

Kritisches Protokoll über die Krise der Kantischen Raum-Zeit-Theorie

Die Philosophie Ernst Cassirers und Einsteins Relativitätstheorie

Aleksandar Tuzlak*

ETH Zürich, D-PHYS

4.Semester BSc Physik

8. Juni, 2024

851-0406-00L Philosophien der Gegenwart
und ihr Verhältnis zu den Erfahrungswissenschaften

Prof. Dr. Michael Hampe

ETH zürich

Ergebnisprotokoll

In dieser Vorlesung werden die philosophischen und physikalischen Entwicklungen der Kantischen Raum-Zeit-Theorie basierend auf der Newton'schen Mechanik bis hin zu Erkenntnissen Einsteins durch die Relativitätstheorie behandelt. Dabei wird insbesondere auf die philosophischen Ansätze Ernst Cassirers eingegangen, die die Raum-Zeit-Theorie Kants kritisch hinterfragen und weiterentwickeln. Das Hauptziel Cassirers liegt darin, eine ähnliche Strukturontologie für die Relativitätstheorie Einsteins zu entwickeln, wie es Kant schon für Newton getan hat.

Durch die Relativitätstheorie Einsteins werden Zeit und Raum, die noch zu Zeiten Newtons als absolute Entitäten, Ding oder Gegenstand galten ohne jegliche Verluste zu Transformationsregeln, also die Relationen zueinander und beobachtenden Subjekten, durch Cassirers Strukturrealismus aufgefasst. Dies stellt einen erkenntnistheoretischen Ansatz dar, der darauf abzielt, die Art und Weise zu verstehen, wie die Welt durch wissenschaftliche Theorien wie der Relativitätstheorie beschrieben wird. Dabei ist die Rede von einer Dynamik der wissenschaftlichen Erkenntnis, *„denn was die »Kritik der reinen Vernunft« erstrebte, war nicht die philosophische Erkenntnis ein für allemal auf ein bestimmtes dogmatisches System von Begriffen festzulegen, sondern ihr den »stetigen Gang einer Wissenschaft« zu eröffnen, in dem es selbst immer nur relative, nicht absolute Halt- und Ruhepunkte geben kann“*¹², womit Cassirer über Kant fortschreitet. Auf eine gewisse Weise unterstreicht die Relativitätstheorie Einsteins eine Relativität der Erkenntnis selbst. Somit werden durch neue Theorien und Modelle der Erfahrungswissenschaften zugleich neue strukturelle Einsichten geboten, die auf früheren Ansätzen aufbauen und erweitern oder aber diese auch ersetzen können. Im Falle der Relativitätstheorie Einsteins kann man beobachten, dass eine Erweiterung auf physikalischer Ebene stattfindet. Da nun die Newton'sche Mechanik zum Spezialfall einer allgemeineren, besser die empirische Evidenz beschreibende Theorie wird. Die Philosophie der Raum-Zeit-Theorie Kants erlebt andererseits einen regelrechten Wandel. Raum und Zeit haben aufgehört, Gegenstände oder Dinge zu sein, weil sie durch die neue Theorie keine Relevanz mehr in der Physik finden und alles durch Transformationsregeln beschreiben werden kann. Würde jedoch Physiker dennoch an Dingen und Gegenständen interessiert sein, müsse er von der Erkenntnistheorie belehrt werden, denn er versteht die Physik oder zumindest das Essenzielle der Physik nicht. Wobei die Relation von Erkenntnistheorie und Erfahrungswissenschaften so zu verstehen ist, dass die Erkenntnistheorie *„zur Physik in eben demselben Verhältnis, in welchem, nach der Kantischen Schilderung der »Verstand« zur Erfahrung und zur Natur steht: Sie tritt an sie heran, »zwar um von ihr belehrt zu werden, aber nicht in der Qualität eines Schülers, [...], sondern eines bestellten Richters, der die Zeugen nötigt, auf die Fragen zu antworten, die er ihnen vorlegt.“*³, dabei fungiert jetzt die Erfahrungswissenschaft als zu belehrender Zeuge. Somit ist das Subjekt einer Erfahrungswissenschaft immer durch die dazugehörige Erkenntnistheorie bestimmt und nicht umgekehrt, was

¹E.Cassirer: *Zur Einsteinschen Relativitätstheorie* 1, §12-13.

