

Der Begriff des Raums in der Physik - eine soziologische Perspektive

Sturm, Gabriele

Postprint / Postprint

Sammelwerksbeitrag / collection article

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Sturm, G. (2003). Der Begriff des Raums in der Physik - eine soziologische Perspektive. In T. Krämer-Badoni, & K. Kuhm (Hrsg.), *Die Gesellschaft und ihr Raum: Raum als Gegenstand der Soziologie* (S. 233-249). Opladen: Leske u. Budrich. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-58341-7>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer CC BY-NC-ND Lizenz (Namensnennung-Nicht-kommerziell-Keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu den CC-Lizenzen finden Sie hier:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de>

Terms of use:

This document is made available under a CC BY-NC-ND Licence (Attribution-Non Commercial-NoDerivatives). For more information see:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

Gabriele Sturm

Der Begriff des Raums in der Physik – eine soziologische Perspektive

Wenn sich Nichtphysikerinnen bzw. Nichtphysiker mit Themen und Konstruktionen der Physik¹ beschäftigen, entsteht leicht der Eindruck, dass Vorstellungen, die für einen naturwissenschaftlichen Gegenstand entwickelt worden sind, in nicht angemessener Weise auf ein anderes inhaltliches Feld übertragen werden sollen – in meinem Fall ein gesellschaftswissenschaftliches. Diesbezügliche Missverständnisse oder verzerrende, wenn auch manchmal naheliegende Assoziationsketten möchte ich hier vermeiden und deshalb zunächst meinen methodologischen Ansatz erläutern, um eingedenk der dargelegten Rahmenbedingungen sodann erst auf ausgewählte Raumkonstruktionen der Physik einzugehen. Abschließen werde ich meine Ausführungen mit Folgerungen für eine Behandlung der Begriffe Raum und Zeit in empirisch arbeitenden Gesellschaftswissenschaften, die sich aus erkenntnistheoretischen Positionen der modernen Physik ergeben.

Methodologische Vorüberlegungen

Als empirisch arbeitende bzw. in Bereich der Methoden ausgewiesene Soziologin richtet sich mein Blick zunächst darauf, wie eine Forschungsfrage operationalisiert werden kann und mittels welcher Vorgehensweisen aus erhobenen Daten gegenstandsadäquate Interpretationen abgeleitet werden. Solches Interesse betont zwar die Spezifik des Gegenstandes, setzt jedoch nicht selbstverständlich unterschiedliche Forschungsmethoden für unterschiedliche Fachdisziplinen voraus. Vielmehr hängt es m. E. in allen empirisch forschenden Disziplinen von den Besonderheiten des jeweiligen Themen-/Problemfeldes und von der angestrebten gesellschaftlichen Praxis ab, mit welchen Datenerhebungsinstrumenten und -strategien sowie entsprechenden Analyseverfahren und Interpretationsansätzen gearbeitet wird. Die Wahl des metho-

¹ Das Wort *Physik* leitet sich vom griechischen *physis* ~ ‚Entstehen und Werden‘ her und bezeichnete i. d. R. Natur oder natürliche Beschaffenheit. Physik gilt bis heute als klassische Naturwissenschaft, deren Gegenstand die Materie ist. Physikalische Forschung bezieht sich auf Erscheinungs- und Zustandsformen der (unbelebten) Materie, auf deren Struktur und Eigenschaften, ihre Bewegungen sowie Zustandsänderungen, weiterhin auf alle dafür verantwortlichen, zwischen den Materiebausteinen bzw. -aggregaten bestehenden Kräfte und Wechselwirkungen.

dischen Werkzeuges ist zudem von theoretischen Setzungen und methodologischen Vorannahmen der Forschenden – und damit von ihren Vorerfahrungen – abhängig, was als Prinzip wiederum für alle empirischen Forschungen gilt. Weiterhin gehe ich von zwei Modi des empirisch interessierenden Gegenstandes aus, die jeweils entgegengerichtete Fokussierungsmöglichkeiten aufweisen:

- Auf der prozessualen Ebene helfen Forschungsmethoden nicht nur, einen Gegenstand zweckorientiert zu erkennen, sondern in ihrer Auseinandersetzung mit dem Themenfeld konstituieren sie dieses und somit jeden zugehörigen Gegenstand auch mit.
- Auf der Strukturebene lenken theoretische Annahmen und Vorkenntnisse den Blick für einen Gegenstand („man sieht nur, was man weiß“) und müssen sich zugleich durch die Gegenstände der Erfahrung in Zweifel ziehen lassen („Theorie muss an Empirie scheitern können“).

Damit ergibt sich ein komplexes Abhängigkeitsgefüge, in dem Theorien und Methoden für wissenschaftliche Erkenntnisfelder aufeinander bezogen werden.

