geometrie*, 275. In der griechischen Antike bedeutete (vor allem bei den Athenern) *böotisch* soviel wie *ländlich grob, ungebildet*. Mit dieser Wortbedeutung ging der Begriff auch in die gehobene deutsche Sprache des 18. und 19. Jahrhunderts ein.

selbst sein Leben lang mit dem Parallelenaxiom erfolglos auseinander gesetzt und daher dem Sohn davon abgeraten, was dieser zum Glück nicht annahm. 1829 publiziert der Professor Lobatschewski an der Universität Kasan Untersuchungen zur Parallelentheorie.[66]

Die Legende um Gauß´ Vermessung des Dreiecks Brocken-Inselberg-Hoher Hagen soll diese Entwicklung verdeutlichen:[67] Gauß erkannte, dass die Frage nach der richtigen Geometrie für die physikalische Welt nicht durch Vernunft zu beantworten ist, sondern nur mittels empirischer Beobachtung. (Die Konsequenz für Reichenbach ist, dass zuerst definiert werden muss, was eine gerade Linie ist bzw. dass angegeben werden muss, wie eine Länge zu messen ist.) „Nach seiner Entdeckung einer nichteuklidischen Geometrie versuchte er, die Geometrie der physikalischen Welt auf empirische Weise zu finden, man maß zu diesem Zweck die Winkel eines Dreiecks, dessen Spitzen durch drei Bergkuppen bestimmt waren. Das Resultat seiner Messungen drückte er auf folgende vorsichtige Weise aus: er fand, daß das euklidische System innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler wahr sei, oder mit anderen Worten, dass, wenn eine Abweichung der Winkelsummern von 180° existiert, sie so klein ist, daß man sie nicht von den unvermeidlichen kleinen Ungenauigkeiten der Beobachtung trennen kann.“[68]

Wie so oft blieben aber die Leistungen von allen Dreien lange unbemerkt, bzw. hielt man die nichteuklidischen Geometrien für theoretische Lehrgebäude ohne Anschauungsbezug, ein Ungleichgewicht das erst spät von David Hilbert korrigiert wurde.[69] Auch die Veröffentlichung des Briefwechsels zwischen Gauß und dem Altonaer Astronomen Schumacher lenkte die allgemeine Aufmerksamkeit auf dieses Thema. Darin äußert Gauß seine Ansichten über die hyperbolische Geometrie, über deren Widerspruchsfreiheit. Seine Autorität bewirkte, dass die nichteuklidische Geometrie neues Ansehen bekam und so wurden auch die Arbeiten von Lobatschewski und Bolyai aus der Vergessenheit geholt. Dabei stellte man fest, dass noch zwei weitere Personen den Fortschritt mitgemacht hatten: Schweikart und Taurinus. Schweikart war Jurist und Mathematiker aus Leidenschaft und hinterließ

[66] Klein, *nicht-euklidische Geometrie*, 275.
[67] Kamlah, Reichenbach, 71.
[68] Reichenbach, *Aufstieg*, 149.
[69] Klein, *Konventionalismus und Realismus*, 22.

eine Arbeit zur *Astralgeometrie* bereits 1816.[70] Taurinus war ein Neffe von Schweikart und entwickelte 1824 die hyperbolische Geometrie.[71]

Einen beachtlichen Entwicklungsschritt zu der Theorie der Relativität der Geometrien leistete Riemann. In seiner Habilitationsrede von 1854 *Über die Hypothesen, welche der Geometrie zugrunde liegen* schaffte er es, einen Zusammenhang zwischen der Geometrie auf den Flächen konstanter negativer Krümmung und der hyperbolischen Geometrie herzustellen und erweiterte damit differentialgeometrische Gesichtspunkte der Flächentheorie.

Riemann schrieb von einer *Mannigfaltigkeit von n-Dimensionen*, „[…] d.h. etwas, was im Kleinen durch *n* Koordinaten beschrieben werden kann […]“[72], und vermied damit, vom Raum zu sprechen. Denn der Raum mit seinen drei Dimensionen ist nach Riemann nur ein Spezialfall. Die Metrik soll bei der empirischen Untersuchung anfangs als euklidisch angenommen, dann aber den Umständen entsprechend in eine nichteuklidische Geometrie umgewandelt werden. Entscheidend dabei ist das Maß der Krümmung einer Ebene, das sich „[…] etwa an dem Defekt der Hypotenuse eines kleinen rechtwinkeligen Dreiecks (verglichen mit der nach Pythagoras) oder aus dem Überschuß der Winkelsumme im Dreieck (über 180°) [...]“ [73] ergibt.

Riemann erkannte „[…] in dem uns gegeben Raum eine dreifach ausgedehnte Mannigfaltigkeit konstanter Krümmung […]“[74] und fragte sich, welchen Wert das konstante Krümmungsmaß besitzt, denn ist es gleich Null, dann ergibt sich die euklidische Geometrie, ist es aber negativ, erhält man die hyperbolische Geometrie von Gauß, Lobatschewski und Bolyai. Ein positives Krümmungsmaß hatte man ausgeschlossen da man zweifelsfrei von einem unendlich ausgedehnten Raum ausging. Riemann wies darauf hin, dass der Raum zwar unbegrenzt ist, aber daraus nicht automatisch die Unendlichkeit folgt. „Dadurch gewinnt er die Möglichkeit, neben einem negativen und einem verschwindenden Krümmungsmaß auch ein positives Krümmungsmaß in Betracht zu ziehen und so neben die euklidische und die

[70] Klein, *nicht-euklidische Geometrie*, 277. Der Name Astralgeometrie soll besagen, dass diese Geometrie eventuell für Fixsterne gelten könne.
[71] Ebd.
[72] Joachim Ritter/Karlfried Gründer (Hg.), *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, Bd. 3, G-H, Darmstadt 1974, 325f., Begriff: *Geometrie*.
[73] Ritter/Gründer, *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, Bd. 3, 326.
[74] Klein, *nicht-euklidische Geometrie*, 292.

hyperbolische die elliptische Geometrie zu stellen.“[75] Unklar ist, ob er dabei auch gleich an die sphärische Geometrie dachte.
Es wird berichtet, dass unter den Zuhörern Gauß war, der zwar nach dem Vortrag nichts anmerkte, aber angeblich sehr nachdenklich heimging. Da Riemann diese Arbeit nicht publizierte, wurde sie erst nach seinem Tod 1868 veröffentlicht und fand unmittelbar danach große Aufmerksamkeit, aber „Erst in der Relativitätstheorie und im gekrümmten Weltraum der heutigen Kosmologen kommt es [das Maß der Krümmung, Anm. d. Verf.] zur Geltung.“[76] Neben vielen anderen beschäftigte sich der Physiker Helmholtz in der Folge mit den riemannschen Gedanken. Obwohl Helmholtz´ Arbeit mathematische Fehler enthält ist sein Verdienst, von einem großen Publikum wahrgenommen worden zu sein. So knüpften nachfolgende Forscher meist an Helmholtz an.[77]

Die starren Stäbe von Helmholtz[78]

Die Kontroverse im 19. Jahrhundert über die nichteuklidischen Geometrien machte auch ein Problem bewusst, nämlich dass zur Messung im euklidischen Raum die Existenz von starren Körpern als Maßstäbe vorausgesetzt wurde. Es drängt sich die Frage auf, ob diese starren Körper auch für die nichteuklidischen Räume als Maßstäbe verwendet werden können? Denn eigentlich müssten diese sich in einem gekrümmten Raum ebenfalls krümmen. Hermann L. F. von Helmholtz (1821-1894) legte im 19. Jahrhundert dazu grundlegende Untersuchungen über die Metrik in der Geometrie vor, die auch für den physikalischen Raum in der Relativitätstheorie Bedeutung erlangten. Für Helmholtz ist die Entwicklung der nichteuklidischen Geometrien ein Indiz dafür, dass der Raum in seiner speziellen Ausformung ein Ergebnis der Erfahrung ist und damit nicht apriorischer Natur. Er war der Meinung, dass sich die nichteuklidischen Geometrien ebenso vorstellen lassen, wie die euklidische. Wie Reichenbach später bemühte sich Helmholtz um eine Veranschaulichung von Räumen mit nichteuklidischen topologischen Eigenschaften. Der Beitrag von Helmholtz wurde vor allem für die Diskussion um die geometrische

---

[75] Ebd.
[76] Ritter/Gründer, *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, Bd. 3, 326.
[77] Klein, *nicht-euklidische Geometrie*, 292f.
[78] Alexander Gosztonyi, *Der Raum. Geschichte seiner Probleme in Philosophie und Wissenschaften*, Bd.1, Freiburg i. Br. 1976, 514ff.

Struktur des Wahrnehmungsraumes und für das Problem der starren Körper im metrischen Raum bedeutsam.

Gauß´ Experiment müsse mit starren Körpern überprüft werden, so Helmholtz. Das Problem der Definition von starren Körpern, wie es Reichenbach gut schilderte, war auch Helmholtz bewusst. „Wie viel von den Sätzen der Geometrie hat objektiv gültigen Sinn? Wie viel ist im Gegenteil nur Definition oder Folge aus Definitionen, oder von der Form der Darstellung abhängig? Diese Frage ist meines Erachtens nicht so ganz einfach zu beantworten, da wir … [sic!] darüber, ob ein Körper fest, ob seine Flächen eben, seine Kanten gerade sind, erst mittels derselben Sätze entscheiden, deren tatsächliche Richtigkeit durch die Prüfung zu erweisen wäre."[79]

Helmholtz äußerte die Hypothese, es gebe endliche, frei bewegliche starre Körper.[80] Diese Annahme über das Verhalten physikalischer Körper resultiert aus der Erfahrung im euklidischen Raum, und kann daher nicht einfach auf den nichteuklidischen Raum übertragen werden. Dieser Gedanke ist die Basis zum Problem der Invarianz bewegter Strecken im Raum in Einsteins Relativitätstheorie. Helmholtz zeigte, dass eine empirische Geometrie des physikalischen Raumes erst dann möglich ist, wenn bewiesen ist, dass es starre Körper als transportable Maßstäbe gibt. Dabei stellte er fest, einen Gedanken den Reichenbach ausformulierte, dass allein schon die Wahl des Maßstabes die Geometrie bestimmt.

Geometrische Starrheit stellte Helmholtz über das Verhältnis von drei Punkten in einem endlichen Raumstück dar. Damit wird die physikalische Eigenschaft *Starrheit* durch die geometrische der Kongruenz ersetzt.[81] Der geometrische Begriff der Kongruenz ist demnach wechselseitig mit dem physikalischen Begriff des *starren Körpers* verbunden. Will man bei einer empirischen Messung die Maßstäbe auf ihre Starrheit überprüfen, so ist diese Überprüfung vom geometrischen Kongruenzprinzip abhängig, was bedeutet, über die Starrheit eines Körpers kann nur mithilfe geometrischer Sätze entschieden werden. Die Messung mit physikalischen Körpern vermag nicht über die Geometrie zu entscheiden. Was benötigt wird, ist eine rein geometrisch oder mathematisch formulierte Bestimmung für die Maßverhältnisse. Die Lösung gelang nicht Helmholtz, sondern wurde später in Form der projektiven Geometrie erbracht.

---

[79] zit. n. Kamlah, *Reichenbach*, 72.

[80] Joachim Ritter/Karlfried Gründer, (Hg.), *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, Bd. 8, R-Sc, Basel 1992, 106, Begriff: *Raum*.

[81] Gosztonyi, *Der Raum*, 517.

Bedeutend für die Philosophie Reichenbachs ist aber, dass Helmholtz die *Unverformbarkeit gegenüber Kräften* als physikalische Eigenschaft der Starrheit angibt, was eben dann zum Kernelement in Reichenbachs Definition der starren Stäbe wurde. Das Verdienst von Helmholtz im Zusammenhang mit dem Geometrieproblem war, die Bedeutung der starren Stäbe zu formulieren und die Anschaulichkeit nichteuklidischer Räume darzustellen. Sehr früh hat er die Unhaltbarkeit der kantischen Raumlehre vor der neueren mathematischen Entwicklung konstatiert und damit die philosophischen Grundlagen für die Debatte um die Raumgeometrie im 20. Jahrhundert gelegt.[82]

Die Rettungsversuche der euklidischen Geometrie

Heinrich Christoph Wilhelm von Sigwart (1789-1844) meinte, wenn man annimmt, dass nichteuklidische Geometrien anschaulich sind, dann, weil diese Überlegungen mit den Körpern und Formeln des euklidischen Raumes in Einklang gebracht wurden, d.h. anschaulich würde die nichteuklidische Geometrie erst durch Abbildung auf die euklidische. Die euklidische Geometrie wird bei der Annahme einer nichteuklidischen Geometrie nicht ersetzt, sondern verändert, modifiziert: „Alles wirkliche Messen von Körpern durch Körper aber belehrt uns nicht über die Natur des Raums, sondern über das Verhalten der Dimensionen der Körper im Raume zueinander und zu den Bedingungen unserer Wahrnehmung."[83] Bezogen auf Gauß´ Dreiecksmessung schreibt Sigwart, dass Gauß damit nicht Euklid korrigierte, sondern die Voraussetzungen der Messung. Konkret: „dass Licht sich geradlinig bewege."[84]
Entgegen also der Theorie Helmholtz´, die Raumwahrnehmung müsse der Messung folgen und wenn nötig, sich einer nichteuklidischen Geometrie anpassen, meinen Sigwart, Lotze und Neukantianer, die Messung muss darauf hin interpretiert werden, dass sie in einer euklidischen Geometrie genügt.[85] Diese Forderung kritisiert Reichenbach. In *§9. Die Anschaulichkeit der euklidischen Geometrie* aus der *Philosophie der Raum-Zeit-Lehre* stellt er die Frage, ob es überhaupt wahr ist, dass die euklidische Geometrie die einzige ist, die wir uns vorstellen können?

[82] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 56.
[83] Kamlah, Reichenbach, 73.
[84] Ebd.
[85] Ebd.

Das Bestreben, trotz der gleichberechtigten nichteuklidischen Geometrien an der euklidischen Geometrie fest zu halten, bedeutet für den Wirklichkeitsbezug eine Willkürlichkeit. „Das Argument Sigwarts hat zwar scheinbar die Wahrheit der euklidischen Geometrie gerettet, aber dafür den Preis ihrer Wirklichkeitsgeltung bezahlt."[86] Das Anpassen der Geometrie an die Messung kann nun nicht nur die euklidische Geometrie bevorzugen, sondern ebenso die sphärische und pseudosphärische. Reichenbach merkt zu der Theorie der Bevorzugung der euklidischen Geometrie ihrer Anschauung wegen an: „Wir wollen zunächst annehmen, es sei richtig, dass ein besonderes Anschauungsvermögen existiert. Die euklidische Geometrie sei die vor allen anderen durch Anschaulichkeit ausgezeichnete. Wir fragen dann: was folgt daraus für den Raum der wirklichen Dinge? Erst wenn wir diese Fragen beantwortet haben, werden wir auf der zweiten Stufe die Voraussetzungen selbst prüfen und untersuchen, ob ein besonderes Anschauungsvermögen existiert."[87] Genau diese Überlegungen führen zur Theorie der Relativität der Geometrie.