²I.Kant. *Kritik der reinen Vernunft* 2.

³E.Cassirer: *Zur Einsteinschen Relativitätstheorie* 1, §12-13.

genau diese „Richter - Zeuge“ Relation verbildlicht. Weiter klar wird auch, dass nicht „das“ Subjekt existiert, welches über alle Wissenschaften hinweg gleich ist, die Grenzen jedoch werden durch die Erkenntnistheorie gesetzt. Auch die Subjekte der Physik ändern sich.

Aus Cassirers Strukturrealismus und den Transformationsregeln erscheint die Abhängigkeit im mathematischen Formalismus und Symbolismus, um die Realität zu beschreiben und verstehen. Dadurch entfernt man sich vom Anthropomorphismus oder der Verdinglichung vom Subjekt, da im Gegensatz zu Aristoteles die Sinnesqualitäten immer mehr in den Hintergrund rücken. Durch diese Entwicklung folgt, dass *„jede, auch die einfachste Messung muss sich auf bestimmte theoretische Voraussetzungen, auf gewisse »Prinzipien«, »Hypothesen« oder Axiome stützen, die sie nicht der Welt des Empfindbaren entnehmen, sondern die sie als Postulate des Denkens an diese Welt heranbringen muss.“*⁴ Aus einer kantianischen Perspektive bedeutet dies, dass Raum und Zeit keine Dinge an sich sind, sondern Formen unserer Anschauung die je nach Theorie neu definiert werden.⁵ Doch, wenn alles als Form unserer Anschauung und Denkens aufgefasst werden kann, stellt sich die Frage der ontologischen Realität vom Subjekt oder abstrakten Konzepten wie Naturgesetzen die nach Cassirer den Transformationsregeln entsprechen. Diese Frage hat auch erkenntnistheoretischen Wert, da es ebenfalls die Frage betrifft, wie Wissen über eine objektive, vom Bewusstsein unabhängige Welt erlangt werden kann. Nach Cassirer besteht die Gefahr messbares zu verdinglichen, ich messe die Zeit, Energie, Raum, Kraft, also muss es diese als Ding geben. Diese Begriffe werden schon seit Jahrtausenden verwendet, um die Wirklichkeit zu beschreiben, jedoch ohne Gewährleistung, ob eine direkte Entsprechung in der Realität besteht, Cassirer glaubt sogar, dass wenn man über Raum und Zeit gesprochen hat, eigentlich schon über Transformationsregeln gesprochen haben muss, auch wenn dies unbewusst geschah. Dennoch besteht Interesse zu wissen, aus was etwas ist. Man könnte sich die gleichen Fragen, die sich ein Münztaucher stellen würde, ebenso auf die Welt angewandt stellen und erhält prompt metaphysische Fragen der allgemeinsten Strukturen, Gesetzlichkeiten und Prinzipien. Um dies zu bewerkstelligen, gibt es eine Neigung, das Weltbild widerspruchsfrei zu organisieren, doch nach Cassirer ist dies objektiv erst dann möglich durch invariante Transformationsregeln und nicht als Ansammlung von Dingen und Eigenschaften. Die Objektivität besteht demnach nicht in der Privilegierung einer Perspektive oder eines Systems, sondern in der Möglichkeit der Umrechnung von einem ins andere, da beginnt die Wissenschaftlichkeit. Dies impliziert eine relationale Eigenschaft von Subjekt und Objekt, die, die vom Auge abhängt, wie schwer etwas ist, wird zum lediglichen Verhältnis von sich entgegengesetzten Kräften und so weiter.

Es scheint, als wäre man nun mit einer Ambiguität von Begriffen konfrontiert, die sich nicht vereinheitlichen zu lassen scheinen. Durch die Nicht-Privilegierung bestimmter Perspektiven scheint ein Ding nicht zu existieren, sondern lediglich Atome, die das Ganze als Entität ausmachen. Es ist anzumerken, dass es trotzdem eine komische Redeweise wäre, nur vom Atom zu

⁴E.Cassirer: *Zur Einsteinschen Relativitätstheorie* 1, §14-15.