Mein Zugang zu interdisziplinärem Arbeiten setzt das methodologische Strukturprinzip der *Homologie* voraus. Dieses bedeutet, dass unterschiedliche Gegenstände oder differenzierte Ausformungen eines Gegenstandes in einer Gesellschaft auf einen ‚wahrscheinlichen‘ gemeinsamen strukturellen Kern reduziert werden, der gegebenenfalls dann Aussagen über Prozesse zulässt, die auf die jeweils betrachteten Gegenstände zeitgleich wirk(t)en. Vertrauter als der Homologieschluss ist der Analogieschluss. Bei diesem wird ein vom interessierenden Gegenstand unabhängiges Instrument konstruiert, das als Maßstab Verwendung findet – allen bekannt ist dafür das Thermometer als Messinstrument für Temperatur. Demgegenüber wird bei einer Homologie davon ausgegangen, dass zwei strukturähnliche Erscheinungsformen auf eine gemeinsame Herkunft zurückzuführen sind. Z. B. werden in der Entwicklungsgeschichte der Säugetiere die Vorderläufe von Vierbeinern, die Arme von Menschen oder Affen und die Seitenflossen von Walen als gleichursprünglich angesehen. Die unterschiedlichen Ausgestaltungen hängen von historischen Bedingungen und verschiedenen lokalen Gegebenheiten sowie von zufälligen Entwicklungsalternativen ab. In geistes- und gesellschaftswissenschaftlichen Disziplinen arbeiten z. B. Forschungsprojekte, die sich auf strukturelle Hermeneutik (vgl. Oevermann 1986) oder verschiedene daraus hervorgegangene Modifizierungen stützen, mit der syntaktischen Setzung der Homologie genauso wie strukturalistisch begründende Studien z. B. von Pierre Bourdieu (1976) oder Michel Foucault (1976).

Mein Blick als Soziologin auf die Physik folgt also nicht nur einem persönlich gefärbten Interesse, sondern geht von der soeben kurz beschriebenen Annahme homologer Strukturen aus, die europäische Wissenschaften aufwei-

sen: Die heute unterschiedenen Disziplinen haben sich erst im Laufe der vergangenen 500 Jahre ausdifferenziert. So überrascht es nicht allzu sehr, wenn die im abendländischen Kulturraum tradierten Konstruktionsprinzipien für Wissenschaft in den verschiedenen Disziplinen mit ähnlichen Klassifizierungen und/oder Ordnungsbeziehungen zum Tragen kommen: es geht u. a.

- um das Subjekt-Objekt-Verhältnis,
- um den Zusammenhang zwischen Theorie, Methode, Praxis bzw. um die Triade aus Semantik, Syntax, Pragmatik (vgl. Ritsert 1996),
- um Komplementaritäten von Realität und Idealität oder Realität und Virtualität, von Dichte und Leere, dem Ding und seiner Bezeichnung etc. (vgl. Otte 1994) bzw. um das messtheoretische Relativ aus Elementen und Relationen bzw. um das Zusammenwirken von Struktur und Handeln (Giddens 1988).

Teilweise scheinen die von unterschiedlichen Forschungsgruppen präferierten syntaktischen Strukturen innerhalb einer Disziplin von größerer Differenz geprägt zu sein als die zwischen den Disziplinen. Die Verständigungsprobleme zwischen Natur-, Ingenieur-, Geistes- und Gesellschaftswissenschaften beruhen m. E. eher auf den Ebenen der Semantik oder der Pragmatik ihrer theoretischen Inhalte, also auf den Ebenen ihres Aussagengehaltes und ihres Praxisbezuges, als auf der Ebene ihrer formallogischen Ordnungsprinzipien. Die im Homologieprinzip enthaltene Annahme lautet, dass sich ein Denkmuster oder eine Technik oder eine Verhaltensabfolge irgendwo erstmals realisieren muss, um von der Möglichkeit zu Wirklichkeit zu werden, damit in der Folge das darin enthaltene Prinzip des Denkens oder Handelns auch anderswo übernommen und modifiziert werden kann. Je abstrakter eine solche erfolgreich praktizierte Vorgabe ausfällt, umso vielfältiger können die kontextuellen Ausformungen des einmal realisierten Modells sein. In der Differenzierung europäischer Wissenschaften haben heute Mathematik und Philosophie den Anspruch, sich hauptsächlich mit solch grundsätzlichen Denkmodellen, Ordnungsvorstellungen bzw. Theoriestrukturen zu beschäftigen. Mir liegt das experimentelle Denken der Mathematik mit seinen formal-symbolischen Konstruktionen persönlich und von der Ausbildung her näher, so dass ich im Weiteren auf mathematische Modellsprache zurückgreife, um zunächst Strukturprinzipien in physikalischen Raumbegriffen zu analysieren und abschließend zu fragen, was vergleichbare Strukturierungen für Theorie und Praxis eines gesellschaftswissenschaftlichen Umgangs mit Raum bedeuten könnten.

Raum als Ordnungsrahmen für physikalische Lage

Meine nun folgenden Ausführungen folgen hinsichtlich der physikalischen Gegenstandsbeschreibung hauptsächlich den Darstellungen von Robert Locqueneux (1989) und Károly Simonyi (1990) – hinsichtlich der philosophischen Einordnung lehnen sich meine Reflexionen u. a. an die von Alexander Gosztonyi (1976) an (für umfassendere Darstellungen siehe Sturm 2000: 87-139). Diesen Autoren folgend ist eine für die Physik typische Unterscheidung für zu beschreibende Phänomene die nach Lage und Zustand. Wird von der *Lage*, und damit vom Verhältnis der Körper bzw. Gegenstände bzw. Materieausformungen zueinander, her gedacht, ist Raum ohne körperliches Objekt undenkbar – der Standpunkt (des/r Beschreibenden), von dem aus eine kosmische Ordnung formuliert wird, ist konstitutiv für das daraus entfaltbare Modell. In der Sprache der Mathematik geht es um den jeweiligen Archimedischen Punkt, von dem her sich die einem Problem angemessene Erklärung und mögliche Problemlösungen entwickeln lassen. Laut Überlieferung soll Archimedes, von dem das älteste bis heute gültige physikalische Gesetz – betreffend den Auftrieb von Körpern in Flüssigkeiten – stammt, den Satz geäußert haben: „Gebt mir einen Punkt, an dem ich stehen kann, und ich will die Erde aus den Angeln heben“. Beim Begriff des „Archimedischen Punktes“ ist folglich zu betonen, dass dieser weder die Mitte der Welt bezeichnet noch sonst einen absolut gesetzten Punkt in einem alle Erscheinungen erklären könnenden Universum, sondern genau auf die Unmöglichkeit solchen Denkens hinweist: Stattdessen wird die je spezifische Setzung eines gegenstandsadäquaten Referenzpunktes hervorgehoben (vgl. auch Sturm 2000: 104).

