

Strukturenrealismus

Von Holger Lyre

Die Bezeichnung Strukturenrealismus (SR) fasst ein ganzes Bündel von Auffassungen zusammen, die sich der These verpflichten, dass unser Wissen über die theoretisch behaupteten Entitäten im Rahmen wissenschaftlicher Theoriebildung vorzugsweise oder ausschließlich struktureller und nicht gegenständlicher Natur ist. Der SR ist somit als spezielle Variante des wissenschaftlichen Realismus ansehbar, also der These, dass die theoretischen Terme unserer besten und reifsten Theorien referieren. In der weitverzweigten Debatte um den wissenschaftlichen Realismus genießt die strukturenrealistische Position seit einiger Zeit wieder vermehrten Zuspruch, ihr Grundthema begleitet die Wissenschaftsphilosophie jedoch schon seit dem ausgehenden 19. Jahrhundert.

Strukturen lassen sich rein formal auffassen als Mengen von Relationen, die einer Trägermenge aufgeprägt sind: Sei $a = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ eine Menge von n Objekten (Gegenständen) a_i und $R(a)$ die auf ihnen deklarierten Relationen, dann bildet das Tupel $\Sigma = \langle a, R(a) \rangle$ eine Struktur Σ . Die $R(a)$ können hierbei zunächst beliebige k -stellige Relationen darstellen. Im SR wird die ontische und epistemische Bedeutung der Relationen $R(a)$ hervorgehoben, während die Bedeutung und Rolle der Objekte a_i von allenfalls abgeleiteter Natur ist. Eine solche Auffassung erlangt Plausibilität, insofern die a_i ausschließlich über die $R(a)$ individuierbar sind. Dies ist im Fall der allgemeinen mathematischen Definition erfüllt: Σ ist nur bis auf Isomorphie, also die Menge aller die Struktur Σ erhaltenden Abbildungen definiert. Entsprechend lassen sich die Objekte a_i nur bis auf Isomorphie, aber eben nicht eindeutig individuieren.

Als Ahnvater des SR gilt gemeinhin der französische Physiker, Mathematiker und Wissenschaftstheoretiker Henri Poincaré. In einer bekannten Passage aus *La science et l'hypothèse* (1902) bezieht er sich auf die

früheren Fresnelschen Gleichungen der Optik und konstatiert, dass diese bei geeigneter Interpretation der Variablen in den später entwickelten und allgemeineren Maxwell-Gleichungen enthalten sind: „...*die genannten Gleichungen drücken Beziehungen aus, und sie bleiben richtig, solange diese Beziehungen der Wirklichkeit entsprechen. Sie lehren uns vorher wie nachher, daß eine gewisse Beziehung zwischen irgend einem Etwas und irgend einem anderen Etwas besteht; nur daß dieses Etwas früher Bewegung genannt wurde und jetzt elektrischer Strom heißt. Aber diese Benennungen waren nichts als Bilder, die wir an die Stelle der wirklichen Objekte gesetzt haben, und diese wirklichen Objekte wird die Natur uns ewig verbergen; die wahren Beziehungen zwischen diesen wirklichen Objekten sind das einzige Tatsächliche, welches wir erreichen können, und die einzige Bedingung ist, daß dieselben Beziehungen, welche sich zwischen diesen Objekten befinden, sich auch zwischen den Bildern befinden, welche wir gezwungenermaßen an die Stelle der Objekte setzen. Wenn diese Beziehungen uns bekannt sind, so macht es nichts aus, ob wir es für bequemer halten, ein Bild durch ein anderes zu ersetzen*“ (dt. Ausgabe 1906, Kap. 10).

Neben Poincaré vertraten auch Eddington und nach ihm Weyl explizit strukturenrealistische Standpunkte im Zuge der aufkommenden modernen Physik. Doch auch im logischen Empirismus, namentlich bei Bertrand Russell, Moritz Schlick und Rudolf Carnap, spielte das SR-Motiv eine zentrale Rolle. Russell, als Anhänger einer Sinnesdatentheorie, vertrat die Auffassung, dass wir von den physischen Dingen keine unmittelbare Kenntnis (im Sinne von „knowledge by acquaintance“) haben, und in der theoretischen Beschreibung lediglich die strukturellen Züge physischer Objekte, nicht jedoch deren intrinsische Eigenschaften erfassen (vgl. *The Analysis of Matter*, 1927). Schlick

