

Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Fachbereich 05 – Philosophie und Philologie

(HS) Monismus, Nihilismus, Strukturalismus:
Nicht-Standard-Ansätze in der aktuellen Metaphysik

Dozent: Ralf Busse

Sommersemester 2013

Raumzeit-Substantivalismus...

...aber worüber?

Julia Pfeiff
Rheinallee 17
55118 Mainz
jpfeiff@students.uni-mainz.de

Kernfach: Philosophie (5)
Beifach: Kunstgeschichte (3)
Ein-Fach: Psychologie (6)

27. September 2013

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Die Form der allgemeinen Relativitätstheorie	4
3	Arten des Substantivalismus	5
3.1	„Einfacher“ Substantivalismus	6
3.2	„Verfeinerter“ Substantivalismus	6
4	Die Wahl eines Substantivalismus	7
4.1	Übersetzung der Modelle	8
4.2	Konsistenz	8
4.2.1	Interne Konsistenz	9
4.2.2	Externe Konsistenz	10
5	Konklusion	13
	Literaturverzeichnis	14

1 Einleitung

Unsere Metaphysik sollte sich von unseren besten physikalischen Theorien über den fundamentalen Aufbau der Welt informieren lassen, so das Credo Tim Maudlins.¹ Dieser Annahme folgend, werde ich mich der Frage widmen, worüber unsere beste Theorie über Raum und Zeit² – die allgemeine Relativitätstheorie – uns informiert. Nehmen wir die ART ernst, dann muss klar sein, dass Fragen nach dem ontologischen Status und den Eigenschaften von Raum und Zeit nicht zwei distinkten Gegenstände betreffen. Stattdessen betreffen sie die vierdimensionale *Raumzeit*.

Die Debatte über den ontologischen Status dieser Raumzeit spannt sich maßgeblich zwischen zwei konkurrierenden Positionen auf: Dem *Substantivalismus* und dem *Relationalismus*.

Die zentrale Annahme der Raumzeit-Substantivalisten ist, dass die Raumzeit unabhängig von den materiellen Objekten existiert, im Sinne eines „Behälters“, in dem die materiellen Gegenstände angeordnet sind.³ Laut dem Relationalisten hingegen ist die Raumzeit kein real existierendes Ding, sondern lässt sich vollständig auf raum-zeitliche Relationen zwischen materiellen Objekten zurückführen.⁴

Für das Folgende möchte ich annehmen, dass der Raumzeit-Substantivalismus korrekt ist. Dies lässt sich durch eine realistische Position unseren physikalischen Theorien gegenüber motivieren: Physiker nehmen auf *die Raumzeit* offensichtlich als Gegenstand Bezug, und dieses Verhalten unserer Experten über Raum und Zeit lässt sich am plausibelsten so deuten, dass die Raumzeit tatsächlich als Objekt existiert.

Selbst unter dieser Annahme sind unsere ontologischen Verpflichtungen jedoch alles andere als klar. So unterscheiden sich prominente substantivalistische Positionen gerade darin, welchem Objekt aus der Theorie sie Substanzstatus zuschreiben. Ich möchte im Folgenden zwei Formen des Raumzeit-Substantivalismus, einen „einfachen“ und einen „verfeinerten“ Substantivalismus⁵ mittels folgender Kriterien gegeneinander abwägen: Hinsichtlich ihrer Ähnlichkeit mit der grundlegenden, empirischen Theorie und hinsichtlich ihrer Konsistenz mit plausiblen Annahmen über die Welt. Die ausgewählten Positionen sind deshalb von besonderem Interesse, weil sie sich an den beiden Enden des substantivalistischen Theorienspektrums befinden. Eine Diskussion dieser beiden Positionen ist somit auch für das Verständnis von Zwischenpositionen relevant.

Zuerst sollen Voraussetzungen für die Diskussion geschaffen werden. Dazu werde ich recht informell in die Form der mathematischen Modelle einführen, die in der ART das materielle Universum repräsentieren. Daraufhin werde ich die beiden substantivalistischen Positionen darstellen und in das dahinterliegende metaphysische Bild einordnen. Um zwischen Ihnen abzuwägen, schlage ich vergleichende Theoriewahlkriterien vor, die zum einen auf einem starken,

¹Vergleiche Maudlin 2007, S. 78.

²Vergleiche Norton und Earman 1987, S. 517f.

³Siehe Maudlin 1993, S. 184. Dieser Substantivalismus ist strenggenommen nicht viel mehr als ein Realismus über die Existenz der Raumzeit. Siehe auch: Nerlich 2003, S. 282.

⁴Siehe ebenda, S. 184.

⁵Die Bezeichnungen stammen von Belot und Earman 1999, S. 173ff.

wissenschaftlichen Realismus beruhen, zum anderen auf dem Anspruch, mit plausiblen Annahmen über die Welt konsistent zu sein. *Interne Konsistenz* betrifft die Frage, ob der Kandidat für den Substanzstatus tatsächlich typischen Ansprüchen an Substanzen gerecht wird. *Externe Konsistenz* zielt darauf ab, ob die Theorie mit anderen plausiblen Annahmen über die Welt in Übereinstimmung steht. Dabei möchte ich die Frage beantworten, worüber ein rationaler Raumzeitsubstantivalist Realist sein soll.

2 Die Form der allgemeinen Relativitätstheorie

Die allgemeine Relativitätstheorie ist Einsteins Theorie der Gravitation und als solche auch von Raum und Zeit.⁶ Als theoretische Basis für eine Ontologie ist sie allerdings schwer zu deuten: Metaphysische Festlegungen lassen sich kaum aus der ART „ablesen“, denn diese beschreibt das Universum stets in mathematischen *Modellen*.⁷ Um die Bedeutsamkeit der ART für unsere Ontologie zu erfassen, ist es daher unerlässlich, mit der Form dieser Repräsentation bekannt zu sein.