⁵Wikipedia *Transzendente Ästhetik* 3.

sprechen. Man könnte dann genauso sagen, dass ein Buch nur aus Papier, Tinte und einem Einband besteht. Aber wenn jemand von einem grossartigen Roman spricht, sagt man nicht: „Ich liebe diese Ansammlung von Papier, Tinte und Einband!“. Daraus folgt eine Differenzierung zwischen ontologisch realem und durch Vorstellungskraft und Interpretation entstandene kreative Konstruktionen. Um nun zum Atombegriff und dessen Ambiguität zurückzukehren, ist es wichtig, es noch einmal zu verdeutlichen, dass ein Biologe nicht vom gleichen Atom sprechen wird wie ein Physiker, weder von der Anwendung noch von der Komplexität her. Die Vereinheitlichung des Begriffs wird einem klar, nicht über den Inhalt der Atomvorstellung, sondern über die Funktion des Atoms, die über alle Disziplinen hinweg gleich ist. *„Das Atom erweist sich eben darin nicht als ein absolutes Minimum des Seins, sondern als ein relatives Minimum des Masses.“*⁶ Somit findet die Messung und der Messprozess ein klares Minimum oder Ende. Dabei ist ein Messgerät kein Detektor, sondern eine „Begriffsverkörperung“ um mithilfe dessen unsere Welt damit beschreiben zu können. *„Es sind nicht sowohl die sinnlich-dinglichen Massinstrumente als vielmehr unsere eigenen Gedanken, mit denen und an denen wir das Geschehen der Natur messen. Die Instrumente der Messung sind gleichsam nur die sichtbare Verkörperung dieser Gedanken [...]. Nicht Uhren und körperliche Massstäbe, sondern Prinzipien und Postulate sind die eigentlichen letzten Massinstrumente.“*⁷ Nachdem eine Theorie entwickelt wurde, welche die Rahmenbedingungen zu den grundlegenden Messgrössen setzt, werden Instrumente produziert, um unsere Erfahrung anzuwenden und zu überprüfen. Diese Instrumente sind auf eine Weise eine Verlängerung unseres geistigen Verständnisses und machen dieses sichtbar.

⁶E.Cassirer: *Zur Einsteinschen Relativitätstheorie* 1, §18-19.

⁷E.Cassirer: *Zur Einsteinschen Relativitätstheorie* 1, §23-24.

Kritische Reflexion

In diesem Teil der Arbeit werde ich mich hauptsächlich auf folgende verkürzte Zitate aus dem Ergebnisprotokoll positionieren, auf diese eingehen und sie hier entfalten sowie auf moderne Forschung anwenden:

1. *„Jede [...] Messung muss sich auf bestimmte theoretische Voraussetzungen [...] stützen [...] die sie als Postulate des Denkens an diese Welt heranbringt.“*
2. *„[...] Nicht Uhren und körperliche Massstäbe, sondern Prinzipien und Postulate sind die eigentlichen letzten Massinstrumente“*

Zitate (1) und (2) suggerieren eine sehr systematische und eindeutige Herangehensweise an die Forschung und zukünftige neue Entdeckungen. Es stellt sich die Frage, ob in Situationen, in denen die physikalischen Messinstrumente, als die Verlängerung unseres geistigen Verständnisses, unabhängig von den theoretischen Vorstellungen zu neuen Erkenntnissen führen können und somit die bestehende Theorie herausfordern.