Betrachte ich nun physikalische Raumkonzeptionen ausgehend vom Aspekt der Lage, so finden sich seit der griechischen Antike vor allem im Feld der *Makrophysik* zahlreiche Konstruktionen. Darunter sind zumindest drei verschiedene, idealtypisch reduzierte Raumkonzeptionen zu unterscheiden, die sich mehr oder weniger in historischer Abfolge entwickelt haben. Trotz Fokussierung des Lageaspektes sind bei dieser Typisierung Bezugnahmen auf den Zustand der beschriebenen Systeme nicht zu vermeiden (vgl. weiter unten zum Begriff des Relativs):

- In der griechisch-antiken Wissenschaft entstanden vielfältige Vorstellungen über die ‚natürliche Beschaffenheit der Welt‘. Als dominant setzte sich schließlich die im Kern Aristotelische Raumvorstellung durch, die von einem *ewigen*, jedoch in der Ausdehnung *beschränkten* Universum ausging, das *dreidimensional* entsprechend Euklidischer Geometrie gedacht wurde. Das damit korrespondierende stetige Kompaktmodell dachte den Kosmos *von außen nach innen*, d. h., von den wohlgeordneten göttli-

chen Sphären ausgehend hin zum eher chaotischen Zentrum der menschenbevölkerten Erde.

- Erst im 17. Jahrhundert veränderte sich das Referenzsystem für die Betrachtung mechanischer Prozesse im Himmel und auf Erden. Durch die Analytische Geometrie René Descartes‘ gelang es, geometrische Gebilde und reelle Zahlen in einem Koordinatensystem aufeinander zu beziehen. In der Folge konnte Isaac Newton für seine neuen Bewegungs- und Gravitationsgesetze diese Vorstellung auf Raum und Zeit übertragen: Der *absolute* Raum Newtons ist *offen* und kann somit nur *von innen nach außen* gedacht werden. Gemäß Newtonscher Vorstellung gründet er in einem allgemeinen Gravitationszentrum – auch wenn dieses nicht eindeutig verortet werden konnte – und dehnt sich von dort *unendlich* aus.
- Für das moderne Verständnis von Raum und Zeit war die 1905 formulierte Spezielle Relativitätstheorie der Auslöser: Als neue Naturkonstante wurde von Albert Einstein die Vakuumlichtgeschwindigkeit c eingeführt. Diese Grenzggeschwindigkeit für die Ausbreitung jedes Signals beschränkt die Begriffe der Gleichzeitigkeit und der Dauer eines Ereignisses auf ein für Beobachter und Ereignis gleiches Bezugssystem – die für physikalische Größen gemessenen Werte sind abhängig von einem Raum und Zeit verknüpfenden Koordinatensystem, d. h., *relativ*. Raum wird damit zum *Ereignisraum* und seine Beschreibung gemäß der Allgemeinen Relativitätstheorie abhängig von der Verteilung der *Materie* (Gravitationsfelder). ‚Dem‘ Raum kann folglich keine bestimmte Geometrie mehr zugeordnet werden. Verschiedene Ereignisräume sind nur innerhalb der *vierdimensionalen RaumZeit* aufeinander beziehbar.²

Bevor ich eine ähnliche idealtypische Systematik für die Zustands-Dimension von Raum vornehme, versuche ich nun zunächst zuzuspitzen, hinsichtlich welcher Aussagen sich der Referenzrahmen für diese makrokosmisch ausgerichteten Raumvorstellungen schrittweise veränderte.

² 1908 formulierte der Mathematiker Hermann Minkowski die endgültige mathematische Gestalt der Speziellen Relativitätstheorie, indem er die Zeit als vierte Koordinate dem dreidimensionalen Raum zufügte. Die vierdimensionale RaumZeit wird deshalb auch Minkowski-Welt genannt. Bewegungen von Massepunkten können darin als „Weltlinien“ dargestellt werden. Da in diesem Modell physikalische Größen definiert werden können, deren Wert sich bei einem Wechsel des Bezugssystems nicht ändert, nannte Minkowski das Relativitätsprinzip unter anderer erkenntnistheoretischer Perspektive auch das „Postulat der absoluten Welt“. Um zudem verschiedene Geschwindigkeiten bzw. Beschleunigung mitdenken zu können, erweiterte die Allgemeine Relativitätstheorie dieses Modell, indem sie Gravitationsfelder einführte: Gravitation wird seither als Auswirkung der Krümmung der RaumZeit durch Masse verstanden. Jeder sich frei bewegende Körper – auch ein Lichtstrahl – bewegt sich gemäß dieser Vorstellung auf geodätischen Linien der RaumZeit. Eine RaumZeit ohne Materie und ohne Felder ist nicht existent.