Neben Sigwart bemühten sich zahlreiche Philosophen und Physiker um die Rettung der euklidischen Geometrie. Ihre wichtigsten Argumente gegen die nichteuklidischen Geometrien waren:[88]

1. Die euklidische Geometrie ist unabhängig von jeglicher absoluten Länge. (J. Cohn, H. Cornelius, E. König)
2. Der physikalische Raum könne nur euklidisch sein, da er unter nichteuklidischen Geometrien inhomogen wäre. (H. Driesch, H. Lotze, P. Natorp)
3. Die euklidische Geometrie wäre die Voraussetzung der nichteuklidischen Geometrien. (H. Driesch, H. Cornelius, Ch. V. Sigwart)

Die beiden letzten Behauptungen erwiesen sich als unzutreffend. Felix Klein konnte beweisen, dass die euklidische und die nichteuklidischen Geometrien gleichberechtigt sind. Eine Priorität kommt keiner dieser Geometrien zu. Ebenso konnte gezeigt werden, dass auch die nichteuklidischen Geometrien eine Homogenität des Raumes zulassen.

---

[86] Ebd.
[87] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 52.
[88] Gosztonyi, *Der Raum*, 500.

Im Gegenzug wurde mit drei Hauptkritikpunkten gegen die vorrangige Stellung der euklidischen Raumgeometrie argumentiert:[89]

1. Es wurde bezweifelt, die Axiome der euklidischen Geometrie wären nur durch die Anschauung zu erschließen.
2. Es gibt in der euklidischen Geometrie geometrische Gebilde die nicht anschaulich sind.
3. Die nichteuklidischen Geometrien beweisen Raumformen, die anschaulich nicht vorstellbar sind.

Die scheinbare Anschaulichkeit der euklidischen Geometrie war ein Grund weshalb man ihr den Vorzug gab. Doch diese Anschaulichkeit ist lückenhaft. In der euklidischen Geometrie gibt es mehrere Beispiele für Unanschaulichkeit. So wirkt etwa eine Straße, die an sich parallele Begrenzungen hat, so, als würde sie auf einen Schnittpunkt zulaufen und dem Parallelenpostulat widersprechen. Oder auch die von Karl Weierstrass 1861 entdeckten Funktionen, die zwar überall stetig, aber nirgends differenzierbar sind. Das bedeutet für die Physik, dass es Kurvenbahnen bewegter Punkte gibt, aus denen die Punktgeschwindigkeit nicht in jedem Augenblick berechnet werden kann. Giuseppe Peano entdeckte 1890 eine Kurve, die ein ganzes Quadrat ausfüllt und sich damit der Anschauung entzieht. August Ferdinand Möbius zeigte 1856, dass es Polyeder gibt, denen man auf keine Weise einen bestimmten Rauminhalt zuweisen kann.[90]

[89] Gosztonyi, *Der Raum*, 501f.
[90] Gosztonyi, *Der Raum*, 506.

Felix Kleins Überlegungen zur Frage nach der Raumgeometrie[91]

Die Probleme, die der Versuch mit sich bringt, die Frage nach der gültigen Geometrie des Raumes auf rein philosophische Weise zu beantworten, motivierte dazu, dies auf rein empirischem Weg per Messung zu entscheiden, wie dies ja auch Reichenbach vorschlägt. Felix Klein (1849-1925) äußert sich in *Die euklidische und die beiden nichteuklidischen Geometrien als System der Maßbestimmungen, die auf die Außenwelt passen*[92] zur Frage, ob empirische Messungen Erkenntnisse über die wahre Raumgeometrie erbringen:

Die drei Geometrien unterscheiden sich gut vergleichbar in der Winkelsumme eines Dreiecks. Unsere Messapparate können nun aber nicht exakt messen, ob ein Dreieck 180° hat und zwar wegen technischer Unzulänglichkeit. Es kann zwar durch technische Verbesserungen ein Fehlintervall immer weiter verkleinert werden, einen absolut exakten Wert wird man jedoch nie erhalten, wodurch dieses Problem auch an prinzipieller Unmöglichkeit grenzt. Es lässt sich daher „[…] nie feststellen, daß die Winkelsumme des Dreiecks genau 180° beträgt, sondern nur, daß sie etwa zwischen 179°59´ und 180°1´ liegt […]". [93] Daher gilt. „Wenn in der Außenwelt die euklidische Geometrie gilt, können wir diese Tatsache niemals exakt nachweisen; denn das notwendige Fehlintervall unserer Messungen lässt in diesem Fall stets sowohl die Möglichkeit einer elliptischen, wie auch einer hyperbolischen Maßbestimmung zu. Wenn dagegen in der Außenwelt eine elliptische oder eine hyperbolische Maßbestimmung gilt, würden wir diese Tatsache mit genügend genauen Beobachtungsmitteln feststellen können; denn wenn wir das Fehlerintervall genügend herabgedrückt hätten, würden die beiden anderen Maßbestimmungen außerhalb dieses Bereiches liegen."[94]

Bei der Bestimmung von der Position eines Fixsterns lässt sich diese Überlegung anwenden. Man misst den Winkel unter dem die Erdbahn von dem Stern aus gesehen erscheint. Diese, als die Parallaxe des Sternes bezeichnete, Größe wird über die euklidische Geometrie berechnet. Dies ist aber mit der Willkür verbunden, dass im Raum die euklidische Geometrie gelten soll. Daher muss man um korrekt vorzugehen, die Entfernung auch mithilfe der nichteuklidischen Geometrien

[91] Klein, *nicht-euklidische Geometrie*, 205ff.
[92] Klein, *nicht-euklidische Geometrie*, 205.
[93] Klein, *nicht-euklidische Geometrie*, 207.
[94] Ebd.

berechnen und dann entscheiden, welche der Geometrien die richtige ist, indem man sie auf ihren Krümmungsradius untersucht. Das ergibt dann:[95]

1. „Wenn in der Außenwelt eine hyperbolische Geometrie gilt, muss ihr Krümmungsradius (absolut genommen) größer als vier Millionen Erdbahnradien oder $6+10^{19}$ cm sein.“ [96]
2. Sollte die Außenwelt eine elliptische Struktur haben, dann muss man den Raum als endlich und in sich geschlossen ansehen; ein Lichtstrahl würde eine geschlossene Kurve von der Länge π*R beschreiben. Hat nun R einen kleinen Wert, z.B. 30 000 Erdbahnradien, würde nach den vorliegenden Parallaxenmessungen um die Erde herum ein sternarmer Raum liegen, während sich in großer Entfernung von ihr die Sterne außerordentlich dicht drängen. „Dann müssten aber in diesen Raumteilen weit häufiger Zusammenstöße vorkommen, als wir beobachtet haben.“[97]

   Nimmt man jedoch an, alle Sterne haben im Durchschnitt denselben Abstand zueinander, kommt man zu einem Krümmungsradius von 160 Millionen Erdbahnradien. Das hätte aber zur Folge, dass ein Lichtstrahl der um die Welt (nicht die Erde) mit π*R kreist, dafür etwa 8000 Jahre braucht. Man kann durchaus den Krümmungsradius kleiner annehmen und verstrickt sich damit nicht in Widersprüche der Erfahrung. Es gilt: „Bei Voraussetzung einer elliptischen Struktur der Außenwelt kommen wir in keine Widersprüche mit den Erfahrungen der Astronomie und der Physik, wenn wir den Krümmungsradius größer als 100 Millionen Erdbahnradien oder 1,5*10^21cm annehmen.“[98]

   Diese Überlegungen Kleins sind widerspruchsfrei, für ihn aber zur damaligen Zeit eher unwahrscheinlich bzw. spekulativ. Er sah daher keine Notwendigkeit darin, für den Raum eine nichteuklidische Geometrie anzunehmen. Klein kommt zu dem Schluss, „[…] daß wir auf der Erde und im Bereich unseres Planetensystems unbedenklich von der euklidischen Hypothese ausgehen können, ohne mit der Erfahrung in Widersprüche zu geraten [sic!].“[99]

[95] Klein, *nicht-euklidische Geometrie*, 208.
[96] Ebd.
[97] Klein, *nicht-euklidische Geometrie*, 209.
[98] Klein, *nicht-euklidische Geometrie*, 209.
[99] Klein, *nicht-euklidische Geometrie*, 211.

Diese Beispiele zeigen, dass die euklidische Geometrie zwar *anschaulicher* ist als die nichteuklidischen Geometrien, aber eben nicht vollständig und eine Priorität für den physikalischen Raum ist daraus nicht abzuleiten. Vielmehr ergibt sich, dass der physikalische Raum nicht anschaulich erfassbar ist und dessen Struktur sich nur mathematisch-geometrisch beschreiben lässt. [100]

Wie oben beschrieben sind die euklidische Geometrie und die nichteuklidischen Geometrien gleichwertig, keine ist der anderen vorausgesetzt. Für die Darstellung der Relativität der Geometrien ist dieser Stand der Entwicklung ausreichend, ich erwähne aber noch kurz die Weiterentwicklung dieser Diskussion, auch wenn sie für die weitere Arbeit nicht mehr relevant ist.

Projektive Geometrie

Die mathematisch-geometrische Beschreibung des physikalischen Raumes gelang schließlich in Form der projektiven Geometrie. Diese Geometrie ist ein Resultat aus dem Anspruch eine Geometrie zu schaffen, ohne das Parallelenpostulat zu benötigen. Dabei wird zu jeder Klasse paralleler Geraden ein so genannter Fernpunkt bzw. unendlich ferner Punkt definiert, in dem sich die Geraden schneiden und der die Richtung der Geraden angibt. David Hilbert gelang es, die projektive Geometrie in streng axiomatischer Form darzustellen. Das Parallelenaxiom wurde durch die Festlegung ersetzt, dass sich zwei in einer Ebene liegende Geraden immer schneiden müssen. So definiert, gilt das Parallelenpostulat nicht mehr, denn es schneiden sich hier immer zwei Geraden. Die projektive Geometrie liegt allen anderen Arten von Geometrien zugrunde.[101]

Mit der projektiven Geometrie gelang es also, eine Geometrie zu formulieren, die unabhängig von der euklidischen ist, keine metrischen Eigenschaften hat und damit die Metrik fundiert. Obwohl die euklidische Geometrie ihrer Einfachheit halber für kleine Distanzen nach wie vor angewandt wird, ermöglichten die Errungenschaften der Mathematiker des 19. und 20. Jahrhunderts v.a. für die Raumgeometrie des Weltalls feinere Beschreibungen zu entwickeln.

[100] Gosztonyi, *Der Raum*, 505f.
[101] Gosztonyi, *Der Raum*, 525ff.

Zusammenfassung

In diesem Abschnitt habe ich Grundzüge der Entwicklung der mathematisch, physikalischen Raumgeometrie zusammengefasst, um Reichenbachs Geometriephilosophie im historischen Kontext darzustellen. Zentrale Themen Reichenbachs wie das der *starren Stäbe*, der *Kongruenzproblematik* und auch der *Zuordnungsdefinition* sind die Reaktionen auf vorangegangene Diskussionen. Die Beschreibung der Entwicklung der nichteuklidischen Geometrien zeigt, dass es zur Zeit Reichenbachs für die Wissenschaft nicht als selbstverständlich galt, für den physikalischen Raum eine nichteuklidische Geometrie anzunehmen, und auch die kurz davor von Einstein verfasste Relativitätstheorie bedurfte einer philosophischen Fundierung. Damit ist das Umfeld der Theorie der Relativität der Raumgeometrie beschrieben, und ihre Kritik wird leichter verständlich sein.

Abgrenzungen und Bedeutung der reichenbachschen Geometriephilosophie

Die logische Stellung der Definition[102]

Reichenbach fasst das Wesen der Zuordnungsdefinition in der Axiomatik der relativistischen Raum-Zeit-Lehre nochmals zusammen.

Da Definitionen willkürlich sind, sind sie nicht zwingend wahr. Ihre Gültigkeit lässt sich nur im Rahmen ihrer logischen Struktur und Umgebung untersuchen, auf ihre Widerspruchsfreiheit zu anderen Definitionen und Axiomen und auf ihre Eindeutigkeit. Dabei ist zu differenzieren zwischen einer mathematischen und einer physikalischen Zuordnungsdefinition. Die mathematische Definition erklärt Begriffe aus Begriffen und wird deshalb auch Begriffsdefinition genannt. Die physikalische Definition hingegen geht von einem Begriff aus und weist diesem ein Realding zu, weswegen man sie auch Realdefinition nennen kann. Das physikalische Definieren ist ein Zuordnen einer mathematischen Definition zu einem Ding aus der Praxis.

Die Schwierigkeit, die dabei entsteht, ist, dass das Realding, welches zugeordnet wird, nicht ein unmittelbares Wahrnehmungserlebnis ist, sondern sich erst durch Interpretation aus einem solchen konstruiert. Wählt man z.B. einen Lichtstrahl als Realding, so ist dieser Lichtstrahl eine, die Wahrnehmung schon übersteigende Konstruktion. Dieses Problem umgeht man, indem man für die elementaren Interpretationen Zuordnungsdefinitionen benutzt, auf deren Genauigkeit es in weiten Grenzen nicht ankommt und die relativistische Definitionen nicht benutzen.[103] So schränkt man die Willkür der Definition aber auch ein, denn sie darf nicht in Widersprüche zu elementaren Definitionen treten. „So darf man einen würfelförmigen Körper nicht als gerade Linie definieren; eine solche Definition würde die Umordnung auch der elementaren Theorie, ja sogar der *Theorie des täglichen Lebens* verlangen."[104]

[102] Reichenbach, *Relativitätstheorie*, 17ff.
[103] Reichenbach, *Relativitätstheorie*, 18.
[104] Ebd.

Abgrenzung vom Relativismus[105]

Eine Philosophie, die sich des Begriffs der Relativität bedient, muss sich gefallen lassen, mit dem Skeptizismus des Protagoras verglichen zu werden. So kritisiert Eduard May an der Theorie der Relativität der Geometrie, dass die Konsequenz aus der Willkürlichkeit der Zuordnungsdefinition der Metrik eine relativistische Position in der Erkenntnistheorie ist. Wenn das Wahrheitskriterium nicht die Übereinstimmung von W*ahrgenommenem* und W*irklichem* ist, sondern in einer Willkür liegt, dann sind, um mit Protagoras zu sprechen, entgegen gesetzte Behauptungen gleich wahr, nämlich der Raum wäre euklidisch und zugleich nicht euklidisch.[106]

Reichenbach betont, dass die Relativitätstheorie nicht die Verallgemeinerung von *alles ist relativ* behauptet. Die Basis der Relativitätstheorie ist die Erkenntnis, dass viele Tatbestände, die auf Wahrheit oder Falschheit befragt werden, von der Definitionssetzung abhängen. Reichenbach gibt wieder das Beispiel der Geometrie: Relativität ergibt sich nicht nur aus der Wahl der Einheiten des Maßstabs, sondern eben, und das ist das neue bei der Relativitätstheorie, aus dem Vergleich von Entfernungen, welcher eine Sache der Definition ist. Das ist der oben schon beschriebene definitionsmäßige Charakter der Kongruenz. Das zweite Beispiel ist das Problem der Gleichzeitigkeit. „Daß die Gleichzeitigkeit von Vorgängen an entfernten Stellen eine Sache der Definition ist, war unbekannt, bevor Einstein seine spezielle Relativitätstheorie auf diese logische Entdeckung begründete."[107] All diese Definitionen sind Zuordnungsdefinitionen; man kann also verallgemeinern, dass alle Definitionen der Relativitätstheorie Zuordnungsdefinitionen sind.
Die Relativität besteht somit nicht in der Subjektivität der Wahrnehmung, sondern in der Individualität des Definierens. Daher wehrt sich Reichenbach gegen eine Verwechslung der Relativitätstheorie mit dem Skeptizismus von Protagoras und anderen. Es ist nicht alles relativ, weil die Wahrheit vom Beobachter abhängt. „In einer logischen Darstellung der Relativitätstheorie kann der Beobachter völlig ausgeschaltet werden."[108]

[105] Reichenbach, *Relativitätstheorie*, 318.
[106] May, *Relativismus*, 56.
[107] Reichenbach, *Relativitätstheorie*, 322f.
[108] Reichenbach, *Relativitätstheorie*, 323.