Einige prominente Beispiele in der Wissenschaftsgeschichte hierfür wären die zufällige Entdeckung der kosmischen Hintergrundstrahlung durch Penzias und Wilson und dessen Signifikanz für die Kosmologie [4]. Ein weiteres Beispiel der Superlative wissenschaftlicher Projekte wäre das im Jahre 2012 am LHC (Large Hadron Collider) vom CERN entdeckte Higgs-Boson [5][6], welches als Letztes fehlendes Teilchen des Standardmodells der Teilchenphysik, ein theoretisches Konstrukt, galt und somit die Theorie, die ausschlaggebend war für den Bau dieses Messgeräts, vervollständigt. Was aber damit einherkam sind viele andere Ergebnisse, die nicht direkt vorhergesagt wurden, was die Physiker veranlasst, die Theorien zu überdenken und ausserhalb des Standardmodells zu suchen. Diese Ergebnisse werden nach aktuellstem Stand und Auffassung des Verständnisses als Anomalien beschrieben und daran geforscht [7]. Es ist möglich, dass wir uns an einem dieser relativen Haltepunkte der philosophischen Erkenntnis befinden. Doch wie kann es sein, dass wir basierend auf oder infolge unserer Prinzipien und Postulate in der Lage sind, ein Instrument zu bauen, welches uns die Welt zeigt, die wir uns nicht vorstellen konnten? Es besteht die Möglichkeit, dass die Realisierung unseres geistigen Verständnisses mithilfe eines Instruments nicht im wahrsten Sinne des Wortes erfolgen kann. Irgendwie würde dies ein komplettes Verständnis über die Welt, die wir gerade erst zu ergründen versuchen, verlangen.

Aus einer holistischen Perspektive betrachtet, würde das also bedeuten, dass das Verhalten und die Eigenschaften eines Systems, nicht vollständig durch das Verständnis seiner Einzelteile erklärt werden kann, ähnlich zum Beispiel im ersten Teil der Arbeit bei dem ein Roman nicht nur eine Ansammlung von Papier, Tinte und Einband ist. Im Kontext der Wissenschaft heisst das also, dass unsere wissenschaftlichen Theorien und Hypothesen nicht isoliert betrachtet und getestet werden können, sondern stets in Verbindung mit anderen Theorien, Hypothesen und Hintergrundannahmen stehen. Ein zentraler Aspekt der Duham-Quine-These besagt, dass

es sogar unmöglich sei, eine wissenschaftliche Hypothese isoliert zu testen, weil empirischen Tests immer zusätzliche Annahmen erfordern würden [8][9]. Man kann jedoch in diesem Geflecht von Theorien und Hypothesen immer wieder Revisionen und Anpassungen vornehmen, um das ganze Bild Schritt für Schritt zu vervollständigen. Im Gegensatz dessen würde eine reduktionistische Weltanschauung stehen. Um die Welt erklären zu können, würde es ausreichen ein System auf seine Einzelteile zu reduzieren und diese zu verstehen.

Natürlich sind die beiden methodischen Ansätze an sich legitim. In der modernen Forschung aber steht man vor einem Dilemma, wenn man sich ausschliesslich auf eine Methode fokussiert. Wäre es überhaupt moralisch vertretbar für ein Forschungsinstitut wie das CERN, mit seinen über 20 Mitgliedsstaaten und einem jährlichen Budget von über 1 Milliarde Schweizer Franken [10], alles nur auf eine Methode zu setzen? Oder sogar Zitat (1) zu widersprechen und trotz fehlenden theoretischen Voraussetzungen unzählige weitere Versuche mit dem gleichen Instrument durchzuführen, um die Anomalien noch besser zu quantifizieren, oder gar neue Projekte anzustreben?, wobei zweiteres ohne theoretische Grundlage gar nicht erst möglich ist. Schliesslich hat man schon die Erfahrung gemacht, lediglich anhand des Messinstruments auf potenziell ganz neue Bereiche der Physik gestossen zu sein und ein Umdenken veranlagt. Es wäre somit durchaus eine Option, wobei aber die Dauer und Anzahl Versuche ohne feste Basis von Bedeutung ist, solange die nötigen Ressourcen zur Durchführung nicht in unendlichem Masse zur Verfügung stehen. Aus einer Gottperspektive, bei der man als Betrachter auf das Wissenschaftsgeschehen schaut, ohne direkt davon betroffen zu sein könnte man ebenfalls argumentieren, dass die Dauer und Anzahl Versuche nicht von Relevanz sind, insofern sie die Wissenschaft weiterbringen, denn auch kein Resultat ist ein Resultat und treibt die Wissenschaft als ganzes voran. Doch eine Ansammlung an Misserfolgen oder fehlenden Resultaten wird wohl die Gesellschaft in einem gewissen Zeitraum kaum weiterbringen oder zu möglichem Zweifel an der Wissenschaft führen. Ein weiteres Beispiel, wohl einer der besten Kandidaten für die Konstruktion einer vereinheitlichenden Theorie der Naturgesetze, wäre die String Theorie, die erstmals in den siebziger Jahren als universelle Theorie vorgeschlagen wurde. Im Gegensatz zum CERN, welches sich mit experimentell gefundenen Anomalien konfrontiert sieht, gibt es bei der String Theorie auch heute noch keine direkten experimentellen Beweise [11]. Es existiert kein objektives Mass dafür, um zu beurteilen, wie lange es dauern darf, bis eine Theorie sich als nützlich erweist oder ob sie überhaupt jemals experimentell bestätigt werden kann. Dafür aber eine Kombination aus Prüfbarkeit, heuristischer und pragmatischer Nützlichkeit, technologischen Fortschritts sowie dem Konsens der wissenschaftlichen Gemeinschaft. Da kann es durchaus vorkommen, dass mal ein kollektiver Fehlentscheid getroffen wird. Müsste also auch eine andere Art von Belehrung stattfinden, damit solche Fehler nicht passieren? Und wie würde man dies bewerkstelligen? Dies hängt wohl von der Schwierigkeit der genannten Quantifizierbarkeit ab und stellt somit je nach Ansichtswiese ein Problem dar, aber auch wenn eine Theorie nie das erreichen sollte, was man sich erhofft hat, eröffnen sich oftmals neue Welten und Werkzeuge die auf andere Bereiche des „Geflechts“ angewendet werden können und kann somit trotzdem