- Ging das antike Kosmosbild von einer festen äußeren Kristallsphäre mit den in sie eingebetteten Fixsternen aus, setzte das neuzeitliche Modell Isaak Newtons ein universales Gravitationszentrum voraus, während seitens der Einsteinschen Relativitätstheorie für die moderne Physik ereignisbezogene relative Bezugssysteme postuliert werden.
- Hinsichtlich der Reichweite der getroffenen Aussagen war der antike Kanon gespalten zwischen einerseits idealen, unveränderbaren Gesetzen in den göttlichen Sphären und andererseits ständiger Veränderung der irdischen Welt. Während Newton die Synthese mit überall genau gleichen Gesetzmäßigkeiten in einer auf mechanischen Prinzipien beruhenden Welt zu finden gehofft hatte, geht die Allgemeine Relativitätstheorie zu lokal begrenzten Aussagen für materieabhängige Teilräume der physikalischen RaumZeit (Minkowski-Räume) über. In der RaumZeit hängen Vergangenheit wie Zukunft von einem ‚hier und heute‘ ab und sind durch eine endliche Zeitspanne beobachterabhängig getrennt – die nicht zu beeinflussen und unbekanntem Ereignisse der Gegenwart sind dagegen ‚raumartig‘ verknüpft.
- Dies bedeutet zugleich Wandlungen von einer hierarchisch geordneten über eine homogen geordnete hin zu einer partiell geordneten Welt.
- Auch die Verknüpfung von Raum und Zeit gestaltete sich unterschiedlich: Ging die Antike von einem Kosmos aus, in dem die Zeit nur an die Ereignisse der Welt gebunden denkbar und damit im Unterschied zum Raum nicht ewig war, präferierte die neuzeitliche Mechanik Newtonscher Prägung die Vorstellung absoluter Zeit als innerer Anschauungsform entsprechend zur Vorstellung absoluten Raums. Die moderne Makrophysik arbeitet hingegen mit Vorstellungen von Eigenzeit, lokaler Zeit, eines RaumZeit-Intervalls, und geht davon aus, dass Zeit einen Anfang hat (Urknall).
- Das zugehörige Vorstellungsbild von Welt veränderte sich von einem endlichen, geozentrischen und im Kern unbeweglichen Modell der Antike über ein unendliches, heliostatisches und von Bewegung getragenes der neuzeitlichen Mechanik hin zu einem aktuell diskutierten Modell, für das nicht entscheidbar ist, ob sich die RaumZeit derzeit ausdehnt oder pulsiert.
- Fokussieren wir die Anordnungsmöglichkeit von Materie in diesen typisierten Raumkonstruktionen, so ging die antike Physik mehrheitlich von einem am Euklidischen Raum der Geometrie orientierten Behälter aus, in dem die Vorgänge der Natur zu erklären sind. Die neuzeitliche Mechanik Newtons verlangte die Konzeption von einem Bewegungs-Raum mit metrischer Struktur („Raum ist und hat Größe“) als einen von materiellen Eigenschaften unabhängigen Behälter der körperlichen Objekte. Dem gegen-

über geht die moderne Relativitätstheorie von einem in permanenter Wandlung befindlichen Gravitationsfeld aus, was gleichbedeutend damit ist, dass ungleich verteilte Materie die Geometrie der RaumZeit festlegt.

- Hinsichtlich der Diversität der in diese Typisierungen einfließenden Kosmosvorstellungen ist stark variierende Varianz zu konstatieren: In der griechischen Antike gab es eine konkurrierende Vielzahl von Weltmodellen, die nur zum Teil im Aristotelischen Sphärenmodell aufgenommen wurden – Newton gelang die Vereinheitlichung (aller physikalischer Gesetze) in der klassischen Mechanik – moderne Weltmodelle gehen von der Relativität der Zeit zwischen zwei Ereignissen wie der Entfernung zwischen zwei Ereignissen aus, die in der von ihren Teilsystemen unabhängigen RaumZeit stattfinden (d. h., ‚zuerst‘ oder ‚dann‘ oder ‚gleichzeitig‘ sind ortsbezogene Begriffe und die neue Maßeinheit ist das RaumZeit-Intervall).

Um die raumbezogenen Aussagen für den Lage-Aspekt hier abzuschließen, fasse ich die diesbezüglichen Charakteristika der heutigen relativistischen Physik nochmals zusammen:

Raum und Zeit sind weder absolut noch unabhängig zu verstehen, sondern bieten als vierdimensionale RaumZeit einen abstrakten Kosmos, in dem das Ereignis den Referenzpunkt bildet. Dadurch existieren unzählige lokale Bezugssysteme, die ohne Standpunkt der Beobachtenden/Beschreibenden in einem ‚Jetzt‘ irrelevant sind. Diese lokalen Bezugssysteme sind mit einer jeweiligen Eigenzeit versehen im Unterschied zur externen Koordinatenzeit, die sich an der relativistischen Maßeinheit des RaumZeit-Intervalls orientiert. Zugleich ist die RaumZeit für alle Ereignisse unabhängig von jedwedem Bezugssystem. Bewegungen in der RaumZeit folgen Gravitationsfeldern, die ihre Form durch die Dichte der vorhandenen Materie erhalten. Zugleich ist die RaumZeit kein statisches unveränderliches Universum, obwohl von innen heraus nicht entscheidbar ist, wie es sich bewegt. Denkbar erscheinen derzeit am ehesten ein offenes, in die Unendlichkeit sich ausdehnendes Weltall mit negativer Krümmung oder ein geschlossenes, aber unbegrenzt pulsierendes Weltall.