Ein Modell U des materiellen Universums ist ein Tripel, das die folgenden Objekte enthält:

- (1) Die Mannigfaltigkeit M von mathematischen Punkten,
- (2) den metrischen Tensor g und
- (3) den Energie-Impuls-Tensor T

Die vierdimensionale, kontinuierlich differenzierbare Mannigfaltigkeit M ist ein mathematisches Objekt: Eine Gesamtheit mathematischer Punkte, die lokal dem euklidischen Raum \mathbb{R}^4 gleicht.⁸ Jeder dieser Punkte ist ein Quadrupel $\langle x_1, x_2, x_3, t \rangle$, das die Koordinaten des Punktes x_1, x_2, x_3 auf den drei Raumdimensionen und einen Wert t auf der Zeitdimension enthält. Die Punkte repräsentieren minimale Orte und Zeitabschnitte, zu denen ein physikalisches Ereignis stattfinden kann.⁹ Außerdem hat M spezifische *topologische* Eigenschaften „eingebaut“, die spezifizieren, wann zwei mathematische Punkte *nah* beieinander liegen.¹⁰ Darüber hinaus wird auf der Mannigfaltigkeit eine *differenzierbare Struktur* definiert, die glatte Kurven von Kurven mit Ecken und Kanten unterscheidet. Kontinuierlich differenzierbare Mannigfaltigkeiten wie M verfügen über keine Ecken.¹¹ Der metrische Tensor g und der Energie-Impuls-Tensor T sind strenggenommen *Tensorfelder*, die von Punkt zu Punkt der zugrundeliegenden Mannigfaltigkeit variieren. Bei *Tensoren* handelt es sich um Komplexe von

⁶Siehe Hughston und Tod 1990, S. 1.

⁷In diesem Punkt werde ich Tim Maudlin folgen, der die Wichtigkeit dessen hervorhebt, die Modelle als *Repräsentationen* des Universums zu verstehen. Siehe Maudlin 1988, S. 83.

⁸Siehe Norton 1999. Präziser: Eine n -dimensionale Mannigfaltigkeit ist ein n -dimensionaler euklidischer Raum \mathbb{R}^n in dem jeder Punkt ein n -Tupel reeller Zahlen ist. Siehe Lee 2000, S. 1f.

⁹Vergleiche Anderson 1967, S. 3.

¹⁰Vergleiche Hofer 1996, S. 7. Damit handelt es sich bei einem topologischen Raum um ein Paar $\langle X, T_p \rangle$ aus der strukturtragenden Menge X und dem strukturgebenden System – der Topologie – T_p . Siehe Jänich 2005, S. 7. Das Fachgebiet der Topologie wird auch als „Gummituch-Geometrie“ bezeichnet. Tim Maudlin gibt ein erhellendes Beispiel: Einmal angenommen, wir verfügen über ein Gummituch, das mit Formen bemalt ist. Dieses Tuch wird nun auseinandergezogen, und zwar ohne es zu zerreißen oder zu verkleben. Die Topologie T_p definiert, was als *zerreißen* oder *kleben* gilt. Dann sind topologische Eigenschaften genau diejenigen Eigenschaften der Figuren, die unter den erlaubten Transformationen erhalten bleiben. Maudlin 2012, S. 6.

¹¹Siehe Maudlin 2012, S. 8.

Vektoren, also Komplexe aus je einem Betrag und einer Richtung.¹² Für die ART sind sie aufgrund ihrer *Symmetrien* von Interesse. Die Tensorform der Feldgleichungen garantiert nämlich, dass diese von dem gewählten Koordinatensystem unabhängig sind, was als *allgemeine Kovarianz* bezeichnet wird.¹³

Der metrische Tensor g repräsentiert die geometrischen Eigenschaften der Raumzeit: Er gibt uns die Information, die wir benötigen, um die zeitlichen und räumlichen Abstände zwischen zwei beliebigen Raumzeitpunkten zu bestimmen.¹⁴ Da jegliche Gravitationswirkung laut der ART nur in der Krümmung der Raumzeit besteht, bestimmt die Metrik außerdem das Gravitationsfeld.¹⁵ Der Energie-Impuls-Tensor T repräsentiert die Verteilung von Energie, Masse und Materie im Universum.

Durch die Darstellung der Geometrie und des Masse- und Energiegehalts der Raumzeit durch Tensorfelder wird der lokalen Variation von Masse und Geometrie Rechnung getragen. Wenn die Metrik g und der Masse-Impuls-Tensor T aus

$$U = \langle M, g, T \rangle$$

den Einsteinschen Feldgleichungen¹⁶ genügen, das heißt, wenn Geometrie und Masseverteilung miteinander kompatibel sind, dann handelt es sich bei U um ein Modell der allgemeinen Relativitätstheorie.¹⁷

3 Arten des Substantivalismus

Unter dem *Raumzeit-Substantivalismus* wird die Annahme verstanden, dass über die materiellen Objekte im Universum hinaus ein weiterer realer Gegenstand, die Raumzeit, existiert. Dabei sind die zeitlichen und räumlichen Abstände zwischen zwei physikalischen Ereignissen auf die in die Raumzeit „eingebauten“ raum-zeitlichen Eigenschaften und Relationen zurückführbar.¹⁸

Die Frage, auf die unsere Substantivalisten eine Antwort geben, ist nun: Welches der Objekte, oder welche Kombination von Objekten aus $\langle M, g, T \rangle$ repräsentiert diese Substanz?