DAS STICHWORT

bemerkt in seinen Ausführungen über *Form und Inhalt* (1932), dass der qualitative Erlebnisinhalt sprachlicher oder sonstiger Mitteilung unzugänglich ist, und wir bestenfalls nur das Relationengefüge der Qualitäten, also deren logische Struktur, wiedergeben können. Carnap verwendet in der Einführung seiner Konstitutionstheorie in *Der logische Aufbau der Welt* (1928) das Bild eines Eisenbahnnetzes, bei dem sich die Knoten (Bahnhöfe) nur rein strukturell, also durch ihre relationale Rolle im Gesamtnetz charakterisieren lassen. Nach Carnap beschränkt sich der Gehalt wissenschaftlicher Aussagen allein auf derartige strukturelle Kennzeichnungen. Dabei ist ohne Belang, auf welches Basissystem von Qualitäten wir zur Erfassung der Struktur zurückgreifen (Carnap selbst wählte im *Aufbau* die Basis des Eigenpsychischen). Als Folge der Individuation bis auf Isomorphie ergibt sich: „sollte ... nach Erschöpfung sämtlicher zu Gebote stehenden wissenschaftlichen Beziehungen sich noch kein Unterschied zwischen [zwei] Orten [der Netzkarte] ergeben haben, so sind sie eben nicht nur für die Geographie, sondern überhaupt für die Wissenschaft ununterscheidbar“ (Aufbau § 14).

Eine Variation strukturenrealistischen Denkens findet sich auch im Werk Ernst Cassirers. Nach Cassirer endet unsere Erkenntnis in bestimmten Grundrelationen, allgemeinen Funktionsformen, deren Status er im Sinne einer Generalisierung Kants transzendental zu begründen sucht. Mit der strukturalistischen Auffassung des logischen Empirismus hat Cassirers Position gemeinsam, dass auch hier eine epistemische Unzugänglichkeit der wahren Natur oder Qualitäten der Dinge an sich behauptet wird, die erkenntniskonstitutive Leistung des funktionalen Apriori kennzeichnet Cassirers Position jeder genauer als transzendentalen Strukturalismus.

Nun ist die These, dass wir lediglich ein Wissen von der abstrakten Struktur (des nicht-observablen Teils) der Welt haben, zunächst mit dem Problem behaftet, dass wir über die Natur der Relationen, die die Strukturen erklären, offenbar nichts aussagen können. Schon früh sah sich der SR hier vor den

von M. H. A. Newman (1928) erhobenen Trivialisierungseinwand gestellt, denn es besteht mathematisch immer die Möglichkeit, einer beliebigen Menge M unter Maßgabe einer abstrakten Relation R eine Struktur Σ aufzuprägen, vorausgesetzt, dass M die richtige Kardinalität besitzt. Macht man nun die im Rahmen der damaligen klassischen syntaktischen Theorien verbreitete Annahme, der empirische Gehalt einer Theorie ließe sich auf ihren Ramsey-Satz reduzieren (durch formale Elimination der theoretischen Terme mittels Ersetzung in Form gebundener Variablen), dann läge der strukturelle Gehalt rein in den Observablentermen und der Russell-Carnapsche SR würde zu einem trivialen Empirismus kollabieren (eine Konsequenz, die Russell nach Newmans Einwand offenbar akzeptierte und der gemäß er fortan dem SR den Rücken kehrte).

Ungeachtet dessen finden sich strukturenrealistische Positionen in der Mitte des 20. Jahrhunderts etwa beim späten Willard V. Quine sowie bei Grover Maxwell, auf den auch die Namengebung „structural realism“ zurückgeht. Der Strukturalismus der Sneed-Stegmüller-Schule zeigt indes ein anderes Verwandtschaftsmotiv zum (jüngeren) SR, insofern hier wie auch dort eine enge Verknüpfung zur semantischen Theorienauffassung besteht: Theorien werden nicht als Satzungen, sondern als Klassen von Modellen angesehen, also als wahre Interpretationen abstrakter Strukturen (meist im Sinne erfolgreicher Anwendungsfälle). Eine angemessene Beschreibung der Theoriendynamik erfolgt daher in beiden strukturalistischen Auffassungen in Form von partiellen Isomorphismen, Einbettungen und dergleichen.

Bas van Fraassen (1999) versucht umgekehrt, aus der semantisch-strukturalistischen Auffassung Argumente gegen den wissenschaftlichen Realismus zu gewinnen. Die strukturellen Gehalte unserer besten Theorien sind lediglich Modelle zur Systematisierung und „Rettung“ observabler Phänomene, die jedoch nicht realistisch zu interpretieren sind. Van Fraassens Strukturalismus ist daher ein Strukturalismus (bzw. „empiricist structuralism“).