Raum als Ordnungsrahmen für physikalischen Zustand

Wenn ich nun entsprechend fokussiere, wie Raum hinsichtlich möglicher *Zustands*beschreibungen dargestellt wurde, richtet sich der Blick eher auf mikrokosmische physikalische Konzepte. Für diese drängt sich als Metapher ein sich wandelndes Doppelgesicht des Raumes auf, das entweder den ‚Zwischenraum‘ oder die ‚Bühne‘, auf der die Körper auftreten, zeigt. Im histori-

schen Verlauf änderten sich weniger diese kaum vereinbare Gegenüberstellung als vielmehr die Bilder und verwendeten Formulierungen für die je angenommene Beschaffenheit, deren Darstellung wiederum nicht gänzlich von den zugehörigen Lagebeschreibungen getrennt werden kann:

- In der griechischen Antike suchten die Naturphilosophen in einem pantheistischen Weltbild nach einer stofflichen Ursache als Grundprinzip aller Dinge. Dies führte zu Vorstellungen z. B. einer Luftblase im Wasser (Thales) oder einer von Gesteinswirbeln und Ätherwind (Anaxagoras) völlig erfüllten, kugelförmigen und somit abgeschlossenen Welt einerseits *und* zur Formulierung des leeren Raums, der die Bewegung der Atome in einer unendlichen Welt ermöglichte (Leukipp, Demokrit) oder von Zahl-Einheiten als *diskreter Struktur der Materie* (Pythagoreer) andererseits. Das für viele Jahrhunderte bevorzugte Aristotelische Konzept ging von einer *Stetigkeit des Stofflichen* aus, was zugleich die Unmöglichkeit eines Vakuums in der Welt bedeutete – obwohl bereits zeitgleich experimentelle Beweise für die Existenz des Vakuums erbracht wurden (Straton).
- Im 17. Jahrhundert gingen die Vakunisten, die u. a. erfolgreich mit Luftdruck experimentierten (Guericke), von einer korpuskularen Struktur der Materie aus, während die Plenisten (u. a. Descartes) mit Hilfe des Äther-Konstruktes weiterhin ein überall dicht gefülltes Universum mit sich gegenseitig beeinflussenden Materiewirbeln annahmen. Auch Isaak Newton *leerte* mit den Begriffen der Dichte als Maß für die Verteilung der Materie und der Gravitation als Anziehungskraft zwischen Massen sowie mit dem Bezugssystem einer abstrakten metrischen Struktur den absoluten Raum, während Gottfried-Wilhelm Leibniz mit seinem Satz „Die Natur macht keine Sprünge“ das Prinzip der *Kontinuität* hochhielt.
- Letzteres änderte sich grundlegend mit den Überlegungen zur Energieverteilung von Max Planck und den Postulaten zum Atommodell von Niels Bohr. Die Quantenphysik beruht auf dem Prinzip, dass subatomare Vorgänge nicht stetig bzw. kontinuierlich sind, sondern *diskret*. Zugleich wandelte sich der Charakter von Naturgesetzen von deterministischen zu *statistischen*, d. h. zu Wahrscheinlichkeitsaussagen (z. B. hinsichtlich sprunghaften, kausal nicht erklärbaren Übergängen für Strahlung). Für Licht wie für Masseteilchen (Elektronen) wird derzeit ein Doppelcharakter als Teilchen wie als Welle angenommen. Als *Dualität* bzw. *Komplementaritätskonzept* verallgemeinert trifft dies auch auf die Kenntnis bestimmter Eigenschaften von Objekten zu (Unbestimmtheitsrelation z. B. zwischen Ort und Impuls oder zwischen Energie und Zeit). Bei der weiteren Untersuchung von Elementarteilchen als Trägern (sub)atomarer Erscheinungen weisen die elementaren Antiwelten zudem einen Unterschied zwischen

rechts und links auf, wodurch die bislang übliche Raumsymmetrie ereignisabhängig aufgehoben wird (von Chien-Shiung Wu für den Beta-Zerfall gezeigt).

Die physikalischen Vorstellungen für die Welt des Mikrokosmos haben sich seit der griechischen Antike vergleichsweise weniger geändert als die für makrokosmische Bezüge. Bestand hat bis heute das Dilemma, zwischen zwei postulierten Zustandsformen des subatomaren physikalischen Raumes nicht ein für alle Mal entscheiden zu können. Die Vertreter der Quantenmechanik sind sich zwar hinsichtlich des verwendeten Komplementaritätskonzepts einig, nicht jedoch bezüglich damit zusammenhängender Interpretationen: Niels Bohr, Max Born und Werner Heisenberg als Anhänger der eher ‚positivistisch‘ argumentierenden Kopenhagener Schule gingen davon aus, dass ein beobachtetes System nur existiert, wenn es beobachtet wird, und deshalb keine Erkenntnis einer objektiven Realität, die unabhängig vom Beobachter existiert, angestrebt werden kann. Dagegen formulierten Louis de Broglie, Albert Einstein und Erwin Schrödinger eine eher ‚realistische‘ Position, die von so etwas wie dem tatsächlichen Zustand eines physikalischen Systems ausgeht, der objektiv und unabhängig von jeder Messung existiert und im Prinzip mit den Ausdrucksmitteln der Physik beschrieben werden kann.

Die raumbezogenen Aussagen der Mikrophysik für den Zustands-Aspekt des physikalischen Raumes will ich als Zwischenresümee noch einmal ‚alltäglicher‘ formulieren: Aus der Quantenmechanik folgt zum einen eine *Diskontinuität* des Raumes, die nicht nur einer stetigen Raumgeometrie widerspricht und somit neue Metriken fordert, sondern auch das klassische Prinzip der Stetigkeit aufhebt. Zum anderen erscheint mit der Unterscheidung in mögliche Rechts- und Linksorientierungen bei Effekten der schwachen Wechselwirkung der Raum mit *Richtung* versehen, die unabhängig von der Zeit ist. Da beide Erscheinungsformen bei energetischen Prozessen auftreten, ist aufgrund der Äquivalenz von Masse und Energie zu fragen, inwiefern auch Raum bzw. RaumZeit als Materialisierungen oder Erscheinungsweisen von Energie zu verstehen sind und somit z. B. diskontinuierlich und gerichtet gedacht werden sollten.