Die Willkürlichkeit der Definition ist also das entscheidende Moment, denn mit dem Wechsel von Definitionen entstehen verschiedene Beschreibungssysteme die einander gleichwertig gegenüberstehen.
Relativität heißt also in dem Zusammenhang *relativ zu einem bestimmten Definitionssystem*.[109] Die Sprachen dieser Definitionssysteme sind einander nicht widersprüchlich, sondern haben den gleichen Inhalt in anderen Ausdrucksformen. Relativität bedeutet bei Reichenbach demnach nicht, dass die Wahrheit an sich nicht feststellbar ist.

Abgrenzung vom Konventionalismus[110]

Der auf Poincaré zurückgehende Konventionalismus erscheint auf den ersten Blick vereinbar mit der Relativität der Geometrie und der Relativitätstheorie im Allgemeinen. Er sagt grob zusammengefasst aus, dass die gültige Geometrie ein Ergebnis einer Konvention sei und keine empirische Gültigkeit habe. Dagegen verwehrt sich Reichenbach: „Es wäre eine irrtümliche Interpretation dieser Relativität der Geometrie, eine Aussage über die geometrische Struktur des physikalischen Raums als sinnlos zu bezeichnen. Die Wahl der Geometrie ist nur so lange willkürlich, als noch keine spezifizierte Definition der Kongruenz vorliegt. Sobald diese Definition aufgestellt ist, wird es eine empirische Frage, welche Geometrie für einen physikalischen Raum gilt.“[111]
Während Poincaré annahm, eine Definition des starren Körpers sei unmöglich ohne den Begriff der Geometrie, zeigte Reichenbach in der *Philosophie der Raum-Zeit-Lehre,* dass dies sehr wohl möglich ist. Das Problem des Konventionalismus ist, dass nur die unvollständige Aussage über eine Geometrie, in welcher keine Zuordnung auf die Definition der Kongruenz erfolgte, willkürlich ist. Sobald eine Aussage durch eine solche Bezugnahme erweitert wird, wird sie empirisch überprüfbar und bekommt damit einen physikalischen Inhalt.
Die Konsequenz, die aus dem Konventionalismus gezogen wurde, dass eine objektive Aussage über die Geometrie des physikalischen Raumes nicht möglich und der Begriff *Geometrie des wirklichen Raumes* sinnlos sei, ist unvereinbar mit der

---

[109] Reichenbach, *Relativitätstheorie*, 324.
[110] Reichenbach, *Relativitätstheorie*, 325.
[111] Reichenbach, *Relativitätstheorie*, 325.

Theorie der Relativität der Geometrie. Die freie Wahl der Temperaturskala ändert z.B. nichts daran, dass es eine objektive Wirklichkeit der Temperatur gibt.[112]
So soll also von Relativität gesprochen werden statt von Konvention. Links oder rechts sind simple relative Begriffe, aber auch fundamentale Begriffe wie Raum und Zeit sind solche.

Durch die Betonung der *Willkürlichkeit* der Zuordnungsdefinitionswahl liegt es zwar nahe, Reichenbach als Konventionalist zu verstehen, jedoch knüpft er an den Begriff der *Willkürlichkeit* Regeln wie die *Einfachheit* und *Erhaltung von Alltagsphysik*. Obwohl sich z.B. eine gespannte Schnur als krummlinig definieren lässt, würde dies die Alltagspraxis radikal verändern und unnötig komplizieren. Niemand würde eine solche Zuordnungsdefinition wählen, wenn es nicht rationale Gründe wie die der Simplizität gäbe. Diese Einschränkung der Willkürlichkeit wird von einigen Interpreten wie z.B. L. Shapiro als Argument gegen einen Konventionalismus bei Reichenbach gesehen. Dem widerspricht Reichenbachs Lehre, dass die praktische Relevanz jener Beschränkungen keine *logischen* Gründe sind und diese Kriterien bloß eine „[…] Anpassung der wissenschaftlichen Definition an die Gewohnheiten des täglichen Lebens […]“ bewirken.[113]

In dem auch von Friedman zitierten Werk, welcher bei Reichenbach einen Konventionalismus interpretiert, *Erfahrung und Prognose* distanziert sich Reichenbach klar vom *extremen* Konventionalismus:
„Im Rahmen der modernen Wissenschaftstheorie gibt es eine Bewegung mit dem Namen Konventionalismus, die zu zeigen versucht, dass die meisten erkenntnistheoretischen Probleme keine Fragen nach der Wahrheit enthalten, sondern in Form willkürlicher Entscheidungen zu lösen sind. Diese Auffassung war, insbesondere bei ihrem Begründer Poincaré, historisch verdienstvoll, da sie die Philosophie dazu veranlasste, die bisher vernachlässigten willkürlichen Bestandteile im System der Erkenntnis zu betonen. In ihrer weiteren Entwicklung hat diese Tendenz aber ihre angemessenen Grenzen überschritten und die Rolle der Entscheidungen bei der Erkenntnis weit übertrieben. Der Begriff der Folgeerscheinungen möge daher als Damm gegen den extremen Konventionalismus angesehen werden; er ermöglicht es, den willkürlichen Teil des Systems der

[112] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre,* 57.
[113] Klein, *Konventionalismus und Realismus*, 44.

Erkenntnis von seinem eigentlichen Inhalt zu trennen und somit die subjektive von der objektiven Komponente der Wissenschaft zu unterscheiden.“[114] Es gibt eine objektive Aussage über die Geometrie des wirklichen Raumes: „[…] sie ist eine Aussage über eine Beziehung zwischen dem Universum und starren Maßstäben.“[115]

Helmholtz ist die philosophische Klärung des Geometrieproblems zu verdanken, denn er erkannte die Abhängigkeit der physikalischen Geometrie von der Definition der Kongruenz mit Hilfe starrer Körper. Reichenbach betont die Überlegenheit von Helmholtz´ Lehre gegenüber Poincarés Konventionalismus, nicht zuletzt in der Lösung des Problems der anschaulichen Darstellung der nichteuklidischen Geometrie durch die Entdeckung, „[…] daß Anschaulichkeit eine Frucht der Erfahrung mit starren Körpern und Lichtstrahlen ist.“[116]

Trotz dieser Abgrenzungen gegenüber dem extremen Konventionalismus, gilt Reichenbach heute allgemein als Konventionalist, wenngleich als so genannter *gemäßigter Konventionalist*, einen Begriff den er selbst prägte.[117] Allgemeine Übereinkunft ist schließlich, dass Reichenbach in der Weise Konventionalist ist, insofern er das notwendige Auftreten konventioneller, d.h. nicht durch Tatsachen bestimmter, sondern der freien Festsetzung unterliegender, Elemente in der Beschreibung der Welt behauptet.[118]

Ebenso wie man Reichenbachs Lehre nicht als reinen Konventionalismus betrachten sollte, widerspricht er auch der Vorstellung eines *Konvergenzrealismus*, welcher die Existenz alternativer, gleich wahrer Beschreibungen als Folge eines heute noch mangelhaften Erkenntnisstandes betrachtet. Reichenbachs gemäßigter Konventionalismus ergibt sich aus logischen Gründen und auch ein *allwissender Dämon* hätte nicht die Möglichkeit, aus alternativen empirisch äquivalenten Beschreibungen eine als die wahre herauszufinden.[119]

---

114 Hans Reichenbach, *Erfahrung und Prognose*, Gesammelte Werke in 9 Bänden, Bd. 4, hrsg. v. Andreas Kamlah, Braunschweig 1983. 8f.
115 Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 58.
116 Reichenbach, *Relativitätstheorie*, 328.
117 Klein, *Konventionalismus und Realismus*, 21.
118 Klein, *Konventionalismus und Realismus*, 30.
119 Klein, *Konventionalismus und Realismus*, 112.

Kontra Kants Raum-Apriori

Die Raumphilosophie von Kant kann hier nur sehr kurz beschrieben werden, ungeachtet ihrer großen Bedeutung in der Philosophiegeschichte, aber eine gerechte Darstellung würde den Rahmen dieser Arbeit überschreiten. Ich will deswegen aber nicht darauf verzichten, die Auswirkungen der reichenbachschen Raumphilosophie auf Kant zu beschreiben. Kants Lehre von der reinen Vernunft behandelt den zentralen Begriff des synthetischen Urteils apriori. Dieses ist die Bedingung für Erkenntnisse und von Erfahrung und Beobachtung unabhängig. Solche Erkenntnisvoraussetzungen sind etwa die Gesetze der euklidischen Geometrie, die absolute Zeit, die Kausalität und die Erhaltung der Materie. Diese Beispiele entsprechen dem damaligen Stand der Physik im 18. Jahrhundert nach Newton. Im Unterschied aber zu Newtons absolutem Raum und Leibniz´ relationalem Raum, versteht Kant den Raum als *Vorstellung* a priori, als Form der Anschauung, „[…] die allen äußeren Anschauungen zu Grunde liegt.“[120] und die die „[…] Bedingung der Möglichkeit der Erscheinungen“[121] ist.

Die Entdeckung der nichteuklidischen Geometrien nahm der euklidischen ihren Anspruch auf Wahrheit a priori, da nun empirisch entschieden werden muss, also a posteriori, welche Geometrie gilt. „Die scheinbare Evidenz dieser Gesetze [der euklidischen Geometrie, Anm. d. Verf.], die zu der Auffassung führte, dass sie unausweichliche Voraussetzungen aller Erkenntnis seien, erwies sich als ein Produkt der Gewohnheit.“[122]

Es war Helmholtz der der Nachwelt als erster bekannt ist, der sich menschliche Wesen vorstellte, die Zeit ihres Daseins mit einer nichteuklidischen Geometrie leben und diese schließlich als ebenso notwenig und evident ansähen, wie wir die euklidische. Einstein, der entschieden kein Kantianer war, hat, indem er die raumzeitlichen Beziehungen anders als im traditionellen System der Erkenntnistheorie betrachtete, die Philosophie auf einen neuen Weg gebracht. Einem Weg, der dem synthetischen Apriori widerspricht.[123]

Die Philosophie der Relativitätstheorie ist dem Empirismus zuzurechnen, unterscheidet sich aber von jener Bacons und Mills. Diese gingen im Unterschied zu Einstein und Reichenbach davon aus, dass sich alle Naturgesetze durch einfach-

[120] Immanuel Kant, *Kritik der reinen Vernunft*, Frankfurt am Main 1974, A24.
[121] Kant, *KrV*, B38.
[122] Reichenbach, *Relativitätstheorie*, 335.
[123] Reichenbach, *Relativitätstheorie*, 336.

induktive Generalisierungen finden lassen. Der neue Empirismus verknüpft Beobachtungsdaten durch deduktive Operationen und befähigt dazu, neue Beobachtungsdaten vorauszusagen, ganz im Sinne einer mathematischen Konstruktion. Der Empirismus einer mathematischen Physik ist darin begründet, dass der Sinnesempfindung das letzte Wahrheitskriterium zugestanden wird und die analytischen Prinzipien der Logik als Quelle der Erkenntnis angesehen werden. Reichenbach weist darauf hin, dass der Prozess der Auflösung des synthetischen Apriori nicht zu Ende ist mit der Ablehnung einer Vorstellung vom absoluten Raum und von absoluter Zeit, denn die Quantenmechanik fordert darüber hinaus auch eine Auflösung des Kausalitätsprinzips.[124]

Reichenbachs Verständnis von der Bedeutung eines geometrischen Satzes ist mit dem von Wittgenstein stammenden Zitat: „Der Sinn eines Satzes ist seine Übereinstimmung, und Nichtübereinstimmung mit den Möglichkeiten des Bestehens und Nichtbestehens der Sachverhalte."[125] beschreibbar. Reichenbachs Semantik erkennt den Sinn in einer geometrischen Aussage nicht im psychischen Bewusstseinsinhalt eines Urteils, sondern in der Methode zur Überprüfung dieser Aussage mittels geeigneter Messverfahren. „Der Sinn eines Satzes kann nur die Methode seiner Überprüfung sein, nicht seiner Verifikation."[126]

Widerlegung des kantschen Raumbegriffs - Kausale Anomalien[127]

Für Neukantianer wurde es zu einer neuen Möglichkeit, in der Relativität der Geometrie die euklidische zu bevorzugen, etwa der Anschaulichkeit wegen (siehe oben), um so dem Anspruch einer Apriorität der anschaulichen Geometrie gerecht zu werden.

Für Kant gilt, dass der Raum der Welt unendlich ist.[128] Diese These, als erste Antinomie der reinen Vernunft bezeichnet, formuliert Kant mithilfe der Reductio ad absurdum. Dabei wird die Annahme, der Raum sei endlich, als unmöglich bewiesen. Denn wenn die Welt endlich ist, „dann müßte sie sich in einem leeren R. [Raum, Anm. d. Verf.] befinden, der nicht begrenzt ist, so daß nicht nur ein Verhältnis der

[124] Reichenbach, *Relativitätstheorie*, 337.
[125] Ludwig Wittgenstein, *Tractatus logico-philosophicus*, Frankfurt am Main 1963, 4.2.
[126] Kamlah, Reichenbach, 75.
[127] Reichenbach, *Relativitätstheorie*, 327.
[128] Vgl.: Ritter/Gründer, *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, Bd. 8, 91.

Dinge im R., sondern auch der Dinge *zum R.* erwogen werden müßte. Da es aber immer nur Verhältnisse zwischen Dingen innerhalb der Welt gibt und die Welt als Ganzes nicht ihrerseits wieder auf eine außerhalb ihrer existierende Sache bezogen werden kann, so müßte dieser R. ein Nichts sein.“[129] Nun kann der Raum kein Nichts sein, also ist der Raum nicht endlich.

Als reine Form der Anschauung gedacht, begründet[130] der apriorische Raum die synthetischen Urteile a priori der Mathematik und der Geometrie, jedoch könnte diese These zu einem Widerspruch mit dem Kausalprinzip führen, wenn etwa Einsteins Hypothese eines geschlossenen Weltalls zutrifft. Erfährt man in einer geometrischen Beschreibung eine normale Kausalität, kann eine Transformation in bestimmte andere Geometrien zu sogenannten *kausalen Anomalien* führen, denn nur reine Geometrien gleicher Topologie lassen sich isomorph aufeinander abbilden, ansonsten kommt es an irgendwelchen Stellen zu Unstetigkeiten, bzw. zu einer „[…] Zerreißung der Nachbarschaftsverhältnisse […]“[131]. Dieser Umstand führt zu einem Problem in der Relativität der Geometrie, denn es fragt sich, ob das Relativitätsprinzip der Geometrien für Geometrien mit unterschiedlichen Topologien gilt.

Ein Beispiel[132] soll dies verdeutlichen: Eine Kugel kann nicht ohne eine Singularität in mindestens einem Punkt auf eine Ebene projiziert werden, d.h. eine Geometrie lässt sich nicht stetig auf die andere abbilden. Gewöhnlicherweise entspricht der Nordpol einer Kugel bei einer Projektion der Unendlichkeit der Ebene. Ein Lichtsignal, das von einem Punkt A über den Nordpol zu einem Punkt B in einer endlichen Zeit läuft, wird bei der euklidischen Beschreibung als von A aus in die Unendlichkeit bewegend gedeutet und von B nach einer endlichen Zeit nach einem unendlichen Weg zurückkehrt. Dies ist eben eine kausale Anomalie. „Wenn das Prinzip der normalen Kausalität, d.h. eines kontinuierlichen Übergangs von der Ursache zur Wirkung in einer endlichen Zeit, also Nahwirkung, als notwendige Vorraussetzung für die Naturbeschreibung angenommen wird, dann können gewisse Welten nicht durch gewisse Geometrien interpretiert werden.“[133] Da diese ausgeschlossene Geometrie eben auch die euklidische sein kann, ist diese nicht als Apriori der Raumanschauung

[129] Ebd.
[130] Ebd., 89.
[131] Klein, *Konventionalismus und Realismus,* 64.
[132] Reichenbach, *Relativitätstheorie,* 326.
[133] Reichenbach, *Relativitätstheorie,* 326f.

dienlich, denn sie führt unter Umständen zur Verletzung des Kausalprinzips, was auch für Kantianer inakzeptabel wäre.