Ausschließen lässt sich der Masse-Energie-Tensor T , da dieser gerade den materiellen Gehalt des Universums repräsentiert und somit paradigmatischerweise zum Enthaltenen gehört. Im Gegensatz dazu werden sowohl die Mannigfaltigkeit M als auch der metrische Tensor g als Kandidaten behandelt. Das Spektrum der Positionen spannt sich dementsprechend zwischen dem „Substantivalismus über die Mannigfaltigkeit“ und dem „Substantivalismus über die Metrik“¹⁹ auf.

¹²Vergleiche Nerlich 2003, S. 289.

¹³Siehe Maudlin 1990, S. 542.

¹⁴Das Metrikfeld enthält die Information, wie weit ein beliebiger Raumzeitpunkt p von einem unendlich nahen Punkt q entfernt ist. Distanzen zwischen nicht unendlich nahen Punkten r und s werden bestimmt, indem die Entfernungen zwischen allen infinitesimal nahen Punkte des kürzesten Wegs, der r und s verbindet, aufsummiert werden. Siehe Norton 1999.

¹⁵Siehe Earman und Norton 1987, S. 519.

¹⁶Die deshalb als „Feldgleichungen“ bezeichnet werden, weil sie die räumliche und zeitliche Entwicklung eines *physikalischen Feldes* beschreiben: des Gravitationsfeldes. Siehe Hugston und Tod 1990, S. 8.

¹⁷Siehe Earman und Norton 1987, S. 517.

¹⁸Siehe Earman 1989, S. 7.

¹⁹Dabei handelt es sich um lose Bezeichnungen für die Positionen, dass jeweils die Metrik oder die Mannigfaltigkeit *Repräsentant* der Substanz sind.

3.1 „Einfacher“ Substantivalismus

Beim ersten Blick auf die mathematischen Modelle scheint die Antwort klar: Offensichtlich ist doch M das basale Objekt, das die in g und T enkodierte Eigenschaften trägt. Also ist die Mannigfaltigkeit der Repräsentant einer selbst eigenschaftslosen Raumzeit-Substanz.

Für ein derartiges Verständnis der Mannigfaltigkeit hat Hartry Field argumentiert: Sein Argument beginnt mit der Beobachtung, dass der Begriff des „physikalischen Feldes“, der die räumliche Verteilung einer physikalischen Größe bezeichnet, für weite Teile der modernen Physik unverzichtbar ist. Physikalische Felder werden jedoch durch mathematische Objekte repräsentiert, die auf der Mannigfaltigkeit definiert werden. Die geradlinige Lesart ist, dass es sich bei den Punkten auf M um die Träger von metrischen und Masseeigenschaften handelt.²⁰ Damit drängt sich eine Parallele auf zwischen der klassischerweise Substanzen zugeschriebenen Eigenschaft, als fundamentale Entität letztes Objekt des Prädizierens zu sein und der Eigenschaft der Mannigfaltigkeit, letzter Träger von Feldern zu sein.²¹ Aufgrund der Standarddefinition von Feldern, die auf die gesamte Mannigfaltigkeit Bezug nimmt, wie Earman klarmacht:

„It is clear that the *standard characterization of fields* uses the full manifold structure: the points, the topology, and the differentiable structure.“²²

hat dies die Konsequenz, dass uns eine ontologisch ernsthafte Verpflichtung auf physikalische Felder implizit auch auf die Existenz eines Objektes festlegt, das der gesamten Mannigfaltigkeit M entspricht.

Ein Verständnis von Raumzeitpunkten als primitive, ontologisch basale Objekte, die geometrische Eigenschaften und Relationen haben, scheint sich relativ problemlos in ein klassisches metaphysisches Bild zu fügen, unter dem die fundamentalen Bausteine der Welt metaphysisch primitive Einzeldinge, Eigenschaften und Relationen sind.

3.2 „Verfeinerter“ Substantivalismus

Der verfeinerte Substantivalismus lässt sich durch die Feststellung motivieren, dass es sich bei der bloßen Mannigfaltigkeit um ein scheinbar strukturloses Objekt handelt, das für räumliche und zeitliche Relationen nicht aufkommen kann, im Gegensatz zur Metrik. Daher werde ich im Folgenden eine Form des „Substantivalismus über die Metrik“ darstellen.

Dabei handelt es sich um eine von Carl Hoefer vorgeschlagene Form des verfeinerten Substantivalismus.²³ Dieser betrachtet eine reichere Struktur, die Mannigfaltigkeit mit Metrik, als Repräsentant der Raumzeit. Die maßgebliche Qualifizierung besteht darin, dass den Raumzeitpunkten keine *primitive Identität* zugeschrieben wird. Unter „primitiver Identität“ oder „intrinsischer Individualität“ kann in etwa die Eigenschaft eines Gegenstands verstanden werden, über

²⁰Siehe Field 1980, S. 35.

²¹Siehe Earman 1989, S. 155.

²²Earman 1989, S. 159.

²³Wenn ich im folgenden von „verfeinertem Substantivalismus“ spreche, soll damit explizit diese Position gemeint sein.

seine qualitativen Eigenschaften hinaus *dieses* eine Einzelding zu sein.²⁴ So erlaubt intrinsische Individualität, dass zwei numerisch unterschiedliche Einzeldinge über dieselben qualitativen Eigenschaften verfügen.