Folgerungen für das Subjekt-Objekt-Verhältnis in der Physik

Bei all diesen Modellvorstellungen ist zu berücksichtigen, dass – so wie alle wissenschaftlichen Disziplinen – auch Physik auf den Gebrauch von alltäglich bekannten Sprachwendungen angewiesen ist und die dargelegten Konstruktionen mit ihrer Symbolsprache ein vordergründiges Verstehen nahele-

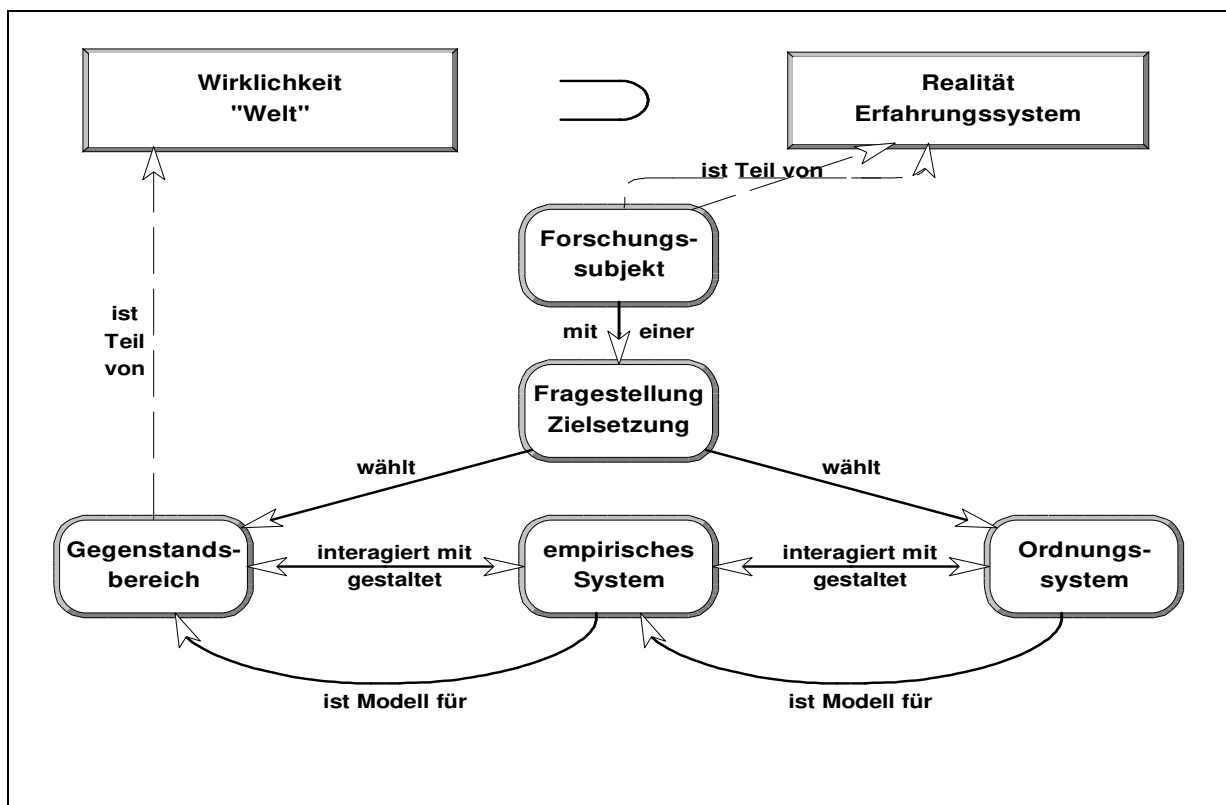
gen. Für die moderne Physik ist es einerseits kaum zweifelhaft, dass es eine Wirklichkeit außerhalb des menschlichen Denkens und seiner Erfahrungsmöglichkeiten gibt, und andererseits zu betonen, dass Physikerinnen und Physiker Effekte voraussagen oder Gleichungen zur Beschreibung des Vorhergesagten entwickeln, ohne zu wissen, was der beschriebene Gegenstand real ist. Entsprechend problematisierte Bertrand Russell: „Die Mathematik handelt von Dingen, von denen sie nicht weiß, was sie sind, und sie besteht aus Sätzen, von denen man nicht weiß, ob sie wahr oder falsch sind“ (zit. nach Heisenberg 1973: 192). Diese kritische Selbstreflexion teilen heutige Physikerinnen und Physiker hinsichtlich so zentraler Begriffe wie Welle oder Materie. Akzeptierte Theorien beruhen deshalb auf *Übereinkünften* in der scientific community, obwohl sie keine Antwort auf die Frage zu geben vermögen, wie die Welt ‚wirklich aussieht‘, und selbst wenn sie keine tatsächlichen Vorgänge voraussagen, sondern Wahrscheinlichkeiten: Die Gültigkeit der Quantenmechanik beispielsweise wurde anlässlich der Kopenhagener Konferenz ‚beschlossen‘. Beruhte die klassische Mechanik Isaak Newtons auf der Annahme, dass weltliche Prozesse unabhängig von den betrachtenden Menschen nach strengen kausalen Prinzipien in Raum und Zeit verlaufen, gelten im subatomaren Bereich weder Newtons Gesetze noch seine Begriffe. So forderte Niels Bohr aufgrund quantenmechanisch geprägter Überzeugung „die Notwendigkeit eines endgültigen Verzichtes auf das klassische Ideal der Kausalität und eine radikale Revision unserer Einstellung zum Problem der gegenständlichen Realität“ (1958: 60). Da Physikerinnen und Physiker nicht wissen, was im Reich des unsichtbaren Subatomaren vor sich geht, sondern aufgrund gegebener Anfangszustände allenfalls eine Wahrscheinlichkeit ableiten können, mit der ein System sich zu einer gegebenen Zeit in einem gegebenen Zustand befinden kann, sind die benutzten Modelle als „freie Schöpfungen des menschlichen Verstandes“ (Einstein) zu beurteilen, die lediglich das menschliche Bedürfnis befriedigen, Erfahrungen rational auszuwerten.