DAS STICHWORT

Die neuere SR-Debatte wurde durch einen Aufsatz von John Worrall (1989) eingeleitet. Nach Worrall gelingt es im Rahmen des SR, den gängigen antirealistischen Einwänden in der Diskussion um den wissenschaftlichen Realismus, namentlich der Theorienunterbestimmtheit (TUB) und der pessimistischen Metainduktion (PMI), zu entgehen, ohne den entscheidenden Vorzug des Realismus, die Erklärbarkeit des offensichtlichen Anwendungserfolgs der Wissenschaften, aufzugeben. Dieser Vorzug wird üblicherweise als entscheidendes positives Argument für den wissenschaftlichen Realismus angesehen und in Anlehnung an Putnam als „no miracle“-Argument bezeichnet; denn derjenige, der den Realismus aufgibt, kann laut Putnam den Anwendungserfolg der Wissenschaften nur als ein buchstäbliches Wunder verständlich machen.

Eine kurze Betrachtung der antirealistischen Einwände erlaubt, Worralls Pointe verständlich zu machen. Die TUB-These besagt, dass jedes Korpus von Beobachtungsdaten jede darauf zu gründende Theorie prinzipiell unterbestimmt lässt. Träfe dies zu, so ließe sich generell keine Theorie als wahr erweisen, da es zu jeder möglichen Theorie empirisch äquivalente Rivalen gibt, die dennoch ontologisch different sind. In ihrer starken, von Quine vorgebrachten Form ist diese These nochmals radikaler als der ebenfalls nach Quine und Duhem benannte Bestätigungsholismus, demzufolge nicht einzelne Sätze, sondern einzig Satzsysteme als ganze einer empirischen Prüfung unterzogen werden können, denn Unterbestimmtheit bezieht sich auch auf ganze Satzsysteme oder gar auf die Totalität alles empirisch Wissbaren. Der wissenschaftliche Realist hat demnach keinerlei Handhabe, das ontologische Mobiliar der Welt, also die Menge der wahrhaft referierenden Terme zu bestimmen.

Die PMI bezieht, wie von Larry Laudan (1981) vehement vorgebracht, ihre Schlagkraft aus einer Sichtung der Wissenschaftsgeschichte. In der Vergangenheit hat es demnach unzählige, zu ihrer jeweiligen Zeit reife Theorien gegeben, die sich im Laufe

der Wissenschaftsentwicklung jedoch als falsch und deren theoretischen Terme sich infolge dessen als nicht referierend herausgestellt haben. Phlogiston- oder Äthertheorien sind paradigmatische Fälle. Per (Meta-) Induktionsschluss über die Wissenschaftsgeschichte folgt, dass wir heute in keiner besseren Situation sind, sondern dass im Gegenteil auch die vermeintlichen Entitäten unserer heutigen Theorien als nicht realinterpretierbar angesehen werden müssen.

Nach Worrall kann nun der SR den durch TUB und PMI formulierten antirealistischen Einwänden entgehen, insofern Strukturenrealisten sich nicht auf den gegenstandsartigen Gehalt von Theorien beziehen. Denn die im Falle von TUB auftretenden Theorierivalen weisen zwar eine differente Ontologie hinsichtlich der behaupteten gegenstandsartigen Entitäten, nicht aber hinsichtlich des strukturellen Gehalts auf. Ebenso zeigen sich im Theorienwandel zwar mitunter erhebliche Brüche und Inkommensurabilitäten hinsichtlich der relevanten Gegenstände, dies aber längst nicht im gleichen Maße hinsichtlich des strukturellen Gehalts. Insofern die in der wissenschaftlichen Entwicklungsabfolge auftretenden mathematischen Strukturen durch (partielle) Einbettungen und Erweiterungen ineinander überführbar sind, gestattet die strukturalistische Sichtweise viel eher die Rekonstruktion einer kontinuierlichen und kumulativen Fortschrittshistorie (hier zeigt sich nochmals die Affinität zur semantischen Theorienauffassung). Der SR bietet daher nach Worrall „*the best of both worlds*“, da er die Schlagkraft des „no miracle“-Arguments beibehält, ohne den Einwänden von TUB und PMI zu erliegen.