Unter Hoefers Auffassung ist der maßgebliche Repräsentant der substantiellen Raumzeit die Metrik g . Demgegenüber soll das Element der Realität, welches der Mannigfaltigkeit entspricht, die Topologie und Kontinuität der Raumzeit sein. Grob gesagt, verfügt die Substanz Raumzeit also über Metrik, Topologie und Kontinuität.²⁵

Damit verpflichtet sich der verfeinerte Substantivalist auf eine Menge von nicht intrinsisch individuierten Raumzeitpunkten sowie eine Geometrie. Da die Geometrie der substantielle Gegenstand ist, während Individuen als austauschbare „Aufhänger“ von Eigenschaften existieren, scheint mir folgendes die plausibelste Systematisierung seiner Theorie zu sein: Die geometrischen Relationen, die für den Substanzstatus der Raumzeit verantwortlich sind, sind metaphysisch mindestens ebenso grundlegend wie die Raumzeitpunkte, zwischen denen sie bestehen. Präziser gesagt, scheint der verfeinerte Substantivalismus *entweder* darauf verpflichtet zu sein, dass die basalsten ontologischen Objekte relationale Strukturen wie die Metrik sind, während Einzeldinge metaphysisch sekundär sind – *oder* darauf, dass sowohl Einzeldinge als auch eine relationale Struktur vorliegen, die gemeinsam Raumzeitpunkte mit Eigenschaften konstituieren. Wenn diese Lesart korrekt ist, erscheint es plausibel, ihm das Etikett „Ontischer Strukturalismus“ anzuheften, wie Ladyman vorgeschlagen hat.²⁶ Diese Möglichkeiten ergeben sich aus der Verneinung von intrinsischer Individualität – wenn Einzeldinge nicht *per se* individuiert sind, dann scheint es unintuitiv, sie als alleinige, fundamentale Basis der Realität zu verstehen.

4 Die Wahl eines Substantivalismus

Die Frage, welche Form des Substantivalismus vorzuziehen ist, verlangt nach Kriterien der Theoriewahl: Wie entscheiden wir plausiblerweise zwischen zwei rivalisierenden Ontologien, die auf derselben physikalischen Theorie basieren? Ich habe zuvor angedeutet, dass eine Entscheidung auf zwei Arten von Kriterien beruhen sollte:

- (1) Erhalten zentraler Eigenschaften und Relationen der mathematischen Objekte bei der Übersetzung in eine Ontologie sowie
- (2) Erfüllen von theoretischen Ansprüchen an einen Substantivalismus.

Dabei zerfallen die theoretischen Ansprüche (2) in zwei Subkategorien: Zum einen sollte gewährleistet sein, dass unser Substantivalismus *intern konsistent* ist. Darunter ist zu verstehen, dass das fragliche Objekt zentrale Substanzeigenschaften aufweist. Zum anderen muss gewährleistet werden, dass der Substantivalismus mit anderen, plausiblen Theorien über die

²⁴Siehe Ladyman 2007, S. 27.

²⁵Siehe Hofer 1996, S. 24. Mir scheint es plausibel, die Individualität der Raumzeitpunkte durch die relationale Struktur der Geometrie zu gewährleisten: Angenommen, wir verfügen aufgrund der mangelnden primitiven Identität über keine Möglichkeit, primitive Individualität zu begründen, dann könnte auf anderem Wege für die Individualität der Raumzeitpunkte aufgekommen werden: Geometrische, irreflexive Beziehungen wie die Abstandsbeziehung könnten die Individualität der Punkte begründen.

²⁶Siehe Ladyman 2013.

Welt konsistent ist. Diese Eigenschaft des fraglichen Substantivalismus werde ich *externe Konsistenz* nennen.

4.1 Übersetzung der Modelle

Wenn wir annehmen, dass unsere besten wissenschaftlichen Theorien wahr oder annähernd wahr sind, dann erscheint es plausibel anzunehmen, dass die Objekte, von denen in ihnen die Rede ist, tatsächlich in der Welt vorliegen. Eine starke Form dieses wissenschaftlichen Realismus entspricht dann der These, dass auch die Eigenschaften dieser Objekte Entsprechungen in der Welt haben. Damit ist eine Ontologie dann plausibler als eine andere, wenn sie uns auf Entitäten verpflichtet, welche zentrale Eigenschaften der Entitäten in der zugrundeliegenden physikalischen Theorie abbilden. Zu dem, was erhalten werden sollte, gehören einerseits die monadischen Eigenschaften der mathematischen Objekte, andererseits die Relationen, die zwischen ihnen bestehen.

Dies stellt offensichtlich kein Problem für den einfachen Substantivalismus dar, da dieser die physikalische Repräsentation direkt in eine Ontologie übersetzt, bei welcher auch die relevanten Relationen erhalten bleiben: So sind die Raumzeitpunkte hier fundamental, und bei Geometrie und Masse handelt es sich nach seiner Lesart um metaphysisch nachgeordnete Entitäten.

Der verfeinerte Substantivalismus à la Hofer hingegen kehrt die Beziehungen der metaphysischen Priorität, die in den mathematischen Modellen bestehen, in seiner Übersetzung um: Während die Punkte von M in der mathematischen Repräsentation eindeutig fundamental sind, haben die Raumzeitpunkte sie unter dem verfeinerten Substantivalismus entweder *denselben* Status wie die geometrischen Relationen oder sind sogar sekundär.

Weiterhin ist zu beobachten, dass sich im verfeinerten Substantivalismus eine zentrale Eigenschaft der mathematischen Repräsentation nicht wiederfindet, nämlich die primitive Identität der Punkte auf der Mannigfaltigkeit M . Während diese sich „solo numero“²⁷, also allein aufgrund der Zahlenwerte unterscheiden, ohne über Eigenschaften zu verfügen, die eine qualitative Unterschiedlichkeit begründen könnten, finden wir in Hoefers Substantivalismus eine klare Zurückweisung von primitiver Identität.