Ein sehr gutes Beispiel[134] das den Sachverhalt verdeutlicht hat Bas C. van Fraassen in einem Vortrag geschildert: Man stelle sich vor, man baue eine geschlossene kreisförmige Mauer um sich herum doch plötzlich im nächsten Augenblick befindet man sich außerhalb des Mauerkreises. Was war geschehen? Veranschaulicht man diese Situation in einem zweidimensionalen Modell, ist der Umstand plötzlich außerhalb des Mauerkreises zu stehen kausal anomal. In einem dreidimensionalem Modell aber, ist das Geheimnis schnell offenbart: Keine kausale Anomalie ist die Ursache sondern man kletterte einfach über die Mauer. So führt also das Festhalten an einer bestimmten Geometrie mitunter zu unerklärlichen Phänomenen, zu kausalen Anomalien.

Da weder eine theoretische noch eine empirische Äquivalenz zwischen Geometrien mit unterschiedlicher Topologie möglich ist, kommt das Relativitätsprinzip an seine Grenze, denn die Konzeption äquivalenter geometrischer Beschreibungen ist auf Geometrien mit gleicher Topologie beschränkt.[135] Letztlich sei aber angemerkt: „Wenn man immer durch Wahl einer geeigneten Formulierung der Physik die euklidische Geometrie retten kann, dann verliert diese für sich allein [auch] jede Wirklichkeitsgeltung.“[136]

Die Realität der Raum-Zeit[137]

Die Relativitätstheorie gibt eine vollkommen neue Antwort auf die Frage nach dem Wesen von Raum und Zeit. Man nimmt nun nicht mehr wie nach Platon an, es handle sich um ideale Prinzipien, noch laut Kant, um Ordnungsformen die der menschliche Geist benötigt. Die Relativitätstheorie erklärt Raum-Zeit als ein Bezugssystem, welches gewisse allgemeine Züge physikalischer Gegenstände zum Ausdruck bringt und damit der Beschreibung der physikalischen Welt dient.

Raum-Zeit kommt Realität zu. Das soll sich durch folgende Überlegung zeigen: Begriffe wie *Bär* oder *Stein* nehmen auf physikalische Gegenstände Bezug und differenzieren so von anderen. Im Unterschied dazu sind Begriffe wie *Einhorn* oder

[134] Bas C. van Fraassen, *Frequency and the myth of probability*, In: Hans Poser/Ulrich Dirks (Hg.), *Hans Reichenbach. Philosophie im Umkreis der Physik*, Berlin 1998, 56f.
[135] Klein, *Konventionalismus und Realismus*, 66.
[136] Kamlah, *Reichenbach*, 73.
[137] Reichenbach, *Relativitätstheorie*, 330.

Zentaur leer, denn sie verweisen nicht auf real existierendes. In dieser Weise ist auch Raum-Zeit real, denn dieses Begriffssystem beschreibt Beziehungen, die zwischen physikalischen Gegenständen (festen Körpern, Lichtstrahlen, Uhren, usw.) gelten. „Raum und Zeit sind ebenso wirklich wie etwa die Beziehung *Vater* oder die Newtonschen Anziehungskräfte.“[138]

Die aufgetretene Situation von verschiedenen Geometrien relativiert Kants Ansicht, Raumgeometrie wäre eine bloße Notwendigkeit des menschlichen Geistes, denn damit verbunden ist die Frage, welche Geometrie gültig ist und der Versuch, dies empirisch zu beantworten. Ist die Aussage über Geometrie also empirisch, dann im gleichen Sinne wie Temperatur oder Gewicht Eigenschaften physikalischer Gegenstände beschreiben. Das ist eine empirische Tatsache, die die Realität von physikalischer Raum-Zeit belegt.

Reichenbachs linguistische Wende[139]

Reichenbach betont im Zusammenhang mit der Zuordnungsdefinition immer die Willkürlichkeit der Wahl, die aber, ganz Ockhams Rasiermesser entsprechend, der Einfachheit genügen soll. Die richtige Wahl einer Zuordnungsdefinition „sei eine Ökonomie, mit der man Kräfte sparen will.“[140]

Im Anhang der Gesamtausgabe der *Philosophie der Raum-Zeit-Lehre* schreibt der Herausgeber und Reichenbach-Kenner Andreas Kamlah von der Bedeutung der Zuordnungsdefinition als Ausdruck von Reichenbachs linguistischer Wende. Indem Reichenbach zwischen einer philosophischen und einer physikalischen Relativitätstheorie differenzierte, entdeckte er bei der philosophischen den definitorischen Charakter der Metrik. Zu den Aufgaben der philosophischen Analyse physikalischer Theorien gehört es, nach Reichenbach zum einen Bedeutungen von physikalischen Termen festzulegen und zum anderen Tatsachenbehauptungen von definitorischen Festlegungen zu trennen. Eine Position die für den Holismus z.B. nach Quine nicht möglich ist, da sich danach Tatsachenbehauptungen von definitorischen Festlegungen eben nicht unterscheiden lassen.

---

[138] Ebd.
[139] Andreas Kamlah, *Erläuterungen, Bemerkungen und Verweise zum Buch ‚Philosophie der Raum-Zeit-Lehre'. Vorbemerkung*, In: Hans Reichenbach, *Philosophie der Raum-Zeit-Lehre,* Gesammelte Werke in 9 Bänden, Bd. 2, hrsg. v. Andreas Kamlah, Braunschweig 1977, 389ff.
[140] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 55.

Nun war Reichenbach aber kein Holist und so heißt es bei ihm: „[…] mancher berühmte wissenschaftliche Streit hatte darin seinen Grund, dass man Erkenntnisse suchte, wo Definitionen hingehören.“[141]

Während eine Begriffsdefinition einen Begriff auf einen anderen Begriff verweist, ordnet eine Zuordnungsdefinition Begriffe wirklichen Dingen zu. Kamlah fragt zu Recht, weshalb Reichenbach von *Begriffen* schreibt, statt *Wörter* oder *Terme* zu verwenden. Schlick und Carnap verwendeten *Begriff* nicht als Sinn eines Terms. Der Sinn eines Terms ließe sich nämlich nicht definieren, sondern die Definition verleiht dem Term einen Sinn.

Herkömmlicherweise sind Begriffe so etwas wie verallgemeinerte Vorstellungen. Bei Schlick entspricht der Begriff aber eher der *Vorstellung von einem Zeichen (oder Bild)*, dem reale Gegenstände zugeordnet werden müssen, wenn es etwas bezeichnen soll. „Das Wesen der Begriffe war darin erschöpft, daß sie Zeichen sind, die wir im Denken den Gegenständen zuordnen, über die wir denken.“[142]

Ähnlich zitiert Kamlah Reichenbach: „Damit gelangen wir zu einer Theorie der Begriffe: Begriffe sind Gebilde aus Wahrnehmungen … [sic!] Begriffe haben Existenz, wie alle psychischen Erlebnisse komplexer Art, sind also Dinge; sie existieren, solange der Mensch existiert, der sie denkt, unabhängig von der zeitlichen Position des ihnen zugeordneten Dinges. Ihre Bedeutung als Zeichen erhalten sie durch … [sic!] Zuordnung … [sic!], die eine Vermittlung zwischen der Gesamtheit aller Dinge und diesen speziellen Dingen herstellt. Man darf vielleicht zur Verdeutlichung auf das Bild einer Landkarte hinweisen, die innerhalb des dargestellten Landes auf den Boden hingelegt wird: sie ordnet alle Punkte eines großen Raumgebietes einer kleinen Auswahl unter ihnen zu.“[143]

Carnap verwendet im Werk *Der Logische Aufbau der Welt (1928) Begriff* synonym mit „Aussagefunktion“. Damit ist laut Kamlah bei Carnap zur gleichen Zeit wie Reichenbachs *Philosophie der Raum-Zeit-Lehre* der Übergang von der konzeptualistischen zur linguistischen Auffassung vollzogen. Außer bei den Begriffen der Mathematik, die Reichenbach *uneigentliche Begriffe* nennt, muss also einem Begriff immer etwas zugeordnet werden. Damit ist die Notwendigkeit einer Zuordnungsdefinition ausgesprochen, die „[…] einen Begriff einem existierenden

141 Hans Reichenbach, *Ziele und Wege der physikalische Erkenntnis. Handbuch der Physik*, hrsg. v. Hans Geiger u. Karl Scheel, Bd. 4, Berlin 1929, 34.
142 Schlick, *Allgemeine Erkenntnislehre*, 37.
143 zit. n. Kamlah, *Erläuterungen*, 394.

Ding zuordnen. Diese Zuordnung ist letzten Endes nur durch Hinweis zu geben; ‚dieses Ding da' soll dem und dem Begriff entsprechen. Da für diesen Typus von Definition die Zuordnung von Ding und Begriff eigentümlich ist, wollen wir von Zuordnungsdefinition sprechen; auch Realdefinition ist ein hierfür gebräuchlicher Name."[144] So ist klar, dass die Zuordnungsdefinition ein Akt der Bedeutungsverleihung von Zeichen ist, die nicht nur sprachlich sondern auch durch bloßes Zeigen erfolgen kann.

Zuordnungsdefinitionen lassen sich nach der Form unterscheiden, wie sie zustande kommen. Wird per Hinweis direkt auf ein physisches Ding gezeigt, so lässt sich von einer *direkten* Zuordnungsdefinition sprechen. Wird hingegen rein sprachlich auf ein Ding verwiesen, etwa in der Beschreibung seiner Eigenschaften (das blaue Ding an dem Ort), lässt sich von *indirekten* Zuordnungsdefinitionen sprechen. Schlick bezeichnete die direkte Zuordnungsdefinition als die ostensive Definition und ist, von Reichenbach angegeben, der Erstformulierer davon.[145]

Kritik an der Deutung Kamlahs kommt von Lionel Shapiro. Nach Shapiro gibt es bei Reichenbach systematische Gründe für die unterschiedliche Verwendung von *Begriff* und *Zeichen* und die Vermutung, Reichenbach sei noch an der Schwelle der linguistischen Philosophie gestanden, ist unhaltbar. Entgegen Kamlahs Auffassung ist Reichenbachs reine Geometrie als mathematische Theorie demnach kein syntaktisches System, sondern eben als „*logisches Beziehungsgefüge*" zu verstehen.[146]

[144] Reichenbach, *Handbuch der Physik*, 33.
[145] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre,* 31.
[146] Klein, *Konventionalismus und Realismus*, 26f.

Kritik

Grünbaums Kritik an Reichenbachs Philosophie der Geometrie[147]

Adolf Grünbaum (*1923) lehrte an der Universität von Pittsburgh und leistete einen für die zweite Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts bedeutenden Beitrag zur Philosophie der Raum-Zeit. In seinem in den 70er Jahren erneut erschienenen umfangreichen Werk *Philosophical Problems Of Space And Time* äußerte sich Grünbaum in einem kleinen Kapitel zur Raum-Zeit-Philosophie Carnaps und Reichenbachs und wurde damit zu einem viel beachteten Kritiker derselben. Er gilt in der Nachfolge Reichenbachs als einflussreichster Vertreter einer kritisch konventionalistischen Raum-Zeit-Philosophie.[148]

Kritik am Begriff der Universalkraft

Grünbaum interpretiert Reichenbachs Ansatz der Relativität der Geometrie mit Augenmerk auf seine Hypothese der universellen Kräfte. Nach Carnap hänge die Konventionalität der Kongruenz von der Wahlfreiheit einer Maßsetzung ab. So heißt es in Carnaps Dissertation *Der Raum. Ein Beitrag zur Wissenschaftslehre*: „Die Frage, ob drei oder mehr gegebene physische Punkte in gerader Linie liegen, ist aus den Erfahrungstatsachen alleine ohne eine gewisse Festsetzung, deren Wahl uns freisteht, nicht zu lösen und daher ohne Bezug auf eine solche Festsetzung sinnlos. Die hier erforderliche Festsetzung geschieht entweder durch Geradensetzung oder durch Maßsetzung."[149]

Reichenbach erweitert diese These mit dem Konzept der Universalkraft, jedoch verstehe er diese Konzeption auf *metaphorische* Weise, so Grünbaum[150], indem er von universellen Kräften spricht, die die Ursache der Konventionalität wären. Metaphorisch deswegen, weil Reichenbach das Konzept der Universalkraft im übertragenen, ähnlichen Sinn wie Gravitationskraft verwendet, ohne aber eine konkrete Kraft zu beschreiben. So lässt sich besser von unbestimmten, universellen

[147] Adolf Grünbaum, *Philosophical problems of space and time,* Dordrecht 1973^2, 81ff.
[148] Klein, *Konventionalismus und Realismus,* 115.
[149] Carnap, *Der Raum*, 37.
[150] Grünbaum, *space and time,* 82.

Effekten sprechen, wie es Carnap vorschlägt[151], um dann später konkret eine Kraft zu nennen, die jene Effekte verursacht.

Diese, die Konventionalität der Kongruenz betreffenden metrischen Effekte der Universalkräfte, lassen sich, wie schon oben beschrieben, folgendermaßen beschreiben: Entweder negiert man einen Einfluss von Universalkräften, dann kann man wie bei den üblichen Kongruenzdefinitionen davon ausgehen, dass ein Maßstab nach Abzug von Material verändernden Effekten (etwa Wärmeenergie, also so genannte differentielle Kräfte nach Reichenbach) überall die gleiche Länge hat, oder man entscheidet sich für eine alternative Kongruenzdefinition, in der die Länge eines Maßstabes je nach seiner Position oder Orientierung als variabel angenommen wird (auch nach Abzug thermischer Effekte), was dann der Annahme von nicht-verschwindenden Universalkräften entspricht.

Diese Konzeption Reichenbachs einer metaphorischen Formulierung einer Universalkraft in der Kongruenzdefinition war leider für manche Interpreten ein Anlass, die Basis einer alternativen Kongruenzdefinition fälschlich als Ad-hoc-Hypothese zu missdeuten. Um daher die Konventionalität der alternativen Kongruenzdefinition nicht bloß von den Universalkräften abhängig zu machen, bemüht sich Grünbaum darum, dieses *irreführende Potential* in Reichenbachs Definition zu überwinden.