eine Bereicherung sein.

Würde man sich also nur auf eine Methode fokussieren müsste man sozusagen eine Strafe zahlen um eine einheitliche Methodik, welche sich über ein ganzes Gebiet streckt, durchzuführen, da man sich selbst in eine Art Gefängnis einsperrt, was in einer verzerrten Sichtweise resultieren kann und die Forschung massiv einschränkt, umfassende und präzise Erklärungen zu liefern. Moderne Forschungsprobleme erfordern also oft eine Kombination aus verschiedensten Perspektiven und Ansätzen, um voranzukommen. Es ist auch heute noch für die moderne Forschung wichtig, nie absolute Halte- und Ruhepunkte zu erleben, sondern einen stetigen Gang der Forschung zu gewährleisten, denn egal was der Ertrag letzten Endes ist, ist es ein für die Wissenschaft, und wenn auch nur teilweise für die Gesellschaft bereichernder Prozess.

Literatur

- [1] E. Cassirer, B. Recki und R. Schmücker. *Zur Einsteinschen Relativitätstheorie: Erkenntnistheoretische Betrachtungen*. Ernst Cassirer, Gesammelte Werke. Hamburger Ausgabe. Felix Meiner Verlag, 2023. ISBN: 9783787344673. URL: <https://books.google.it/books?id=FffMEAAAQBAJ>.
- [2] I. Kant und E. Cassirer. *Kritik der reinen Vernunft, hrsg. von Albert Görland*. Werke. B. Cassirer, 1922. URL: <https://books.google.it/books?id=azaphLjTIgUC>.
- [3] Wikipedia. *Transzendente Ästhetik — Wikipedia, die freie Enzyklopädie*. [Online; Stand 6. Juni 2024]. 2024. URL: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Transzendente_Ästhetik&oldid=244825763.
- [4] Ruth Durrer. “The Cosmic Microwave Background: The history of its experimental investigation and its significance for cosmology”. In: *arXiv* (5. Juli 2015). URL: <https://arxiv.org/pdf/1506.01907>.
- [5] G. Aad u. a. “Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC”. In: *Physics Letters B* 716.1 (Sep. 2012), S. 1–29. ISSN: 0370-2693. DOI: 10.1016/j.physletb.2012.08.020. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2012.08.020>.
- [6] S. Chatrchyan u. a. “Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC”. In: *Physics Letters B* 716.1 (Sep. 2012), S. 30–61. ISSN: 0370-2693. DOI: 10.1016/j.physletb.2012.08.021. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2012.08.021>.
- [7] Andreas Crivellin und Bruce Mellado. “Anomalies in particle physics and their implications for physics beyond the standard model”. In: *Nature Reviews Physics* 6.5 (März 2024), S. 294–309. ISSN: 2522-5820. DOI: 10.1038/s42254-024-00703-6. URL: <http://dx.doi.org/10.1038/s42254-024-00703-6>.
- [8] Pierre Maurice Marie Duhem. *The Aim and Structure of Physical Theory*. Princeton, Princeton University Press, 1954.
- [9] Willard Van Orman Quine. *From a Logical Point of View*. Cambridge: Harvard University Press, 1953.
- [10] Forschung und Innovation Staatssekretariat für Bildung. *Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation*. Accessed on 07.06.2024. URL: <https://www.sbfi.admin.ch/sbfi/de/home/forschung-und-innovation/internationale-f-und-i-zusammenarbeit/internationale-forschungsorganisationen/cern.html>.