Damit zeigt sich, dass der einfache Substantivalismus – wie zu erwarten war – deutlich näher an den mathematischen Repräsentationen der ART bleibt. Ich denke allerdings, dass es Möglichkeiten gibt, den verfeinerten Substantivalismus angesichts dessen zu rechtfertigen. Eine Möglichkeit ist, zu zeigen, dass es sich bei der primitiven Identität der mathematischen Punkte in unseren Modellen um ein bloßes Artefakt unserer Repräsentation handelt – oder eine Reformulierung anzubieten, die nicht von intrinsisch individuierten Objekten Gebrauch macht.

4.2 Konsistenz

Bei der gerade untersuchten Übereinstimmung mit unseren physikalischen Modellen handelt es sich um eine erste Anforderung an unseren Substantivalismus. Eine zweite wichtige Anforderung ist diejenige der Konsistenz mit plausiblen theoretischen Annahmen. Dieser Anspruch zerfällt in die Bereiche

²⁷Hofer 1996, S. 23.

- (2.1) Innertheoretische oder interne Konsistenz und
- (2.2) Konsistenz mit anderen plausiblen Theorien.

Die Frage der internen Konsistenz betrifft insbesondere die Frage, ob der Substanzkandidat klarerweise Substanzeigenschaften aufweist. Die externe Konsistenz betrifft die Passung mit anderen, selbst plausiblen Theorien über die Welt. Dabei soll der Fokus auf dem Determinismus liegen: So haben Earman und Norton 1987 behauptet, die – ihrer Wertung nach – plausibelste Form des Substantivalismus verpflichte uns auf den Indeterminismus.

4.2.1 Interne Konsistenz

Damit die Theorie intern konsistent ist, sollte ein Gegenstand, dem Substanzstatus zugesprochen wird, der obigen Substanzdefinition gerecht werden. Im Folgenden habe ich mich auf Minimalkriterien für den Substanzstatus eines Gegenstands beschränkt, die zwischen den beiden Kandidaten – Metrik und Mannigfaltigkeit – gut differenzieren.

(2.1.1) Er ist weitgehend metaphysisch *unabhängig*, verfügt also über eine geringe Anzahl wesentlicher Relationen, welche die Existenz eines anderen Objekts implizieren.²⁸

(2.1.2) Er verfügt über raum-zeitliche Struktur, die für die zwischen materiellen Gegenständen bestehenden räumlichen und zeitlichen Relationen aufkommen kann.²⁹

Die zentrale Rolle dieser Kriterien ist klar: Diejenige Theorie, die sie nicht erfüllt, erscheint kaum gerechtfertigt, sich überhaupt *Substantivalismus* zu nennen. Dass der Substanz raumzeitliche Struktur eingebaut sein sollte, erwächst aus der primären Motivation des Substantivalismus, eine *Erklärung* für die räumlichen und zeitlichen Beziehungen zwischen materiellen Einzeldingen geben zu können.

Die Forderung nach der metaphysischen Unabhängigkeit spricht gegen den einfachen Substantivalismus: So herrscht unter Physikern weitgehend Einigkeit dahingehend, dass sich an jedem Punkt der Raumzeit physikalische Felder befinden, und zwar unter jeder Lösung der Feldgleichungen.³⁰ Da diese Feldgleichungen die Gesetze der Theorie repräsentieren, ist unter allen gemäß der ART physikalisch möglichen Szenarien *keines*, an dem an irgendeinem Ort kein metrisches oder Masse-Feld vorliegt. Damit lässt sich die Ansicht plausibilisieren, dass jeder Raumzeitpunkt nur dann existiert, wenn er besetzt ist. Oder, in metaphysischen Begriffen: Zu den wesentlichen Eigenschaften jedes einzelnen Raumzeitpunktes gehört es, besetzt zu sein.³¹

²⁸Vergleiche Healey 1995, S. 297.

²⁹In der Debatte sind weitere Kriterien vorgeschlagen worden, von denen zwei interessante genannt seien: Earman und Norton nennen den Anspruch, zwischen dem *Behälter* und dem *Enthaltenen* differenzieren zu können. Ihre Idee ist, dass Energie tragende Objekte – wie g – sich nicht vom Enthaltenen unterscheiden lassen. Siehe Earman und Norton 1987, S. 519. Dies ist wenig überzeugend, weil die Unterscheidung zwischen T und g aufgrund der unterschiedlichen mathematischen Form unproblematisch ist. Zudem ist der Status von g als Energie tragendes Objekt umstritten. Siehe dazu Baker 2005, S. 1303–1306.

Baker nennt den Anspruch, *aktiv* zu sein, also kausal auf materielle Objekte einwirken zu können. Dies ist sekundär, weil es auf einer spezifischen Theorie von Substanzen basiert. Siehe dazu Baker 2005, S. 1299.

³⁰Siehe Earman und Norton, S. 521.

³¹Strenggenommen ist diese Aussage natürlich stärker als die erste, allerdings ist der Übergang durch die vorangegangene Argumentation über mögliche Szenarien gerechtfertigt.

Ebendiese Besetzungsrelation impliziert allerdings die Existenz eines je anderen Objekts.

Gleichzeitig ist eine massfreie Metrik jedoch mit den Gesetzen der ART vereinbar. Unter der sogenannten „Minkowski-Metrik-Lösung“ der Feldgleichungen nimmt der der Energie-Impuls-Tensor T den Wert null an.³² Wenn unsere physikalischen Gesetze allerdings die Existenz einer massfreien Metrik erlauben, dann kann zu den *wesentlichen* Eigenschaften der Metrik keine gehören, welche die Existenz eines anderen Objekts impliziert: Etwas, das zu den wesentlichen Eigenschaften eines Objekts gehört, muss in allen möglichen Welten der Fall sein, in denen das Objekt existiert. Da die Metrik mindestens nicht in allen physikalisch möglichen Welten von materiellen Objekten besetzt ist, ergibt sich, dass die Besetzungsbeziehung nicht zu ihren wesentlichen Relationen gehört. Somit scheint es, als repräsentiere die Metrik g – wie gefordert – ein selbstgenügsames Objekt, die Mannigfaltigkeit M aber nicht.