Bezogen auf Reichenbachs Hügelbeispiel (siehe oben), stellt sich Grünbaum die Frage, ob die Unterscheidung zwischen einer realen (wahren) und einer scheinbaren Geometrie zulässig ist, wie Reichenbach das Beispiel deutet, und weist darauf hin, dass diese Differenzierung auf den Begriff einer dem Gegenstand innewohnende Metrik verweist. „If there were an intrinsic metric, there would be a basis for making the distinction between real (true) and apparent equality of a rod under transport, and thereby between the true and the apparent geometry.“[152]

Im Unterschied zu Reichenbach lehnt Grünbaum die Vorstellung einer intrinsischen Metrik der *kontinuierlichen* physikalischen Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit, d.h. einer dem Raum unbekannten, innewohnender Metrik, ab und meint, sich auf Riemann berufend, der Raum ist *intrinsisch metrisch amorph*. Der Raum selbst hat danach keine Metrik an sich sondern diese ist von dem erkennenden Subjekt in den Raum gelegt. Diese Behauptung der Nichtexistenz einer intrinsischen Basis für den

[151] Kamlah, *Erläuterungen*, 401.
[152] Grünbaum, *space and time*, 84.

wirklichen Raum nennt Grünbaum *Riemannsche metrische Hypothese* (RMH).[153] Aus dieser Hypothese ergibt sich das konventionalistische Element für Grünbaum.
Dies ist eine Frage, die er an das Konventionalitätsprinzip Reichenbachs stellt. Mehr Anstoß nimmt Grünbaum aber eben am Begriff der Universalkraft. Sie als Ursache für die Relativität der Geometrie zu setzen, ist ihm unverständlich. Wie die Umwandlung der Länge eines Tisches von Meter in Fuß nicht die Einwirkung einer Kraft auf den Tisch als Ursache der Veränderung hat, so sind auch nicht universelle Kräfte als Ursache von Veränderungen am transportierten Maßstab zu verstehen.[154]
Reichenbach formuliert die Konventionalität der Kongruenz zuerst indem er zwischen differentiellen und universellen Kräfte unterscheidet, und dann aber den Ausdruck *universelle Kräfte* unspezifisch und metaphorisch in seiner Ausführung über den erkenntnistheoretischen Status der Metrik gebraucht.
Grünbaum bezieht sich auf Reichenbachs Definition von Kongruenz in der Formulierung: „Sagen wir: es herrscht eigentlich eine Geometrie G, aber wir messen eine Geometrie G´, so ist damit zugleich eine Kraft K definiert, welche den Unterschied zwischen G und G´ bewirkt. Für die Größe einer Kraft bedeutet die Geometrie G den Nullpunkt, von dem aus sie gemessen wird.“[155] Die mathematische Beschreibung davon ist: $G'_{ik} + F_{ik} = G_{ik}$.
Die Konventionalität liege in der Bestimmung, ob die Kraft F_{ik} als Null angenommen werden soll oder nicht. Nun jedoch wendet Grünbaum ein, dass F nicht als Null angenommen werden kann. Wenn G_{ik} und G'_{ik} proportional mit einem Faktor ungleich 1 sind, dann unterscheidet sich die Metrik der beiden Tensoren nur in der Wahl der Einheit, aber die Kongruenz bleibt beibehalten, wie eben auch bei der Umrechnung von Grad Celsius zu Grad Fahrenheit. In diesem Fall einer Proportionalität von G_{ik} und G'_{ik} kann F_{ik} nicht Null sein.[156]

Die Probleme an einer metaphorischen Erwähnung von Universalkräften in Reichenbachs Kongruenzdefinition lassen sich in drei Argumenten[157] zusammenfassen:

1. Die Formulierung Reichenbachs neuer Kongruenzdefinition von starren Stäben, bei der von Deformationen durch universelle Kräfte gesprochen wird,

[153] Klein, *Konventionalismus und Realismus*, 116.
[154] Grünbaum, *space and time,* 85.
[155] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre,* 46.
[156] Grünbaum, *space and time,* 88.
[157] Grünbaum, *space and time,* 89.

hat zur fehlerhaften Annahme angeregt, dass solche Definitionen haltlos sind, weil sie angeblich von einer *Ad-hoc-Hypothese* in Form von nicht-vernachlässigbaren Universalkräften bedingt sind. Das heißt anders ausgedrückt, von einer gemessenen Kongruenzdifferenz schließt man auf eine nicht nachweisbare Hilfshypothese, um die eigentliche Theorie zu stützen und um kritischen Argumenten zuvor zu kommen.

2. In Reichenbachs Erklärung, wonach die Kongruenzdefinition für die Erforschung räumlicher Geometrie innerhalb eines Gravitationsfeldes genutzt werden könne, erhält der Ausdruck *Universalkräfte* sowohl eine wörtliche als auch eine metaphorische Bedeutung. (Die wörtliche Bedeutung von Universalkraft ist die konkrete Gravitationskraft, die metaphorische eine universelle Kraft an sich, mitunter unbekannt.) Die fehlende Differenzierung dieser beiden Bedeutungen ergibt eine nur scheinbare kontradiktorische Formulierung zur herkömmlichen Kongruenzdefinition.
3. Weil die Veränderung der Krümmung eines Raumes sich als Alteration im Kongruenzverhalten transportierter starrer Stäbe zeigen würde, spricht Reichenbach von Körpern, die in einem Raum transportiert wurden, in dem eine Universalkraft herrscht. Wie bei Punkt 2 steht die Verschmelzung dieses konkreten Sinnes mit dem metaphorischen im paradoxen Verhältnis zur Definition der Starrheit.

Zu 1) Wenn eine Kongruenzdefinition einen empirischen Inhalt hat, so dass sie sich in jenem faktischen Bezug von herkömmlichen Kongruenzdefinitionen unterscheidet, dann wäre es richtig, von dieser Kongruenzdefinition als einer Ad-hoc-Hypothese zu sprechen, nämlich in dem Fall, wenn eine erwiesenermaßen ungerechtfertigte Annahme von zugeordneten Tatsachen bestehe. Wenn aber die Zuordnungen in räumlichen Kongruenzdefinitionen, etwa in der Form von nicht-übereinstimmenden Intervallen, nicht empirisch sondern konventionell sind, dann ist weder die herkömmliche noch irgendeine alternative Kongruenzdefinition eine Ad-hoc-Hypothese. Daher kann die Bevorzugung einer neueren Definition gegenüber einer herkömmlichen nicht mehr ad hoc sein, als die Umstellung von Zentigrad zu Fahrenheit-Thermometer oder von kartesischen zu Polarkoordinaten. „As well say that a change of the units of length is ad hoc.”[158] Indem Reichenbach eine alternative

[158] Grünbaum, *space and time,* 90.

Kongruenzdefinition mithilfe der Metapher der Universalkräfte formuliert, riskiert er, diesen metaphorischen Sinn allzu wörtlich auszudrücken. Und unterliegt man erstmal diesem Missverständnis, dann sieht man stillschweigend die herkömmliche Kongruenzdefinition als faktisch wahr an und meint berechtigt, neue Kongruenzdefinitionen als Ad-hoc-Hypothesen ablehnen zu können, mit dem Hinweis, dass diese ja die ad hoc Zuordnungen der konkreten Universalkräfte mit einschließen.

Zu 2) Hinsichtlich der Geometrie in einem Gravitationsfeld als konkretes Beispiel einer Universalkraft bezieht sich Grünbaum auf ein Reichenbachzitat: „Wir haben früher die Unterscheidung universeller und differentieller Kräfte kennen gelernt; diese Begriffsbildung wird jetzt wichtig, weil in der Gravitation der Typus einer universellen Kraft vorliegt. In der Tat wirkt sie auf alle Körper in gleicher Weise; es ist ja gerade die Bedeutung der Gleichheit von schwerer und träger Masse, diese Tatsache physikalisch zu formulieren."[159]

Grünbaum versteht unter einem Gravitationsfeld ebenso ein Beispiel für eine Universalkraft im konkreten Sinne. Doch gibt es Gravitationserscheinungen, wie z.B. das Biegen eines elastischen Balkens, die mehr einer differentiellen Kraft gleichen. Eine Holzplatte biegt sich stärker als eine Stahlplatte. Reichenbachs Definition einer Universalkraft war jedoch, sie wirke auf alle Materialien gleich, was sich nun als Widerspruch darstellt der nur aufgehoben wird, wenn man entweder die Gravitation als differentielle Kraft ansieht, Dann jedoch fehlt wiederum ein wörtliches Beispiel einer Universalkraft für die Kongruenzdefinition, und der Begriff wird metaphorisch verstanden, oder man löst die Differenz von differentieller und universeller Kraft auf.

Eben am Beispiel der Gravitationskraft zeigt sich, dass sich eine konkrete Kraft nicht entweder bloß als universelle oder als differentielle Kraft kategorisieren lässt.[160]

Es stellen sich zwei Fragen:

1. Hat Gravitation, als eine Universalkraft im konkreten Sinne, einen Einfluss auf die räumliche Geometrie?
2. Wenn in *Anwesenheit* eines Gravitationsfeldes die räumliche Kongruenzdefinition abhängig ist von einer Universalkraft im metaphorischen Sinne, wie verhält sie sich in der Abwesenheit eines solchen?

[159] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre,* 301.
[160] Grünbaum, *space and time,* 92.

Die Sonne ist in der Relativitätstheorie ein Gravitationsfeld im konkreten Sinne einer Universalkraft, welche die räumliche Geometrie beeinflusst. In der Nähe der Sonne wird das Kongruenzverhalten eines üblichen transportierten starren Stabes objektiv beeinflusst. Wie es sich aber verhält, wenn kein Gravitationsfeld vorliegt, zeigt sich in folgender Differenz[161]:

I. Relativ zur Kongruenzdefinition eines herkömmlichen starren Stabes ist die räumliche Geometrie unter Einfluss eines Gravitationsfeldes nicht euklidisch (im Gegensatz zur Physik vor der Relativitätstheorie), sehr wohl aber euklidisch in der Abwesenheit eines Gravitationsfeldes.
II. Die Geometrie in einem Gravitationsfeld ist euklidisch wenn, und nur wenn, die übliche Kongruenzdefinition ersetzt wird durch eine, die die Länge des Stabes entsprechend zu seiner Position oder Orientierung variiert. Ansonsten ist sie nur euklidisch, wenn kein Gravitationsfeld vorherrscht.

Gegenwärtig lässt sich also nur denken, die Kongruenz sei eine Frage der Konvention, wenn man sich eine physikalische Anordnung vorstellt, in der kein Gravitationsfeld wirkt. Daher ist es zulässig anzunehmen, dass die herkömmliche Kongruenzdefinition *in* einem Gravitationsfeld als Basis für die Bestimmung der räumlichen Geometrie gilt.

Da Reichenbach in seiner Kongruenzdefinition den metaphorischen Begriff *Universalkraft* verwendet, ermöglicht er den ungültigen Schluss, dass ein starrer Stab unter Einfluss einer spezifischen Universalkraft (im konkreten Sinne etwa Gravitation) nicht als vollkommen frei von deformierenden Universalkräften (im metaphorischen Sinne) betrachtet werden könne, und daher diese Definition nicht als Kongruenzstandard dienen kann. Diese Verschmelzung des konkreten und metaphorischen Sinnes von *Universalkraft* im Kontext einer Theorie, welche die Kontinuität des Raumes annimmt, ergibt den irrtümlichen Glauben, dass in der Relativitätstheorie die herkömmliche Kongruenzdefinition des Raumes nicht lückenlos für ein Gravitationsfeld angenommen werden kann.[162]

All jenen, die wegen der Metapher in Reichenbachs Kongruenzdefinition zu falschen Schlussfolgerungen gelangten, etwa Ernest Nagel, zitiert Grünbaum Reichenbachs eigene Widerlegung: „Wir sprechen nicht von einer Änderung der Messkörper durch

[161] Grünbaum, *space and time,* 92.
[162] Grünbaum, *space and time,* 93.

das Gravitationsfeld, sondern wir nennen die Messkörper trotz des Gravitationseinflusses *frei von deformierenden Kräften*."[163]

Zu 3) Auf die gleiche Weise wie beim eben beschriebenen Fall der Gravitation behauptet Grünbaum, dass wenn Kongruenz konventionell ist, dann ist man frei die herkömmliche Definition davon zu gebrauchen, ohne Bezug darauf zu nehmen, ob die Geometrie eine mit variabler Krümmung ist oder nicht. Denn es ist ersichtlich, dass bei einer Vermeidung des metaphorischen Gebrauchs von *Universalkraft*, die Kongruenzdefinition keine Information davon braucht, ob die erhaltene Geometrie eine konstante Krümmung hat oder nicht. „Again the risk of confusion can be eliminated by dispensing with the metaphor in the congruence definition".[164]

Kritik an der Theorie der Relativität der Geometrie[165]

Im zweiten Abschnitt seiner Kritik an Reichenbachs Raumphilosophie wendet sich Grünbaum gegen die Theorie der Relativität der Geometrie. Seine Untersuchung setzt er an folgenden Überlegungen Reichenbachs an, welche bereits oben näher ausgeführt wurden: „Wenn man die Zuordnungsdefinition der Kongruenz ändert, bekommt man eine andere Geometrie. Diese Tatsache nennt man die Relativität der Geometrie."[166] „Man stoße sich nicht daran, dass hier die Zuordnungsdefinition der Raummessung durch die Festsetzung einer Geometrie vorgenommen wird. […] Man kann eine Zuordnungsdefinition auch dadurch einführen, dass man das Resultat vorschreibt, das bei den Messungen herauskommen soll. „Der Längenvergleich ist so einzurichten, dass als Resultat die euklidische Geometrie herauskommt" [sic!] – das ist eine mögliche Form für eine Zuordnungsdefinition."[167]

1. Grünbaum interpretiert Reichenbachs Behauptung dahingehend, dass eine gegebene metrische Geometrie *eindeutig* eine dazu passende Kongruenzdefinition determiniert. Dem widerspricht Grünbaum. Neben der herkömmlichen Kongruenzdefinition, welche dieselbe Länge an jedem Ort für den Maßstab voraussetzt und dadurch eine euklidische Geometrie auf einer

[163] Reichenbach, *Phil-Raum,* S. 294/302.
[164] Grünbaum, *space and time,* 96.
[165] Vgl.: Grünbaum, *space and time,* 98ff.
[166] Reichenbach, *Aufstieg,* 232.
[167] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre,* 54.

gewöhnlichen Oberfläche ermöglicht, gibt es unendlich viele weitere Kongruenzdefinitionen die andere Eigenschaften haben. Diese ergeben zwar unter Umständen ebenfalls eine euklidische Geometrie für die gefragte Oberfläche, aber sie sind inkompatibel mit der herkömmlichen Kongruenzdefinition, da sie etwa die Länge des Maßstabes von seiner Orientierung und/oder seiner Position abhängig machen. Der Anspruch einer euklidischen Geometrie determiniert nicht eindeutig *eine* spezifische Kongruenzdefinition, bedeutet aber eine Unendlichkeit an unpassenden Kongruenzen. Was Grünbaum damit ausdrückt ist, dass eine bestimmte Kongruenzdefinition die Metrisierung zwar eindeutig determiniert, nicht aber umgekehrt eine Metrisierung eine eindeutige Kongruenzdefinition.[168]

Die Annahme, dass eine Änderung der Zuordnungsdefinition der Kongruenz zwangsläufig eine andere Geometrie ergibt, ist falsch, was Grünberg auch mit einem Beispiel belegt.[169] Wie schon im vorigen Kapitel besprochen, garantiere die Einführung des Begriffs der Universalkraft im Zusammenhang einer alternativen Kongruenz ebenso wenig eine Änderung der Geometrie. Stattdessen ist die korrekte Formulierung der Relativität der Geometrie, dass die Kongruenzdefinition lediglich die Geometrie determiniert, jedoch nicht umgekehrt. Und dass jede Kongruenzdefinition, die in einer Geometrie G' ausformuliert wurde, jederzeit durch unendlich vielen passenden anderen Kongruenzdefinitionen ersetzt werden kann, und sich eben damit eine andere Geometrie G ergibt.

Grünbaum schlägt daher eine Änderung der Kongruenzdefinition vor, die folgende Charakteristika enthält:

I. Sie ergibt ein im Vergleich zu der herkömmlichen Kongruenzdefinition alternatives System von Geodäten.
II. Sie bedingt eine abweichende Kongruenzkategorie der Winkel.

So schließt das erste Argument gegen Reichenbachs Geometrie: Eine willkürliche Änderung in der Kongruenzdefinition betreffend der Liniensegmente oder auch der Winkel führt nicht zwangsläufig zu einer differenten Geometrie.[170]

[168] Grünbaum, *space and time,* 101f.
[169] Grünbaum, *space and time,* 98f.
[170] Vgl.: Grünbaum, *space and time,* 103.