Ein weiterer Fortschritt in der Diskussion wurde erzielt durch die von James Ladyman (1998) in die Debatte eingebrachte Unterscheidung zwischen einer moderaten *epistemischen* (ESR) und einer radikalen *ontischen Variante* (OSR) des SR. ESR-Vertreter können behaupten, dass sowohl gegenstandsartige Entitäten als auch die zwischen ihnen erklärten strukturellen Beziehungen existieren, dass wir aber nur Wissen über letztere besitzen, da uns die Gegenstände in ihrer wahren

DAS STICHWORT

Natur epistemisch versperrt sind. Demgegenüber behaupten OSR-Vertreter, dass einzig und ausschließlich Strukturen existieren.

Worrall und vor ihm wohl beinahe sämtliche SR-Positionen sind als ESR-Varianten anzusehen. Bezüglich des ESR wird seit einiger Zeit auch der Newman-Einwand erneut aufgegriffen. Im Zusammenspiel mit der neueren semantischen Theorienauffassung, die die theoretisch/beobachtbar-Unterscheidung in Frage zieht, zeigt Newmans Einwand jedoch eher eine Analogie zu Putnams modelltheoretischem Argument, wonach keine Hoffnung besteht, intendierte vor nicht-intendierten Modellen einer Theoriestruktur auszuzeichnen (jedenfalls gewiss nicht im Rahmen rein struktureller Kennzeichnungen). In der Debatte ist derzeit noch offen, in welchem Umfang dies als echter Einwand gegen den SR zu werten ist – insofern etwa zur Vermeidung des Einwands durch den Versuch der Auszeichnung intendierter Relationen zwangsläufig die im SR vorausgesetzte Struktur/Natur-Unterscheidung unterminiert wird (vgl. Psillos 2001) –, oder ob aber die tatsächliche Unmöglichkeit der Auszeichnung intendierter Relationen schlicht unproblematisch und sogar willkommen ist (vgl. Votsis 2003).

Ein entscheidender Verdienst der Ladyman-schen Unterscheidung von ESR und OSR besteht in einer bemerkenswerten Verschiebung der neueren Motivationsgewichte des SR. Denn um seine eigene OSR-These plausibel zu machen, greift Ladyman auf Arbeiten von Steven French und Michael Redhead (1988) zum Problemkreis der Individualität in der Quantentheorie zurück: Nach gängiger Auffassung verletzt die Quantenstatistik ununterscheidbarer Teilchen das Leibniz-Prinzip der Identität des Ununterscheidbaren. In Ermangelung eines alternativen Individuationsprinzips spricht man daher von der Nicht-Individualität von Quantenobjekten. Insbesondere French hat demgegenüber hervorgehoben, dass die Quantentheorie durchaus mit einer Ontologie von Individuen kompatibel sei, insofern man an der metaphysischen Annahme einer Haecceitas der Objekte festhalten kann, wenngleich die an

ihnen operational feststellbaren Eigenschaften keinerlei Unterscheidung gestatten. Nach French besteht hier vielmehr eine elementare „metaphysische Unterbestimmtheit“ (im Gegensatz zur gewöhnlichen TUB), insofern die fundamentalen Bausteine uns sogar hinsichtlich ihres Individuencharakters im Unklaren lassen. Dies, so French und Ladyman (2003), ist als direkter Beleg für OSR zu werten, da eine Unterbestimmtheit der Gegenstandstheorie in diesem Sinne einer Auflösung des Gegenstandskonzepts gleichkommt (vgl. auch Quines Aufsatz *Wither Physical Objects?*, 1976).

Wenngleich diese spezielle Schlussfolgerung sicher diskutabel ist, so zeigt sie doch exemplarisch die erwähnte Verschiebung der Motivationsgewichte, insofern die von French und Ladyman vorgebrachten Argumente zur Stützung des SR sich aus einer direkten Analyse der fundamentalen Physik speisen – und nicht wie bei Worrall aus ihrerseits keineswegs unstrittigen antirealistischen Einwänden, wie sie TUB und PMI darstellen. Die Gewichte der jüngeren Debatte haben sich demnach von der Wissenschaftstheorie zur modernen Naturphilosophie verschoben.