Betrachten wir die Mannigfaltigkeit M unter dem Kriterium der eingebauten raumzeitlichen Struktur: Sie besteht aus einer Menge an Punkten X und einer darauf definierten Topologie T_p , welche eine Struktur der „Nähe“ mathematischer Punkte festlegt. Worüber M allerdings nicht verfügt, sind Informationen, die es erlauben, die exakten Abstände zwischen zwei beliebigen Punkten p und q auf der Mannigfaltigkeit zu bestimmen.³³ Ebenso wenig existiert eine Unterscheidung der drei räumlichen und der Zeitdimension.³⁴ Damit ist es falsch, anzunehmen, dass sich die zeitlichen und räumlichen Distanzen zwischen zwei beliebigen physikalischen Ereignissen auf eine Struktur zurückführen lassen, die in M mitrepräsentiert wird.

Im Gegensatz dazu definiert die Metrik räumliche und zeitliche Eigenschaften. Jedenfalls sind Abstände zwischen zwei beliebigen Punkten p und q im mathematischen Modell aufgrund von metrischer Information bestimmbar. Ebenso erlaubt die Metrik eine Differenzierung von zeitlichen und räumlichen Dimensionen.³⁵ Somit können wir plausiblerweise annehmen, dass raum-zeitliche Relationen zwischen materiellen Gegenständen im Universum aufgrund der Geometrie bestehen.³⁶

Damit wird unsere Anforderung, dass ein Substanzkandidat hinreichende Information über die raum-zeitlichen Relationen eingebaut haben soll, um für die Relationen zwischen materiellen Gegenständen aufkommen zu können, nur von demjenigen Objekt erfüllt, das durch die Gesamtheit von Metrik und Mannigfaltigkeit repräsentiert wird.

4.2.2 Externe Konsistenz

Im Sinne der externen Konsistenz sollten unsere metaphysischen Festlegungen die Möglichkeit eines Determinismus nicht *per se* ausschließen. In einem Aufsatz von 1987 haben Earman und Norton behauptet, dass die plausibelste Form des Substantivalismus, der *einfache* Substantivalismus, uns auf den Indeterminismus verpflichtet. Ihr Argument lässt sich in etwa folgendermaßen rekonstruieren:

³²Hoefler 1996, S. 12. Strenggenommen ist die Minkowski-Metrik-Lösung eine Lösung der früheren Einsteinschen Feldgleichungen ohne die kosmologische Konstante. Für die neueren Gleichungen existiert ebenfalls eine derartige Lösung, die „DeSitter-Lösung“. Vergleiche Baker 2005, S. 1301.

³³Siehe Maudlin 1988, S. 87.

³⁴Siehe Hoefler 1996, S. 11, Fußnote 9.

³⁵Siehe Maudlin 1988, S. 87.

³⁶Strenggenommen aufgrund der Metrik g und der Mannigfaltigkeit M .

Nehmen wir einmal an, dass wir über ein Modell $\langle M, g, T \rangle$ verfügen, das unser materielles Universum korrekt beschreibt. Das sogenannte *Loch-Argument* basiert nun darauf, dass die allgemeine Kovarianz der Einsteinschen Feldgleichungen sich auf zwei Arten verstehen lässt. Interpretieren wir sie *aktiv*³⁷, dann kommt sie der Freiheit gleich, Metrik und Masse eines Ursprungsmodells U auf derselben Mannigfaltigkeit M gemäß einer spezifischen topologischen Transformation zu verschieben, die glatte Kurven auf glatte Kurven abbildet. Dabei erhalten wir wiederum ein Modell der Theorie – unter der Bedingung, dass auch das neue Modelle U^* die Feldgleichungen erfüllt. Derartige Abbildungen eines Modells werden, wenn sie auf M stattfinden, als *Autodiffeomorphismen* bezeichnet.³⁸ Damit transformiert ein Diffeomorphismus h unser Ursprungsmodell

$$U = \langle M, g, T \rangle \text{ zu}$$

$$U^* = \langle M, h * g, h * T \rangle.$$

Den Punkten von M werden also andere metrische und Massfelder zugewiesen als im ursprünglichen Modell. Wenn wir uns darauf festlegen, dass es sich bei M um den Repräsentanten der substantiellen Raumzeit handelt, dann beschreiben beide Modelle physikalisch mögliche Szenarien, da h nur den *Gehalt* der Mannigfaltigkeit verschiebt. Gleichzeitig beschreiben U und U^* physikalisch distinkte Weltverläufe: Sie unterscheiden sich darin, welche Raumzeitpunkte welchen materiellen Prozessen unterliegen.³⁹

Ein spezifischer Typ von Diffeomorphismen erlaubt die Formulierung des Loch-Dilemmas: So sind sogenannte *Loch-Diffeomorphismen* mit den Gesetzen der ART kompatibel. Dabei handelt es sich um Autodiffeomorphismen, die nur die Metrik und Massfelder innerhalb einer beliebig großen Umgebung verschieben, alles andere jedoch unberührt lassen. Jene betroffene Region wird als „Loch“ bezeichnet.⁴⁰ Wenden wir einen Loch-Diffeomorphismus auf unser Ursprungsmodell U an, erhalten wir ein Modell U_H . Auch die durch U und U_H bezeichneten Weltverläufe muss der Substantivalist über die Mannigfaltigkeit als physikalisch distinkt betrachten.⁴¹ Zu bemerken ist jedoch, dass diffeomorphe Modelle empirisch ununterscheidbar sind.⁴²

(P1) Der einfache Substantivalismus gilt: U und U_H repräsentieren physikalisch unterschiedliche, gleichermaßen mögliche Verteilungen von Metrik und Masse über die Raumzeit.