2. Im zweiten Argument gegen Reichenbachs Theorie der Relativität der Geometrie bezieht sich Grünbaum auf die Abhängigkeit der Zuordnungsdefinition des starren Körpers von der Geometrie. Als Reaktion auf Hugo Dinglers These, dass der starre Körper eindeutig von der Geometrie bestimmt werde, stimmt Reichenbach insgeheim darin überein, dass die Kenntnis der Geometrie ausreicht, um die Kongruenz zu definieren und er bestreitet lediglich Dinglers These, dass diese die hinreichende Bedingung ist, um auch den starren Körper zu bestimmen.[171]

Carnap entwarf in *Der Raum* die Überlegung, dass zwischen den drei Variablen der Geometrie (1), der Kongruenzdefinition (2) und der Metrisierung mittels starren Stabes (3) eine gegenseitige Abhängigkeit besteht, so dass wenn man zwei Seiten kennt, sich daraus die dritte ergibt: „T, R und M stehen in einem […] Funktionalverhältnis zu einander, dass, wenn zwei von ihnen gegeben sind, die dritte Bestimmung dadurch eindeutig mitgegeben ist.“ [172] *T* bezeichnet hierbei den Tatbestand der Erfahrung, *R* das metrische Raumgefüge und *M* die Maßsetzung. Grünbaum zeigte nun jedoch, dass die Abhängigkeitsbeziehung zwischen der Kongruenzdefinition und der Geometrie einseitig ist und somit die Information über die Geometrie weder die Information der Kongruenzdefinition eindeutig beinhaltet, noch die der Metrisierung des starren Stabes.

3. Mit diesem Ergebnis der Mehrdeutigkeit der Kongruenzdefinition ist zu sehen, dass die Aussage Reichenbachs über die Geometrieabhängigkeit einer (Universal)Kraft F ungültig ist: „Sagen wir: es herrscht eigentlich eine Geometrie G, aber wir messen eine Geometrie G´, so ist damit zugleich eine Kraft K definiert, welche den Unterschied zwischen G und G´ bewirkt.“[173]

Anstatt *einen* metrischen Tensor eindeutig zu definieren, determiniert die Geometrie G eine unbestimmte Vielheit solcher Tensoren, die eben nicht gegenseitig abhängig sind.
“But since $F_{ik} = g_{ik} - g'_{ik}$ (where the g'_{ik} are furnished by the rod prior to its being regarded as *deformed* by any universal forces), the failure of G to determine a tensor

---

[171] Grünbaum, *space and time*, 103f.
[172] Carnap, *Der Raum*, 54.
[173] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 46.

g_{ik} uniquely (up to an arbitrary constant) issues in there being as many different universal forces as there are different tensors g_{ik} in the class alpha determined by G."[174] Im Gegensatz zu Reichenbach sieht Grünbaum letztlich viele verschiedene Möglichkeiten, in denen der Maßstab als deformiert gelten kann und dennoch dieselbe Geometrie G ergibt.

Zusammenfassung der Kritik von Grünbaum an Reichenbach

Die zentralen Argumente gegen die Philosophie der Geometrie Reichenbachs sind:

I. Die Verwendung des Begriffes der *Universalkraft* in der Kongruenzdefinition ohne zwischen einem konkreten und metaphorischen Sinn zu unterscheiden.
II. Die Gefahr der Deutung als Ad-hoc-Hypothese wenn eine Kongruenzdefinition einen nicht nachweisbaren empirischen Bezug hat.
III. Die Unterscheidung zwischen Universalkraft und Differenzialkraft führt bei der physikalischen Zustandsgröße des Gravitationsfeldes zu Widersprüchen.
IV. Eine Kongruenzdefinition bestimmt eindeutig eine Geometrie. Nicht aber umgekehrt; eine Geometrie bestimmt nicht nur *eine* mögliche Kongruenzdefinition.
V. Der Zusammenhang zwischen einer Geometrie, ihrer Kongruenzdefinition und ihrer Metrik ist nicht gegenseitig abhängig.

Dies ist im Wesentlichen die Zusammenfassung der Kritik von Grünbaum an Reichenbachs Philosophie der Geometrie des Raumes. Grünbaum betont allerdings mit Respekt, dass diese Kritik nicht die Substanz von Reichenbachs Philosophie der Geometrie angreift, etwa die Bedeutung einer Zuordnungsdefinition an sich, welche er als besonders wertvollen Beitrag zu der Debatte um die Geometrie des Raumes sieht.

Im folgenden Abschnitt will ich die Reaktion von Andreas Kamlah als Verteidiger Reichenbachs Philosophie skizzieren, bevor ich zu Grünbaums nachfolgendem Kritiker Michael Friedman übergehe.

[174] Grünbaum, *space and time,* 105.

Reaktionen zu Grünbaums Kritik von Andreas Kamlah

1. **Zu Argument I**: Die Universalkraft als metaphorischer Begriff sei unnötig.[175]

Kamlah äußert sich zum Argument Grünbaums, dass der Begriff *Universalkraft* eine metaphorische Bedeutung bei Reichenbach habe, mit Augenmerk auf folgende Worte Grünbaums: „Since a rod undergoes no kind of objective physical change in the supposed ‚presence' of universal forces, that ‚presence' signifies no more than that we assign a different length to it in different positions or orientations by convention. Hence […] reference to universal forces as ‚causes' of ‚changes' in the transported rod can have no literal but only *metaphorical* significance."[176]
Kamlah merkt zu diesem Argument an, dass es kein Kriterium für *objektiv physikalische* Veränderungen geben kann. Nach Reichenbach gibt es nur eine Veränderung in Bezug auf eine *vorgegebene* Metrik, aber nicht zu einer absoluten. „*Es gibt keinen übergeordneten Standpunkt, von dem aus man über ‚Objektivität' urteilen könnte*."[177] Kraft ist im reichenbachschen Sinne die Ursache für eine geometrische Veränderung. „Darum ist die Existenz einer Kraft von der Zuordnungsdefinition der Geometrie abhängig."[178]
Wenn man also eine Kraft nicht als etwas Absolutes definiert, sondern als Ergebnis der geometrischen Zuordnungsdefinition, dann ist die Erwähnung einer solchen Kraft in der Zuordnungsdefinition der Vollständigkeit wegen notwendig.

2. **Zu Argument IV*:*** Das Problem der Eindeutigkeit der Zuordnungsdefinition.[179]

Reichenbachs Zuordnungsdefinition des starren Körpers erfuhr große Aufmerksamkeit und viel Kritik. Zustimmung kam von Carnap, auch wenn dieser nicht von *Definition* schrieb sondern von *Regel* oder *Prinzip der Elimination*.[180] Kamlah bezeichnet die Definition des starren Körpers als Metaregel, die eine Rahmenvorschrift oder ein Auswahlprinzip für Messverfahren ist. „So kann

[175] Vgl.: Kamlah, *Erläuterungen*, 401.
[176] Grünbaum, *space and time*, 84f.
[177] Kamlah, *Erläuterungen*, 401.
[178] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 46.
[179] Vgl.: Kamlah, *Erläuterungen*, 396ff.
[180] Rudolf Carnap, *Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaft*, hrsg. v. Martin Gardner, aus dem Amerikan. v. Walter Hoering, New York 1969, 168ff.

Reichenbach die räumliche Abstandsfunktion festlegen, ohne sich mit Einzelangaben über Herstellung guter Realisate des starren Körpers abgeben zu müssen.“[181]

H. Putnam machte jedoch auf ein Problem bei der Eindeutigkeit der Zuordnungsdefinition des starren Körpers aufmerksam, das auch Grünbaum später kritisierte. Es stellt sich nämlich die Frage, „[…] ob Reichenbachs Auswahlregel bereits eine so enge Auswahl unter den Messverfahren trifft, dass damit die Abstandsfunktion eindeutig definiert ist“[182], also ob damit eine Änderung in der Kongruenzdefinition zwangsläufig zu einer anderen Geometrie führt, was der Kern der Theorie der Relativität der Geometrie ist.

Das Auswahlprinzip Reichenbachs hat seinen entscheidenden Moment im eindeutigen Erkennen von differentiellen Kräften. Reichenbach war überzeugt von der Eindeutigkeit seiner Definition, da er meinte, differentielle Kräfte immer nachweisen zu können und man somit eindeutig erkennen kann, wann es sich um einen starren Körper handle.[183]

Zur Wiederholung: Reichenbach definiert eine Universalkraft durch zwei Kriterien[184]:

a) sie wirkt auf alle Materialien gleich,
b) es gibt keine isolierenden Wände gegen sie.

Carnap meinte, Bedingung b ist bereits in a enthalten und damit überflüssig, denn man kann einen Maßstab mit einer abschirmenden Hülle wie einen anderen behandeln.[185]

Entgegen Reichenbachs Annahme, dass differentielle Kräfte grundsätzlich durch Differenzeffekte eindeutig nachweisbar sind, lassen sich nur Änderungen der differentiellen Kräfte nachweisen, nicht aber deren absoluter Wert.

Dazu gibt Kamlah ein Beispiel: In einer fiktiven Welt gibt es 2 Körper (bestehend aus Eisen und Kupfer) mit den Eigenschaften gleich lang zu sein, wenn sie senkrecht zur Vorzugsrichtung stehen und verschieden lang, wenn sie horizontal dazu liegen.

Wird nun bei einer Drehung in die Vorzugsrichtung der Kupferstab länger oder der Eisenstab kürzer? Verschwindet weiters das Verzerrungsfeld in der Vorzugsrichtung oder senkrecht dazu? Beide Fragen sind unentscheidbar. Die eindeutige Zerlegung

[181] Kamlah, *Erläuterungen,* 396.
[182] Kamlah, *Erläuterungen*, 397.
[183]Vgl.: Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre,* 40-41.
[184] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre,* 29.
[185] Carnap, *Philosophie der Naturwissenschaft*, 169.

des Verzerrungsfeldes in einen differentiellen und einen universellen Anteil ist unmöglich.

Bei dieser Mehrdeutigkeit setzt die Kritik von H. Putnam an. Er versucht auf universelle Kräfte in der Theorie vollkommen zu verzichten und nur differentielle Kräfte zu berücksichtigen. Die Demonstration der Beliebigkeit und Mehrdeutigkeit von Reichenbachs Definition des starren Körpers gelingt Putnam, indem er physikalische Größen umdefiniert.[186]

Eine physikalische Größe, die umdefiniert werden kann, ist etwa die Temperatur. Man kann eine Temperaturdefinition wählen, bei der die Schmelzpunkte von Körpern ortsabhängig sind. So eine Temperaturdefinition wäre nicht verboten, doch durch so eine Umdefinierung werden ganz willkürlich universelle Verzerrungen zu differentiellen gemacht. Die Definition der universellen Kräfte von Reichenbach lässt dies zu. Grünbaum trat daher für eine Überarbeitung der Definition des starren Körpers ein, indem ihr Klauseln bzw. Zusatzbedingungen hinzugefügt werden (siehe oben). Kamlah unterstützt diesen Vorschlag Grünbaums und suchte nach Möglichkeiten, die Eindeutigkeit der Definition des starren Körpers noch zu retten. Er schlägt etwa die Bedingung vor, dass in Hypothesen über differentielle Kräfte nur Universalien vorkommen dürfen, also keine Eigennamen oder empirische Bezeichnungen. Zwar ist dies immer noch kein Eindeutigkeitsbeweis für den starren Körper, aber es konnte damit die Duhem-These widerlegt werden, die Grünbaum in seiner Kritik bedachte.[187]

3. **Zu Argument V**: Die Vorgabe der Geometrie bestimme eindeutig eine Metrik.[188]

Grünbaum zeigte, dass die Aussage, die konventionelle Vorgabe der Geometrie bestimme bereits eindeutig eine Metrik, falsch ist. Er findet diese Aussage bei Reichenbach[189] und auch bei Carnap. Kamlah bezweifelt jedoch, dass Grünbaum Reichenbach richtig interpretiert, denn dieser zeigte in §14 von *Philosophie der Raum-Zeit* am Beispiel des *Kugelgebüsches* von J. Wellstein, dass die mathematische Struktur der euklidischen Geometrie auch sehr andersartige Metriken

[186] Kamlah, *Erläuterungen*, 399.
[187] Kamlah, *Erläuterungen*, 400.
[188] Vgl.: Kamlah, *Erläuterungen*, 409.
[189] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 50.

des Raumes zulässt.[190] Damit hat Reichenbach demonstriert, dass ihm bewusst war, dass die Wahl einer Geometrie mit mehreren alternativen Metriken verträglich ist. Kamlah schreibt: „Wir haben hier ein ausgezeichnetes Beispiel dafür vor uns, dass Reichenbach oft missverständliche Formulierungen verwendet, die nicht aus dem Zusammenhang seines gesamten Buches herausgerissen werden dürfen.“[191] Das mag zwar Reichenbach entlasten, das Argument von Grünbaum behält jedoch an sich seine Gültigkeit.

Friedmans Kritik an Reichenbachs Philosophie der Geometrie[192]

Michael Friedman, Professor für Philosophie an der Universität Stanford (USA), spezialisierte sich auf die Philosophie der Naturwissenschaften und Kant. Sein Buch *Foundations of Space-Time Theories: Relativistic Physics and the Philosophy of Science* von 1983 gewann besondere Aufmerksamkeit, weil er darin, im Gegensatz zu der relationalistischen Richtung von Reichenbach und Grünbaum, einen substantialistischen Standpunkt einnimmt.[193]

Zum Konventionalismus[194]

Die Ansicht des Konventionalismus über die Relativität der Geometrie und der Metrik lässt laut Friedman offene Fragen über. Einer der Hauptansatzpunkte für den Konventionalismus ist der erkenntnistheoretische Zweifel bezüglich der Wahl von konkurrierenden Theorien, wie bei den euklidischen und nichteuklidischen Geometrien. Das Problem dabei ist die unzureichende Bestimmtheit, also Unterdeterminiertheit der Prinzipien. Bei der Frage, welche Wahl die Richtige ist, ist es *eine* Möglichkeit, konkurrierende Theorien als gleichberechtigt zu bewerten, oder aber, die Entscheidung von einer übergeordneten Wahl, etwa einer

[190] Kamlah, *Erläuterungen*, 409.
[191] Ebd.
[192] Friedman, *Foundations*, 294ff.
[193] Referenz dazu ist die Diskussion zwischen Leibniz und Samuel Clarke, wonach der Relationalismus nach Leibniz eine Abhängigkeit des Raumes von seinen beinhaltenden Objekten annimmt und der Substantialismus nach Newton und Clarke den Raum unabhängig von seinen Objekten definiert.
[194] Friedman, *Foundations*, 264ff.