SR-Argumente finden sich in jüngster Zeit auf der ganzen Breite der Philosophie der Physik. So zeigt beispielsweise John Stachel (2002), dass die Symmetriestruktur moderner Gravitationstheorien, speziell der Allgemeinen Relativitätstheorie, in analoger Weise zur Nicht-Individuierbarkeit von Raum-Zeit-Punkten führt, wie die Quantenstatistik zu nicht-individuierbaren Quantenobjekten. Der Permutationsinvarianz im letzteren Falle entspricht die Diffeomorphismeninvarianz, also Invarianz unter lokalen Punktverschiebungen, im ersteren Falle. Auch die in der Gegenwartphysik als fundamental angesehenen lokalen Symmetrien (Eichsymmetrien) legen eine sehr weitgehende Stützung des SR nahe: Teilchen werden durch gruppentheoretische Invarianten und Darstellungen lediglich als Objektklassen, nicht als Individuen eingeführt, Eichtheorien führen zudem auf hochgradig nicht-lokale „Objekte“ (geschlossene Schleifen bzw. Holonomien). Beide Charakteristika unterminieren nach-

DAS STICHWORT

haltig eine klassische Ontologie raumzeitlich lokalisierter Objekte (Lyre 2004). Cao (1997), Redhead (2001) und Saunders (2003) plädieren ferner für strukturenrealistische Deutungen von Quantenfeldtheorien, Dorato (2004) und Rickles (2005) für SR-Interpretationen moderner Quantengravitationsprogramme.

Gewiss lässt die gegenwärtige Diskussion noch vielerlei Fragen offen – so etwa nach dem schlussendlichen Umfang und der Radikalität des jeweils betrachteten SR. Ein offenkundiges Problem der radikalen, ontischen Variante besteht in der sehr grundsätzlichen Frage, wie Relationen ohne Relata instantiierbar sein können. Die Entwicklung intermediärer Varianten zwischen ESR und OSR könnte daher von Interesse sein. Auch der Einwand, SR sei als Programm allenfalls für die formalisier- bzw. mathematisierbaren Wissenschaften anwendbar, müsste in zukünftiger Forschungsarbeit angegangen werden. Im Umkehrschluss gilt aber, dass mindestens für die exakten Wissenschaften eine zunehmende strukturelle Betrachtungs- und Verständnisweise eine kaum zu leugnende Tatsache darstellt – und dass bereits dies allein höchst untersuchenswerte Implikationen für unser Bild der Welt hat. Für einen zeitgenössischen Realismus, so scheint es, bietet der SR vielversprechende Optionen.

UNSER AUTOR:

PD Dr. Holger Lyre ist tätig als Privatdozent und Oberassistent am Bonner Institut für Philosophie. Er forscht und lehrt in den Bereichen Wissenschafts- und Naturphilosophie sowie Philosophie des Geistes. Seine 2003 vorgelegte Habilitationsschrift »Lokale Symmetrien und Wirklichkeit« stellt eine strukturenrealistische Analyse der modernen Physik dar.

Literatur zum Stichwort:

French, Steven / Ladyman, James (2003): *Remodelling Structural Realism: Quantum Physics and the Metaphysics of Structure*. *Synthese*, 136(1): 31-56.

(Siehe auch alle weiteren Aufsätze in dieser Synthese-Spezialausgabe zum Strukturrealismus.)

B. Gower (2000): *Cassirer, Schlick and 'Structural' Realism: The Philosophy of the Exact Sciences in the Background to Early Logical Empiricism*. *British Journal for the History of Science*, 8: 71-106.

Ladyman, James (1998): *What is Structural Realism?* *Studies in History and Philosophy of Science*, 29(3): 409-424.

Lyre, Holger (2004): *Lokale Symmetrien und Wirklichkeit*. 236 S., kt., € 32,-. mentis, Paderborn.

Papineau, David, Hg. (1996): *The Philosophy of Science*. 352 S., kt., € 20,-. Oxford University Press, Oxford.

(Eine Sammlung von Klassiker-Aufsätzen zum wissenschaftlichen Realismus – inklusive **Laudan (1981)** und **Worrall (1989)**.)

Psillos, Stathis (2001): *Is Structural Realism Possible?* *Philosophy of Science (Supplement)*, 68(3): S13-S24.

Redhead, Michael (2001): *The Intelligibility of the Universe*. In A. O'Hear, ed.: *Philosophy at the New Millennium*, Cambridge University Press, Cambridge.

Van Fraassen, Bas C. (1999): *Structure: Its Shadow and Substance*. *PhilSci-Archive* 631. <http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00000631>

Votsis, Ioannis (2003): *Is Structure Not Enough?* *Philosophy of Science*, 70(5): 879-890.

Abgedruckt in:
Information Philosophie 4 (2006) 32-37