Da das *Loch-Dilemma* auf den Indeterminismus abzielt, benötigen wir nun noch eine Formulierung des Determinismus. In Anlehnung an Earman möchte ich folgende Definition

³⁷Aktive allgemeine Kovarianz ist äquivalent zu einer anderen Freiheit, die als *passive allgemeine Kovarianz* bezeichnet wird und die Freiheit beschreibt, ein anderes Koordinatensystem zu verwenden, ohne die Feldgleichungen zu verletzen.

³⁸Grob gesagt, handelt es sich bei Diffeomorphismen um solche Transformationen der Mannigfaltigkeit, dass die differenzierbare Struktur erhalten bleibt. Siehe Maudlin 2012, S. 8.

³⁹Vergleiche Hofer 1996, S. 9.

⁴⁰Siehe Norton 1999.

⁴¹Vergleiche Maudlin 1988, S. 85.

⁴²Vergleiche Maidens 1992, S. 133.

vorschlagen:

(P2) Die Gesetze einer Theorie sind genau dann deterministisch, wenn für jedes Paar von Modellen $\langle U, U^* \rangle$ der Theorie gilt: Wenn sie zu einem Zeitpunkt t_0 ⁴³ hinsichtlich des beschriebenen physikalischen Zustands übereinstimmen, dann stimmen sie zu allen Zeitpunkten überein.⁴⁴

Und wir fügen als Prämisse hinzu:

(P3) t_0 liegt außerhalb des Lochs.

Damit determinieren die Gesetze unserer Theorie den Zustand der physikalischen Felder im Loch nicht: Wir verfügen über zwei physikalisch mögliche Modelle, die außerhalb des Lochs denselben physikalischen Zustand beschreiben, sich innerhalb des Lochs allerdings unterscheiden. Unsere Naturgesetze, die in den Feldgleichungen ausgedrückt sind, determinieren also den Zustand innerhalb des Lochs nicht.⁴⁵ Somit sind wir auf folgende Konklusion festgelegt:

(K) Entweder sind die Gesetze der ART, die in den Feldgleichungen ausgedrückt werden, indeterministisch, oder der einfache Substantivalismus ist falsch.

Dies zeigt, dass der einfache Substantivalismus die Möglichkeit des Determinismus ausschließt. Nun handelt es sich bei dem Determinismus allerdings um eine erst einmal plausible Theorie über die Welt, die sicherlich nicht *nur* aufgrund von metaphysischen Festlegungen aufgegeben werden sollte.⁴⁶

Gleichzeitig betrifft dieser Indeterminismus jedoch nicht den Substantivalisten über die Metrik. Wie oben dargestellt, versteht dieser die Metrik g als primären Repräsentanten der Raumzeit, lehnt es gleichzeitig aber ab, primitiv identische Raumzeitpunkte in seine Ontologie mit aufzunehmen. Für ihn besteht somit die Möglichkeit, den Loch-Diffeomorphismus als bloße Permutation der zugrundeliegenden Raumzeitpunkte zu verstehen: U und U_H sind nämlich metrische Duplikate voneinander, die Gesamtheit der metrischen Struktur bleibt also über den Diffeomorphismus erhalten.⁴⁷ Da sich der verfeinerte Substantivalismus nicht darauf festgelegt hat, dass Raumzeitpunkte primitiv identisch sind, ist deren Verteilung für ihn nicht von Relevanz.

So muss dieser keine distinkte physikalische Möglichkeit postulieren, sondern kann sich darauf zurückziehen, die diffeomorph zu U in Beziehung stehenden Modelle aufgrund der qualitativen Identität der repräsentierten möglichen Welten als Repräsentationen von *ein und derselben* möglichen Welt zu verstehen, nämlich der *aktualen*. Wenn der Substantivalist diesen Weg wählt, dann hat er dem drohenden Indeterminismus eine Antwort entgegensetzen, welche die empirische Äquivalenz der vielen, durch diffeomorphe Modelle beschriebenen möglichen Welten dadurch erklärt, dass es sich schlicht um dieselbe mögliche Welt handelt.

⁴³In der ART: Zu einer globalen Zeitscheibe t_0 .

⁴⁴Vergleiche Earman 1986, S. 20f.

⁴⁵Siehe Earman und Norton 1987, S. 522f.

⁴⁶Vergleiche Earman und Norton 1987, S. 524.

⁴⁷Siehe Bartels 1996, S. 30.

5 Konklusion

In obiger Diskussion hat sich gezeigt, dass unsere beiden Kandidaten für den Substanzrepräsentanten je in genau einem der beiden Bereiche überlegen sind, die ich vorgeschlagen habe: Während der einfache Substantivalismus in stärkerem Maß für sich beanspruchen kann, die Modelle der ART ernst zu nehmen, kann der verfeinerte Substantivalismus sowohl durch die interne als auch durch die externe Konsistenz punkten. Die Vermeidung des Indeterminismus wiegt dabei schwer, insbesondere, da die Lösung dieses Substantivalisten mit der Auskunft der meisten Physiker über die diffeomorphen Modelle übereinstimmt.