Die Auseinandersetzung mit dem experimentell feststellbaren Doppelcharakter des Lichtes wie des Elektrons führte zum Komplementaritätskonzept und zur Unbestimmtheitsrelation der Kopenhagener Schule. Die in diesem Zusammenhang durchgeführten Untersuchungsdesigns veränderten nicht nur die Einsicht in den Charakter von physikalischen Systemzuständen, sondern auch das Verständnis der Rolle der Forschenden selbst. Ob Licht sich in einem Experiment als Welle oder als Teilchen verhält, hängt von der Versuchsanordnung ab – ist folglich keine Eigenschaft ausschließlich des Lichtes, sondern eine der *Wechselwirkung*, die die Forschenden mit dem Licht als Untersuchungsgegenstand eingehen. Daran, dass auch Physikerinnen und Physiker Welt also nie so sehen, wie sie ‚wirklich ist‘, sondern nur so, wie sie sie zu sehen entschieden haben, erinnert Werner Heisenberg (1959: 41), indem er konstatiert, „daß das, was wir beobachten, nicht die Natur selbst ist, sondern Natur, die unserer Art der Fragestellung ausgesetzt ist“. Entspre-

chendes gilt für jegliche Thematisierung des Raumes in physikalischen Theorien: Es ist zu entscheiden, welcher Aspekt interessiert und deshalb fokussiert werden soll.

Diese Überlegungen hinsichtlich der Rolle der Forschenden und ihrer Fragestellungen in Bezug auf den erkennbaren Zustand eines Gegenstandes haben für mich als im Feld empirischer Sozialforschung spezialisierte Soziologin große strukturelle Ähnlichkeit mit dem Konstrukt des Relativs. Empirische oder numerische Relative sind zweistellige Mengen bestehend aus Elementen und Relationen. In der Messtheorie dient ein *Relativ* als Grundlage einer für sozialwissenschaftliche Gegenstände adäquaten Definition des Messens (andere gebräuchliche Begriffe sind Struktur, Relationenstruktur, Relationensystem, relationales System; vgl. Heidenreich 1987: 352f).

Abbildung 1: Die modellbildende Funktion der Messung* als interaktive Modellrelation.



* In der traditionellen Definition von Messung stehen ein Empirisches Relativ := {{Merkmalsträger}, {Beziehungen}} für das „empirische System“ und ein Numerisches Relativ := {{Zahlen}, {Transformationen}} für das „Ordnungssystem“

(Quelle: Sturm 2000: 35, modifiziert nach Gigerenzer 1981: 31)

Jeder empirische Gegenstand kann nun eher aus der Perspektive der ihm zugehörigen Merkmalsträger, d. h., Dinge, Lebewesen, Ereignisse beschrieben bzw. konstruiert werden oder aus der Perspektive der an sie gebundenen bzw. auf sie gerichteten Eigenschaften oder Beziehungen. Für Erklärungen gesell-

schaftlicher Phänomene sind jeweils beide Teilmengen erforderlich, da sie einander bedingen. Für empirische Untersuchungen bedeutet dies, dass die Forschenden deren Gleichzeitigkeit bzw. gegenseitige Abhängigkeit berücksichtigen und sich zugleich für eine Ausgangsperspektive *entscheiden* müssen – mit dieser Entscheidung also immer die Aussagemöglichkeiten bewusst begrenzen. Das Konstrukt des Relativs ist Ausdruck der Annahme, dass für empirische Phänomene zugleich ein eher statischer und ein eher dynamischer Teil konstitutiv sind. Die im Relativ ausgedrückte Bezogenheit lässt sich auf verschiedenen Abstraktionsniveaus realisieren (bei einer Klassifikation von Ereignissen oder Dingen kann die Klassenbildung nach höchst unterschiedlichen Merkmalen vorgenommen werden), so dass im Prinzip jedes Element und jede Relation eines Relativs wiederum statische und dynamische Anteile hat. Diese Konzeption des Relativs ist homolog der der Komplementarität bzw. Dualität in der modernen Physik, die hier mit den Paaren Masse und Energie oder Teilchen und Welle kurz vorgestellt worden ist. Auch die neuesten physikalischen Ansätze scheinen auf solche Korrespondenzen zurückzugreifen bzw. versuchen, entsprechende Abstraktionsebenen zu finden: Seit den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts wird versucht, die vorgestellten Teiltheorien der Relativitätstheorie und der Quantentheorie zusammenzuführen zu einer „Theorie für Alles“ (Barrow 1992), z. B. mit einer einheitlichen Quantentheorie der Gravitation (Hawking) oder der Superstringtheorie (Trefil).

Für die Theoretisierung von Raum (und Zeit) bedeutet dies in allen empirischen Wissenschaften, die mit der syntaktischen Gestalt des Relativs arbeiten, dass zwecks Analyse raumzeitlicher Wirklichkeiten zwar positionale und relationale Zugriffe unterschieden werden, jedoch deren Zusammenhang immer bewusst sein sollte. Raumlagen sind nicht von Raumzuständen zu isolieren und die rezipierte Realität raumzeitlicher Phänomene besteht aus Eigenschaften der Wechselwirkung zwischen einer wie auch immer existenten Wirklichkeit und uns als Beobachterinnen und Beobachtern.