Zuordnungsdefinition, abhängig zu machen. Das Wahrheitskriterium ist dann die Pragmatik, die Einfachheit, nicht aber die Wahrheit.
Die erkenntnistheoretischen Argumente[195] für einen konventionalistischen Standpunkt lassen sich nach Friedman in zwei Ebenen ordnen:
Auf der unteren Ebene, von Friedman als *lower-level* bezeichnet, steht die induktive Überlegung, wonach bei jeder empirischen Theorie nur ein begrenzter Rahmen an Verifizierbarkeit möglich ist und somit nicht festgestellt werden kann, ob außerhalb der Beweisbarkeit der Theorie widerlegende Einflüsse auftreten, wie etwa die Universalkräfte in Reichenbachs Kongruenzdefinition. Reichenbach bezeichnet diese Unzulänglichkeit als technische Unmöglichkeit.[196] Auf der höheren Ebene, bzw. auf einem *higher-level* der Unbestimmtheit, steht die prinzipielle Unmöglichkeit des Nachweises, etwa in der Geometrie-Debatte bei der Annahme, es gäbe an sich keine wahre Geometrie. Diese Differenz wird auch als *theoretische Unterdeterminiertheit* einerseits und *empirische Äquivalenz andererseits* bezeichnet.
So stellt sich auch für Friedman die Frage: „What justifies us in selecting one particular alternative from a class of mutually incompatible but empirically equivalent theories as the correct theory?"[197]

Die theoretische Unterdeterminiertheit, bzw. die technischer Unmöglichkeit der Verifikation, verlangt für die empirische Generalisierung methodologische Kriterien, wie etwa der Simplizität und der Sparsamkeit. Und es gibt nicht nur in hypothetischen Überlegungen empirisch äquivalente Theorien, die mittels empirischer Überprüfung ununterscheidbar sind. Diese Existenz empirisch äquivalenter Theorien führt zu dem eben angesprochenen epistemologischen Problem. Akzeptiert man diese Theorien als gültig, so muss ein methodologisches Kriterium formuliert werden, das geeignet ist, die Wahl gegenüber alternativen Theorien auszuzeichnen, und man muss Gründe angeben, warum solch ein Kriterium einen gültigen Wahrheitsanspruch hat. Sobald dieses epistemologische Problem aber erkannt wird, ist die konventionalistische Strategie, bzw. *prima facie,* als erste Reaktion verlockend. Der Konventionalismus löst dieses epistemologische Problem jedoch damit nicht, sondern er muss sich ebenfalls dem Wahrheitsanspruch stellen.

[195] Friedman, *Foundations,* 266.
[196] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre,* 47.
[197] Friedman, *Foundations,* 267.

Tatsächlich ist der einzig wahrnehmbare Unterschied zwischen den zwei Fällen, so Friedman, dass das induktive Kriterium für theoretische Unterdeterminiertheit als passend im Sinne Reichenbachs Geometrie-Relativität angegeben werden kann, während das theoretische, methodologische Kriterium für die empirische Äquivalenz dazu nicht in der Lage ist. Doch die Kriterien *Simplizität* und *Sparsamkeit* als Begründung sind in zweifacher Weise unzureichend: Nicht nur, dass sie keine Verbindung zur induktiven Methode und den Tatsachen herstellen, sie hängen zudem von der Vermutung einer sicheren Basis von Beobachtungssätzen ab. [198]

Dennoch, auch wenn der Konventionalismus keine notwendige Strategie ist, ist er eine mögliche; er kann zumindest einige Fälle von unterdeterminierter Theoriewahl lösen. Diese Möglichkeit ist nicht bloß abstrakt, denn die konventionalistische Strategie wurde explizit in der Entwicklung der Relativitätstheorie verwirklicht: Sie spielt dabei eine zentrale Rolle in der Weise, wie die Relativitätstheorie jene zwei Fälle empirischer Äquivalenzen (wie oben beschrieben) handhabt.

Vom aktuellen Betrachtungsstandpunkt aus ist es genau diese Anwendung realer Physiktheorien, welche der konventionalistischen Strategie ihre große Bedeutung und Wichtigkeit gibt.

Kongruenz und physikalische Geometrie[199]

In dem Kapitel über *Kongruenz und physikalische Geometrie* fasst Friedman die Thesen Reichenbachs und Grünbaums zusammen und nimmt dann eine Gegenposition ein. Reichenbachs und Grünbaums Positionen gelten für Friedman als konventionalistisch, da sie die Geometrie des physischen Raumes in relativer Beziehung zur Längenmessung bringen. Der physische Raum hat danach an sich keine Geometrie, sondern erhält eine je nach Wahl der Messverfahren. „It is metrically amorphous."[200], zitiert Friedman Grünbaum. Die Methoden für die Längenmessung seien ebenfalls konventionalistisch, denn es gibt keine Sicherheit für die Konstanz der Messinstrumente.

[198] Friedman, *Foundations*, 276f.
[199] Friedman, *Foundations*, 294ff.
[200] Zit. n. Friedman, *Foundations*, 294.

Die Relativitätstheorie basiert auf einer Konzeption äquivalenter Beschreibungen. So etwa wird es in der speziellen Relativitätstheorie abgelehnt, eine wahre und absolute Geschwindigkeit eines Objekts anzunehmen, da diese relativ zum jeweilig willkürlich gewählten Inertialsystem bestimmt wird. Ein Stab hat keine wahre Länge, stattdessen kann man von einer Varietät unterschiedlicher und gleichgültiger Längen wählen, ebenfalls je nach Wahl des Inertialsystems.
Diese Relativität des Inertialsystems ist für Vertreter des Konventionalismus wie für Reichenbach und Grünbaum, ein zentrales Argument für ihre Theorie und zeigte sich vor allem in der Kongruenzdebatte.

Zu Reichenbach

Bezugnehmend auf Reichenbachs Hügelmodell (siehe oben) ist es für Friedman evident, dass die Geometrie eines Raumes vollkommen abhängig von der Metrik dieses Raumes ist. Zu weit geht ihm jedoch der Schluss, dass auch die Methoden für die Längenmessung arbiträr sind.[201] Das populärste konventionalistische Argument für eine solche Willkürlichkeit ist epistemologischer Natur, nämlich dass es (a) unmöglich ist, rein durch Beobachtung Voraussagen über das Verhalten von Messinstrumenten zu tätigen und zu verifizieren. Diese These vertrat im Besonderen Reichenbach. Grünbaum wiederum versuchte, solch eine epistemologische Argumentation zu vermeiden, und führte (b) die Konventionalität der Metrik darauf zurück, dass es an sich kein *wahres* Maß von Längen gibt.
Zu a) Reichenbach schrieb: „Denken wir uns zwei Maßstäbe, die gleich lang sind. Sie werden auf verschiedenen Wegen an einen entfernten Ort gebracht, dort werden sie wieder aneinander gelegt und wieder als gleich lang befunden. Haben sie sich nun unterwegs nicht geändert? Das wäre zuviel behauptet. Als beobachtbare Tatsache kann man nur behaupten, dass die beiden Maßstäbe überall gleich lang sind, wo man sie miteinander vergleicht. Aber ob sie sich unterwegs nicht beide ständig dehnten oder zusammenziehen, kann man nicht wissen. Eine Dehnung, die alle Körper gleichmäßig betrifft, ist nicht erkennbar, weil es einen direkten Vergleich von einander entfernter Maßstäbe nicht gibt.“[202]

[201] Friedman, *Foundations,* 296.
[202] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre,* 33.

Für Friedman ergeben sich zwei Möglichkeiten: Entweder ist eine Oberfläche euklidisch und es gibt keine unnachweisbare Expansionskraft, somit behalten starre Stäbe ihre Länge beim Transport, oder diese Oberfläche ist nicht euklidisch und es herrscht eine Universalkraft vor, dann verändern starre Stäbe ihre Länge beim Transport. Diese beiden Theorien sind empirisch gleichwertig und nur von einer vereinbarten Zuordnungsdefinition abhängig, so Reichenbach: „Es handelt sich nicht um eine Frage der Erkenntnis, sondern der Definition. Ob ein Maßstab noch ebenso groß ist, wenn man ihn an einen anderen Ort transportiert, ist nicht erkennbar, sondern nur durch Definition festzulegen. Und dabei handelt es sich um eine Zuordnungsdefinition.“[203]

Friedman betont, dass ein Schluss von *einer* empirischen Äquivalenz auf eine generalisierte Theorie wie die der Relativität der Geometrie nicht zulässig ist. Und es gibt weiters gewisse Fälle, wie z.B. die Relativität der Erdbeschleunigung g (allgemeiner: der Gravitationsbeschleunigung), wo genau diese Folgerung gemacht wird.[204]

Damit stellt sich die Frage, ob Reichenbachs Theorie der empirisch äquivalenten geometrischen Systeme dieselbe Qualität hat, wie jene Theorien der Relativitätstheorie von der absoluten Geschwindigkeit c oder der Erdbeschleunigung g? Friedmans Antwort ist Nein.

Ein Beispiel veranschaulicht diese Überlegung:[205]

> Sowohl die newtonsche Gravitationstheorie als auch die klassische Elektrodynamik sind auf eine Metrik h bezogen und will man diese beiden Theorien vereinheitlichen, so geht das nur mit derselben Metrik h. Differenziert betrachtet soll S_h die euklidische Metrik h des physikalischen Raumes und T der Rest der Theorie der newtonschen Kinematik sein. Dann ist $[S_h \,\&\, T]$ nicht empirisch äquivalent mit $[S_{h'} \,\&\, T]$ wenn h' für jegliche nichteuklidische Metrik steht. Will man h mit h' ersetzen, dann muss man T korrigieren: nur $[S_h \,\&\, T]$ ist empirisch äquivalent mit $[S_{h'} \,\&\, T^F]$, wobei dann T^F die Universalkraft enthält.

Mit Rücksicht auf dieses Beispiel ergeben sich folgende Argumente: Erstens ist der Fall der physikalischen Geometrie anders als der Fall der absoluten Geschwindigkeit

[203] Ebd.
[204] Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre,* 265.
[205] Friedman, *Foundations,* 298f.

oder der Erdbeschleunigung, denn letztere Theorie hat variable Entitäten als Inhalt und nicht variable Rahmenbedingungen.

Und zweitens entsprechen diese beiden Fälle quantitativ unterschiedlichen Graden theoretischer Unnachweisbarkeit. Behauptungen zur absoluten Geschwindigkeit oder zur Erdbeschleunigung sind *stark* unverifizierbar, denn diese erzeugen keine empirischen Resultate, auch nicht in Verbindung mit dem Rest der relevanten Theorie.[206] Auf der anderen Seite sind Aussagen über die Geometrie des physikalischen Raumes nur *schwach* unverifizierbar, denn diese erzeugen zwar alleine keine empirischen Resultate, jedoch sehr wohl in Verbindung mit dem Rest der relevanten Theorie.[207]

Daher muss man, wie auch Reichenbach erkannte, *kompensatorische Angleichungen* bei der Theorie der Relativität der Geometrie durchführen, sofern man empirisch äquivalente Systeme von Geometrien plus Physik konstruieren will.

Reichenbach zustimmend schreibt Friedman, dass dann nur *G + F* nachweisbare Konsequenzen haben. Man kann nun *G* ändern indem man kompensatorische Angleichungen in *F* vornimmt. Dabei ist *G + F* empirisch äquivalent zu *G' + F'*, aber nicht zu *G' + F*. Was Reichenbach dabei nicht bedachte, ist, dass solche kompensatorische Angleichungen Theorien generieren, die zwar empirisch aber nicht *methodologisch* äquivalent sind. Ähnliche methodologische Erwägungen sprechen gegen die Verwendung jeglicher Arten solcher Universalkräfte.[208]

Dieses Problem erkennt Friedman als zentralen Angriffspunkt an Reichenbachs Theorie, wonach eine prinzipielle Aufgabe der Erkenntnistheorie darin besteht, genau aufzuzeigen, welche die konventionellen Elemente in einer wissenschaftlichen Theorie sind, also jene Sätze der Wissenschaft auszumachen, die willkürlichen Definitionen entsprechen und als Ergebnis keine empirischen Inhalte mehr haben.

„Ich nenne Entscheidungen, die Konsequenzen einer anderen [willkürlichen, Anm. d. Verf.] Entscheidung sind, ihre Folgeentscheidungen. […] Die Aufdeckung solcher Verknüpfungen ist eine wichtige Aufgabe der Erkenntnistheorie […].“[209]

1. Bei einer solchen Ansicht ist es essentiell, dass das Kriterium für Konventionalität nicht holistisch ist, dass also spezielle Aussagen und

---

[206] Der Wert der Erdbeschleunigung schwankt regional je nach Zentrifugalkraft, Erdabplattung und Höhenprofil. Nach internationaler Konvention wurde ihr Standardwert auf g = 9,80665m/s^2 festgelegt. Diese willkürliche Festlegung ändert dabei nichts an der Resttheorie der klassischen Mechanik.

[207] Friedman, *Foundations,* 299.

[208] Friedman, *Foundations,* 300.

[209] Reichenbach, *Erfahrung und Prognose,* 8.

Sätze isoliert verifiziert oder falsifiziert werden können (In Abgrenzung zur Duhem-Quine-These).

2. Verwendet man den Gesichtspunkt der Unverifizierbarkeit als das Kriterium für Konventionalität, dann muss diese eine *starke* Unverifizierbarkeit sein. Es muss einen definitiven, speziellen Satz geben der variiert, während der Rest der Theorie unveränderlich ist. Wenn alles eine Frage von *schwacher* Unverifizierbarkeit ist, wo dann *[S & T]* empirisch äquivalent mit *[¬S & T']* ist, dann ist S ebenso konventionell wie T. Bei einer solchen Annahme sind alle theoretischen Sätze gleich konventionell.

Zur Wiederholung der Satz ϑ: „Sei irgend eine Geometrie G' gegeben, welche die Messkörper befolgen; dann können wir immer eine universelle Kraft K so wirksam denken, dass die Geometrie eigentlich die Form einer beliebig zu wählenden Geometrie G hat und die Abweichung von G auf einer universellen Deformation der Messkörper beruht."[210] Empirische Äquivalenzen zu *G + F* erhalte man mittels Variierung von *F* oder *G*, so Reichenbach.[211]
Dazu Friedman: „Unlike, such statements do not even look like definitions. But statements about universal forces have no special status either."[212] Soweit die Detailkritik Friedmans an den konventionalistischen Elementen in Reichenbachs Philosophie der Geometrie.

Friedman zufolge hat Reichenbach in seiner Entwicklung seine Theorie des Konventionalismus verschärft. In *Die Philosophie von Raum und Zeit* nahm er eine deutlich fundamentalere und empirischere Position ein, als im Gegensatz zu seinen früheren Jahren.[213] Dies zeigte er vor allem in der Ablehnung Kants Apriori-Theorie und in dem Anspruch, nur beobachtbare Ereignisse seien Tatsachen.[214] Dabei war sein früherer konventionalistischer Standpunkt in *Relativitätstheorie und Erkenntnis apriori* explizit antiempiristisch. Etwa in der Überzeugung, dass die Differenz von *konventionell - faktisch* nicht mit der Distinktion von *theoretisch - beobachtbar* korrespondiere. Und dass bestimmte Theorieelemente, wie z.B. die Wahl des

---

210 Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 53.
211 Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 55.
212 Friedman, *Foundations*, 301.
213 Reichenbachs spätere Distanzierung vom extremen Konventionalismus spricht Friedman nicht an.
214 Reichenbach, *Raum-Zeit-Lehre*, 10.

Inertialsystems, willkürlich oder konventionell sind, andere Theorieelemente aber, z.B. die Wahl der Metrik, nicht.[215]

„Interestingly enough, Reichenbach´s earlier Kantian conventionalism fits the actual development of relativity theory much better than his later empiricist conventionalism."[216], so Friedman.