Auch wenn es sich hier um keinen sicheren „Sieg nach Punkten“ handelt, erscheint mir der verfeinerte Substantivalismus plausibler. Betrachten wir nämlich die Art der angelegten Kriterien, dann zeigt sich ein bedeutender Unterschied: Wenn wir nach der Konsistenz mit plausiblen Theorien über die Welt fragen – gerade mit plausiblen Anforderungen an Substanzen –, dann sind die auftauchenden Probleme nur auf zwei Arten und Weisen zu beheben: Entweder, der einfache Substantivalismus wird modifiziert, oder die angelegten Kriterien werden als falsch zurückgewiesen. Gerade die Tatsache, dass die Mannigfaltigkeit M die klassischen Kriterien für Substanzen nicht erfüllt, dass ihr kaum raum-zeitliche Struktur eingebaut ist und sie scheinbar vom materiellen Gehalt des Universums abhängig ist, spricht stark gegen einen Realismus über ein Objekt, das mit der bloßen Mannigfaltigkeit korrespondiert.

Anders sieht es hingegen für die Übereinstimmung mit den Modellen der ART aus: Ich habe weiter oben bereits angedeutet, dass es mehrere Wege für den überzeugten Substantivalisten über die Metrik geben könnte, seine Theorie zu plausibilisieren, ohne den Substantivalismus selbst zu modifizieren. Eine Möglichkeit ist die, eine alternative Formulierung der Modelle vorzuschlagen, welche ohne intrinsische Individualität auskommt.

Was für den verfeinerten Substantivalismus allerdings ansteht, ist die Rechtfertigung eines breiteren, metaphysischen Projekts, das sich aus seiner Ansicht ergibt. Mir scheint, dass der verfeinerte Substantivalismus vor dem Hintergrund seiner Behauptung, die zentrale substantivalistische Struktur sei die Metrik, zwei Möglichkeiten hat: Entweder, er muss behaupten,

- (1) dass Einzeldinge und relationale Strukturen metaphysisch gleichermaßen grundlegend sind, oder
- (2) dass relationale Strukturen Einzeldingen gegenüber metaphysisch primär sind.

Dabei scheint (2) weniger plausibel zu sein als (1). So ist es nicht klar, wie irgendeine Relation, wie sie zwischen zwei Entitäten bestehen soll, um deren Individualität zu gewährleisten, *vor* dem Vorhandensein ihrer Relata vorliegen soll. Oder, auf den Punkt gebracht: „Relationen benötigen Relata.“⁴⁸ Doch auch (2) muss gerechtfertigt werden, insbesondere da die fragliche Struktur nicht über den Raumzeitpunkten superveniert.⁴⁹

Um auf unsere Ausgangsfrage zurückzukommen: Gemessen an den theoretischen Vorteilen sind wir am besten darin gerechtfertigt, Substantivalisten über eine reichere Struktur zu sein, die der Mannigfaltigkeit M mit Metrik g korrespondiert.

⁴⁸Ladyman 2013.

⁴⁹Siehe Ladyman 2013.

Literaturverzeichnis

Anderson, James: *Principles of Relativity Physics*, New York, 1967.

Baker, David: „Spacetime Substantivalism and Einstein’s Cosmological Constant“, in: *Philosophy of Science*, 2005, S. 1299–1311.

Bartels, Andreas: „Modern Essentialism and the Problem of Individuation of Spacetime Points“, in: *Erkenntnis*, 1996, S. 25–43.

Belot, Gordon und John Earman: „From Metaphysics to Physics“, in: *From Physics to Philosophy*, Hg. Jeremy Butterfield und Constantine Pagonis, Cambridge, 1999.

Earman, John: *A Primer on Determinism*, Dordrecht, 1986.

Earman, John: *World Enough and Space-Time: Absolute versus Relational Theories on Space and Time*, Cambridge, 1989.

Earman, John und John Norton: „What Price Spacetime Substantivalism? The Hole Story“, in: *The British Journal for the Philosophy of Science*, Ausgabe 38, Nr. 4, 1987, S. 515–525.

Field, Hartry: *Science Without Numbers*, New Jersey, 1980.

Healey, Richard: „Substance, Modality and Spacetime“, in: *Erkenntnis*, Ausgabe 42, 1995, S. 287–316.

Hoefer, Carl: „The Metaphysics of Space-Time Substantivalism“, in: *The Journal of Philosophy*, Ausgabe 93, Nr. 1, 1996, S. 5–27.

Hughston, Lane und K. Paul Tod: *An Introduction to General Relativity*, Cambridge, 1990.

Ladyman, James: „Scientific structuralism: On the identity and diversity of objects in a structure“, in: *Aristotelian Society Supplementary Volume*, Nr. 81, 2007, S. 23–43.

Ladyman, James: „Structural Realism“, in: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Version Sommer 2013, Hg. Edward Zalta.

Lee, John: *Introduction to Topological Manifolds*, New York, 2000.

Maidens, Anna: „Review of John Earman’s *World Enough and Space-Time*“, in: *British Journal of the Philosophy of Science*, Nr. 43, 1992, S. 129–136.

Maudlin, Tim: „Buckets of Water and Waves of Space: Why Spacetime Is Probably a Substance“, in: *Philosophy of Science*, Ausgabe 60, Nr. 2, 1993, S. 183–203.

Maudlin, Tim: *Philosophy of Physics. Space and Time*, Princeton, 2012.

Maudlin, Tim: „Substances and Space-Time: What Aristotle Would Have Said to Einstein“, in: *Studies in History and Philosophy of Science*, Ausgabe 21, Nr. 4, 1990, S. 531–561.

Maudlin, Tim: *The Metaphysics Within Physics*, Oxford, 2007.

Maudlin, Tim: „The Essence of Space-Time“, in: *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, 1988, S. 82–91.

Nerlich, Graham: „Space-Time Substantivalism“, in: *The Oxford Handbook of Metaphysics*, Hg. Michael Loux und Dean Zimmerman, Oxford, 2003.

Norton, John: „The Hole Argument“, in: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Version Herbst 2011, Hg. Edward Zalta.