-
- [11] Richard Dawid. "SCIENTIFIC REALISM IN THE AGE OF STRING THEORY". In: (8. Okt. 2007). Accessed on 08.06.2024. URL: https://philsci-archive.pitt.edu/3584/1/latex-scientific_realism_in_the_age_of_string_theory%28new%29.pdf.

A Appendix



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Eigenständigkeitserklärung

Die unterzeichnete Eigenständigkeitserklärung ist Bestandteil jeder während des Studiums verfassten schriftlichen Arbeit. Eine der folgenden drei Optionen ist in Absprache mit der verantwortlichen Betreuungsperson verbindlich auszuwählen:

- Ich bestätige, die vorliegende Arbeit selbständig und in eigenen Worten verfasst zu haben, namentlich, dass mir niemand beim Verfassen der Arbeit geholfen hat. Davon ausgenommen sind sprachliche und inhaltliche Korrekturvorschläge durch die Betreuungsperson. Es wurden keine Technologien der generativen künstlichen Intelligenz¹ verwendet.
- Ich bestätige, die vorliegende Arbeit selbständig und in eigenen Worten verfasst zu haben, namentlich, dass mir niemand beim Verfassen der Arbeit geholfen hat. Davon ausgenommen sind sprachliche und inhaltliche Korrekturvorschläge durch die Betreuungsperson. Als Hilfsmittel wurden Technologien der generativen künstlichen Intelligenz² verwendet und gekennzeichnet.
- Ich bestätige, die vorliegende Arbeit selbständig und in eigenen Worten verfasst zu haben, namentlich, dass mir niemand beim Verfassen der Arbeit geholfen hat. Davon ausgenommen sind sprachliche und inhaltliche Korrekturvorschläge durch die Betreuungsperson. Als Hilfsmittel wurden Technologien der generativen künstlichen Intelligenz³ verwendet. Der Einsatz wurde, in Absprache mit der Betreuungsperson, nicht gekennzeichnet.

Titel der Arbeit:

Kritisches Protokoll über die Krise der Kantischen Raum-Zeit-Theorie

Verfasst von:

Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich.

Name(n):

Tuzlak

Vorname(n):

Aleksandar

Ich bestätige mit meiner Unterschrift:

- Ich habe mich an die Regeln des «Zitierleitfadens» gehalten.
- Ich habe alle Methoden, Daten und Arbeitsabläufe wahrheitsgetreu und vollständig dokumentiert.
- Ich habe alle Personen erwähnt, welche die Arbeit wesentlich unterstützt haben.

Ich nehme zur Kenntnis, dass die Arbeit mit elektronischen Hilfsmitteln auf Eigenständigkeit überprüft werden kann.

Ort, Datum

Zürich, 08.06.2024

Unterschrift(en)

Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich. Durch die Unterschriften bürgen sie grundsätzlich gemeinsam für den gesamten Inhalt dieser schriftlichen Arbeit.

¹ z. B. ChatGPT, DALL E 2, Google Bard

² z. B. ChatGPT, DALL E 2, Google Bard

³ z. B. ChatGPT, DALL E 2, Google Bard