Zu Grünbaum[217]

Es gibt einen kategorischen Unterschied zwischen empirischer und genereller Äquivalenz von Theorien, bzw. zwischen theoretischer Unterdeterminiertheit und der Situation, zu wenig empirische Daten zur Verfügung zu haben. Die *theoretische Unterdeterminiertheit* bezeichnet das Problem der Wahl zwischen inkompatiblen, aber empirisch äquivalenten Theorien, wie beispielsweise zwischen der euklidischen und nichteuklidischen Geometrie.[218] Laut Friedman gelang es Reichenbach nicht, den Übergang von empirischer zu genereller Äquivalenz im Fall der Geometrien herzustellen. Sein empirischer Standpunkt verhinderte es ihm, diese Differenz zu erkennen, wie er auch die entscheidende Differenz zwischen *starker* und *schwacher* Unverifizierbarkeit nicht bedachte. Diese Differenz von empirischer und genereller Äquivalenz muss überwunden werden, so Friedman, denn auch wenn etwa Carsten Klein bei Reichenbach zwei Äquivalenzbegriffe erkennt, sieht Friedman diese Synonymie lediglich als notwendige Bedingung für *volle theoretische Äquivalenz* an.[219] Grünbaum erkannte, dass eine bloß empirische Äquivalenz unzureichend ist und dass man sich die Frage stellen muss, wenngleich unabhängig von Messvorgängen, ob es eine objektive physische Quantität von Länge gibt. Grünbaums Standpunkt ist, dass es keine solche objektive physische Quantität gibt und der physische Raum für sich keine metrischen Eigenschaften hat. Er schlussfolgert dies aus der Kontinuität des Raumes: Wäre der Raum *diskret* oder *granular,* gäbe es definierte Intervalle zwischen Raum-Atomen und Kongruenz wäre dann eine innewohnende Eigenschaft von Intervall-Paaren des Raumes. In einem *kontinuierlichen* Raum kann eine Distanz zwischen zwei Punkten nicht mit der Anzahl

[215] Vgl.: Friedman, *Foundations*, 301.
[216] Friedman, *Foundations,* 301.
[217] Vgl.: Friedman, *Foundations*, 301ff.
[218] Friedman, *Foundations,* 30.
[219] Klein, *Konventionalismus und Realismus*, 105.

der Punkte zwischen diesen definiert werden. Die Messverfahren sind nicht eingeschränkt auf eine unabhängig existierende Metrik und daher willkürlich oder konventionell.

Im Fall des diskreten Raumes können also metrische Relationen in topologischen Begriffen definiert werden (Kardinalität), was im Fall des kontinuierlichen Raumes nicht möglich ist. Friedman stellt jedoch die Frage: Folgt daraus, dass metrische Relationen objektiv, d.h. unabhängig von Messungen in einem kontinuierlichen Raum, nicht existieren? „Not at all […]“[220], seine Antwort. Alles was aus der Annahme eines kontinuierlichen Raumes folgt, ist, dass die Metrik neben der Topologie und Geometrie eine unzureichende, bzw. eine undefinierte Quantität ist. Will man eine metrische Formlosigkeit (*amorphousness*) aus der Annahme eines kontinuierlichen Raumes schließen, dann braucht man eine weitere Prämisse, nämlich: die *einzigen* objektiv existierenden raum-zeitlichen Eigenschaften und Relationen seien *Ordnungsrelationen der Geometrie* und *topologische Raumstrukturen*. Das erst würde dann bedeuten, dass ein kontinuierlicher Raum keine objektiven metrischen Eigenschaften hat.

Warum aber sollten die einzigen Basiseigenschaften der Raum-Zeit Ordnungsrelationen und Topologien sein, bzw. warum sind metrische Eigenschaften und Relationen nicht ebenfalls Primitive, also objektive Prämissen? Allgemein lässt sich sagen, dass die Objektivität eines Elements auf zweifache Weise in Frage gestellt werden kann: Einerseits lässt sich argumentieren, dass die Theorie, die das Element beinhaltet, *stark* unverifizierbar ist, oder man findet eine bessere Theorie, welche die gesamte Frage umgeht. Die räumliche Metrik kann nun nicht auf die erste Weise kritisiert werden, denn methodologisch ist nichts falsch an der newtonschen Metrik. Grünbaum argumentiert, dass die Relativitätstheorie alternativ räumliche und zeitliche Kongruenzen gebraucht, in genau der Weise, wie sie zum Konventionalismus passen. Räumliche und zeitliche Intervalle können auf vielerlei Arten metrisiert werden und die Wahl zwischen alternativen Metriken ist willkürlich.[221]

Dies aus der Relativitätstheorie zu schließen ist aber ein ernstes Missverständnis, so Friedman.[222] In einer relativistischen Raum-Zeit gibt es keine temporären oder räumlichen Intervalle. Ein gegebenes Paar von Ereignissen determiniert ein

[220] Friedman, *Foundations,* 304.
[221] Friedman, *Foundations,* 305.
[222] Friedman, *Foundations,* 306.

einmaliges Raum-Zeit-Intervall, aber nicht ein einmaliges Raum- oder einmaliges Zeit-Intervall. Stattdessen gibt es raumartige Kurven, welche jeweils eine einmalige räumliche Länge erhalten, induziert von der Raum-Zeit Metrik. Die räumliche Länge einer raumartigen Kurve ist vollständig determiniert und objektiv, und es gibt keinen Raum für willkürliche Wahlen.[223]

Die Vorstellung, welche Grünbaum offenbar hatte, von einem leeren Raum ohne *intrinsische* Metrik, welcher seine Metrik nur durch partikulärer, *extrinsischer* Verteilung von Materie erhält, ist relationalistisch aber nicht konventionalistisch.[224] Die metrischen Relationen sind nicht willkürlich, sondern ein Ergebnis von materiellen Ereignissen und Prozessen.

Die *spezielle* Relativitätstheorie lässt leicht vermuten, bei den metrischen Relationen würde es sich um ein konventionalistisches Thema handeln, wie eben bei der Wahl des Initialsystems. Diese Annahme ergibt sich auch, wenn man die Relativierung der Geschwindigkeit oder der Gravitationsbeschleunigung als Beispiel nimmt. Der Unterschied ist jedoch, dass etwa bei der Relativierung der Geschwindigkeit in der neuen Theorie auf den alten Begriff der absoluten Geschwindigkeit vollkommen verzichtet wird, während dies bei der Metrik nicht der Fall ist. Hierbei wurde aus einer dreidimensionalen Raummetrik und einer eindimensionalen Zeitmetrik eine vierdimensionale Raum-Zeit-Metrik, was eine Erweiterung und nicht eine Ersetzung ist.[225]

Die konventionalistische Behauptung nun, dass die Metrik von der Materie, insbesondere der starren Stäbe, abhänge, verband schließlich die relationalistische mit der konventionalistischen Ansicht, was an sich auch der *allgemeinen* Relativitätstheorie entspricht, die ein relationalistisches Verhalten metrischer Beziehungen beschreibt. Dabei muss man aber zwischen einem *positiven* und einem *negativen* Relationalismus unterscheiden.[226] Beim positiven Relationalismus nimmt man für metrische Relationen eine objektive Existenz an. Beim negativen Relationalismus verhält es sich umgekehrt, es könne nicht von physischen Eigenschaften und Relationen eine metrische Relation abgeleitet werden. Für die konventionalistische Ansicht wäre nun nur der negative Relationalismus passend,

[223] Friedman, *Foundations,* 306f.
[224] Friedman, *Foundations,* 307.
[225] Friedman, *Foundations,* 308.
[226] Friedman, *Foundations,* 309.

doch aus der allgemeinen Relativitätstheorie lässt sich nur der positive Relationalismus ableiten. Da die allgemeine Relativitätstheorie nicht explizit in Begriffen metrische Relationen aus der Verteilung der Materie definiert, ist eigentlich keine Ansicht von ihr ableitbar, auch nicht die relationalistische. Wie in der klassischen Physik bleiben in der allgemeinen Relativitätstheorie metrische Quantitäten undefiniert, der entscheidende Unterschied ist die Ersetzung der drei- und eindimensionalen absoluten Quantität mit der vierdimensionalen dynamischen Quantität.[227]

Zusammenfassung der Kritik von Friedman

Friedman nennt die epistemologischen Argumente, die als Basis für einen Konventionalismus dienen und teilt diese in zwei Ebenen:

Lower level: Es besteht ein induktiver Zweifel wegen der Unmöglichkeit, eine Theorie vollständig zu verifizieren. Dieser Umstand entspricht der technischen Unmöglichkeit bei Reichenbach und hat seinen Grund in der *theoretischen Unterdeterminiertheit*.

- *Schwache* und *starke* Unverifizierbarkeit: Nur Theorien mit der Charakteristik einer *starken* Unverifizierbarkeit können einen Konventionalismus begründen. Das sind Theorien mit variablen Sätzen und einer stabilen Resttheorie, im Unterschied zu einer *schwachen* Unverifizierbarkeit, bei der die konventionalistischen Elemente die gesamte Theorie beeinflussen. Aussagen über die Konventionalität der Geometrie des Raumes sind *schwach* unverifizierbar, eine Theorie der Relativität der Geometrie nach Reichenbach ist dieser Argumentationslinie nach ungültig.

Higher level: Die prinzipielle Unmöglichkeit eines vollständigen Beweises bei *empirisch äquivalenten* Theorien.

- *Empirische* und *generelle* Äquivalenz von Theorien: Empirische Äquivalenz meint dabei die Identität der empirischen Inhalte zweier oder mehrerer *prima facie* verschiedener Theorien. Eine generelle Äquivalenz, wie sie beispielsweise bei dem Äquivalenzprinzip von träger und schwerer Masse

[227] Ebd.

vorliegt, ist auf die empirische Äquivalenz von Raumgeometrien nicht anwendbar. Auch nach diesem Gesichtspunkt ist eine Relativität der Geometrie des Raumes nach Reichenbach nicht haltbar.

Neben diesen Hauptargumenten gegen einen Konventionalismus in der Frage der Raumgeometrie kritisiert Friedman weiters:

- Der Standpunkt Reichenbachs, die Kriterien der *Sparsamkeit* und *Simplizität* wären hinreichend für eine konventionalistische Theorie, ist unzureichend, denn so wird kein Wahrheitsanspruch erfüllt.
- Aus der Annahme eines kontinuierlichen Raumes folgt lediglich, dass Metrik eine undefinierte Quantität ist, aber nicht, dass sie nicht existiert.
- Ein leerer Raum der seine Metrik nur durch *extrinsischer* Verteilung von Materie erhält, ist relationalistisch aber nicht konventionalistisch. Die metrischen Relationen sind dabei nicht willkürlich, sondern ein Ergebnis von materiellen Ereignissen und Prozessen.
- Bei der Differenz von *positivem* und *negativem* Relationalismus ist nur der negative für einen Konventionalismus passend, nicht aber aus der Relativitätstheorie ableitbar.

Literaturverzeichnis

CARNAP, RUDOLF, *Der Raum. Ein Beitrag zur Wissenschaftslehre*, Berlin: Reuther & Reichard 1922.

CARNAP, RUDOLF, *Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaft*, hrsg. v. Martin Gardner, aus dem Amerikan. von Walter Hoering, New York: Nymphenburger Verl.-Handlung 1969.

EUKLID, *Die Elemente*, nach Heibergs Text aus d. Griech. übers. u. hrsg. v. Clemens Thaer, 7. unveränd. Aufl., Darmstadt: Wiss. Buchges. 1980.

FRIEDMAN, MICHAEL, *Foundations of Space-Time Theories*, *relativistic physics and philosophy of science,* Princeton, NJ: Princeton Univ. Press 1983.

FYNN, OLE ENGLER, *Wissenschaftliche Philosophie und moderne Physik I*, Berlin: Max-Planck-Inst. für Wissenschaftsgeschichte 2007.

GOSZTONYI, Alexander, *Der Raum. Geschichte seiner Probleme in Philosophie und Wissenschaften*, Band 1, Freiburg i. Br: Alber 1976.

GRÜNBAUM, ADOLF, *Philosophical problems of space and time,* 2. erw. Aufl., Dordrecht [u.a.]: Reidel 1973.

KAMLAH, ANDREAS, *H. Reichenbach: Prinzipien, Konventionen, Wahrscheinlichkeit,* In: *Grundprobleme der großen Philosophen. Philosophie der Neuzeit VI,* hrsg. v. Josef Speck, Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht 1992.

KANT, IMMANUEL, *Kritik der reinen Vernunft*, Frankfurt am Main: Suhrkamp 1974.

KLEIN, CARSTEN, *Konventionalismus und Realismus*, Paderborn: Mentis-Verl. 2000.

KLEIN, FELIX, *Vorlesungen über nicht-euklidische Geometrie*, Berlin: Springer 1968.

MAY, EDUARD, *Am Abgrund des Relativismus*, 2. verb. Aufl., Berlin: Lüttke 1942.

POSER, Hans/Danneberg, Lutz (Hrsg.), *Hans Reichenbach. Philosophie im Umkreis der Physik*, Berlin: Akad. Verl. 1998.

REICHENBACH, HANS, *Der Aufstieg der wissenschaftlichen Philosophie*, Gesammelte Werke in 9 Bänden, Bd. 1, hrsg. von Andreas Kamlah, Braunschweig: Vieweg 1977.

REICHENBACH, HANS, *Philosophie der Raum-Zeit-Lehre,* Gesammelte Werke in 9 Bänden, Band 2, hrsg. v. Andreas Kamlah, Braunschweig [u.a.]: Vieweg 1977.

REICHENBACH, HANS, *Die philosophische Bedeutung der Relativitätstheorie*, Gesammelte Werke in 9 Bänden, Bd. 3, hrsg. v. Andreas Kamlah, Braunschweig [u.a.]: Vieweg 1979.

REICHENBACH, HANS, *Erfahrung und Prognose*, Gesammelte Werke in 9 Bänden, Bd. 4, hrsg. v. Andreas Kamlah, Braunschweig [u.a.]: Vieweg 1983.

REICHENBACH, HANS, *Ziele und Wege der physikalischen Erkenntnis*. *Handbuch der Physik*, hrsg. v. Hans Geiger u. Karl Scheel, Bd. 4, Berlin: Julius Springer 1929.

RITTER, JOACHIM/GRÜNDER, KARLFRIED (Hrsg.), *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, Bd. 3, G-H, Darmstadt: Wiss. Buchges. 1974.

RITTER, JOACHIM/GRÜNDER, KARLFRIED (Hrsg.), *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, Bd. 8, R-Sc, Völlig neubearb. Ausg. d. *Wörterbuchs der philosophischen Begriffe* von Rudolf Eisler, Basel [u.a.]: Schwabe 1992.

SCHLICK, MORITZ, *Allgemeine Erkenntnislehre*, Frankfurt am Main: Suhrkamp 1979.

SCHLICK, MORITZ, *Die philosophische Bedeutung des Relativitätsprinzips*, In: *Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik*, 159, Leipzig 1915.

WITTGENSTEIN, LUDWIG, *Tractatus logico-philosophicus*, Frankfurt am Main: Suhrkamp 1963.

ZITTLAU, DIETER, *Die Philosophie von Hans Reichenbach*, München: Minerva-Publ. 1981.

Wissenschaftlicher Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Robert Irlbek

Geburtsdatum: 03.11.1976

Geburtsort: Wien

Bildungsweg

1997 – 2010 Philosophie-Studium an der Universität Wien

1992 – 1997 HTL (TGM – Maschinenbau/Kraftfahrzeugbau), Wien

1987 – 1992 AHS Wien

1983 – 1987 Volksschule Wien

Abstract

In dem von Hans Reichenbach (1891 – 1953) verfasstem Buch *Philosophie der Raum-Zeit-Lehre (1928)* gelang es dem Autor, die philosophischen Hintergründe der Relativitätstheorie auszuarbeiten und darauf aufbauend, die Theorie der Relativität der Geometrie zu entwickeln. Welche Relevanz dabei die Zuordnungsdefinition des starren Körpers hat und wie sich die Theorie in ihrem historischen Kontext ergibt, ist Gegenstand der ersten Hälfte dieser Arbeit. Daran anschließend werden Kritiken der Theorie diskutiert, insbesondere jene von Adolf Grünbaum und Michael Friedman. Dabei zeigt sich, dass der Begriff der Universalkraft in der Kongruenzdefinition starrer Körper problematisch ist und Reichenbachs Theorie sich den allgemeinen Argumenten kontra Konventionalismus zu stellen hat.