Denkanstöße für die Gesellschaftswissenschaften

Abschließend möchte ich – dem eingangs vorgestellten Homologieprinzip folgend – nun noch einige Reflexionen darüber äußern, welche der vorgestellten Vorstellungen der Physik für den Raum ich als ‚denkwürdig‘ für die Gesellschaftswissenschaften ansehe:

Obwohl speziell die Quantenphysik bewusst in einer Symbolsprache über die Realität ihrer Gegenstandswelt verhandelt, geht die Physik traditionell wie aktuell von der Existenz einer wie auch immer gearteten physikalischen Welt aus, die „im Prinzip mit den Ausdrucksmitteln der Physik be-

schrieben werden kann“ (Locqueneux 1989: 131f.). Der pragmatischen Dimension der Messung folgend (vertikaler Ablauf in Abbildung 1) arbeiten nicht nur die Soziologie, sondern alle Gesellschaftswissenschaften als empirische Wissenschaften mit einer vergleichbaren grundlegenden Setzung. In der wissenschaftlichen Praxis trennen sich allerdings Theoriebildung und Empirie allzu leicht. Insofern wünschte ich mir in der Soziologie einen stärkeren Bezug auf die *Dingwelt bzw. Materialität* der Gesellschaft, die trotz aller Einschränkungen mit gesellschaftswissenschaftlichen Mitteln beschrieben und interpretiert werden können. Wenn die materialisierten und sich materialisierenden gesellschaftlichen Strukturen stärker in soziologische Forschung einbezogen würden, hätte dies u. a. Folgen für die *Wahl methodischer Instrumente und Strategien*: Z. B. ist die Befragung als ‚Königsweg‘ der empirischen Sozialforschung hauptsächlich für die Erhebung von Meinungen und Einstellungen geeignet, nicht jedoch für die Erhebung tatsächlichen aktuellen Verhaltens oder die Erhebung der Materialisierung vorgängigen Tuns. Hinsichtlich der Datenerhebungsinstrumente wären also Beobachtungsmethoden und Methoden der Inhaltsanalyse forciert zu entwickeln, um gesellschaftlichen Raum in seiner Gestaltung wie in seinen materiellen Gestalten geeignet wahrnehmen und verhandeln zu können.

In unserem Alltagsleben sind wir selbstverständlich daran gewöhnt, bei Verabredungen Orte und Termine so zu koordinieren, dass ein Treffen auch tatsächlich stattfindet. Dies verweist auf unser ‚Wissen‘ darum, dass jeglicher Lebensvollzug zugleich von räumlichen und zeitlichen Determinanten geprägt ist. Der Ort und der Termin eines Treffens werden z. B. entsprechend der Zugänglichkeit für beide Verabredungspartner, ihrer Eignung für den Verabredungszweck, einer geeigneten Lage im Tagesrhythmus und adäquat zur je biografischen Situation, zum Lebensalter der sich Verabredenden oder nach weiteren Kriterien gewählt. Das alltäglich Praktizierte hat jedoch keinen selbstverständlichen Eingang in die Forschungspraxis der Gesellschaftswissenschaften gefunden: Großteilig werden gesellschaftliche Phänomene ohne Raum- und Zeitbezug operationalisiert oder die Operationalisierung folgt relativ reduzierten Konzeptionen. Entsprechend der physikalischen Verankerung raumzeitlich beschreibbarer Phänomene im Jetzt bzw. im ‚hier und heute‘ sollten auch die Gesellschaftswissenschaften sich auf eine eindeutigere Begriffsbildung einigen, die verschiedene Ebenen der Abstraktion und damit der Theoretisierung unterscheidet. So könnte *Raum als Abstraktion des Ortes und Zeit als Abstraktion des Termins* verstanden werden. Entsprechend müssten räumliche Begriffe wie Territorium, Region, Feld, Grenze, Rand gegenstandsadäquat gefasst und verwendet werden. Weiterhin verlangt die alltägliche Differenziertheit des Umgangs mit Raum und Zeit z. B. bei der Wahl von Treffpunkten, dass deren jeweilige komplexe Kontextualisierung auch in gesellschaftswissenschaftlichen Konzeptionen von Raum und Zeit Wiederhall finden (vgl. Läßle 1991; Sturm 2000; Henkel/Eberling 2002). Ähnlich der

Physik sollten sich auch die Gesellschaftswissenschaften der unumgänglichen Verknüpfung von Raum und Zeit zu einer *gesellschaftlichen RaumZeit* stellen. Solche höhere Komplexität bei einer zugleich präziser formulierbaren Reichweite kann m. E. nur positive Folgen für die Entwicklung von notwendigen Problemlösungsvorschlägen für diverse Raum- und Zeitkonflikte haben.

Für die moderne Physik jenseits der klassischen Mechanik ist es unverzichtbar, den *Zusammenhang von Ereignis und Beobachterposition oder von Systemeigenschaft und Forschungsfragestellung* in den konstatablen Befund bzw. die gelieferte Erklärung aufzunehmen. Dagegen sind gesellschaftswissenschaftliche Disziplinen nach wie vor von immer wieder neu aufgelegten Runden des Werturteilsstreites geprägt (vgl. u. a. Ritsert 1996), die in verkürzter Rezeption eine Vorstellung von neutraler Wissenschaft ohne interessengeleiteten Zugriff der Forschenden auf den bearbeiteten Gegenstand hinterlassen – was eine Verschleierung faktischer, teils kaum mehr zu kontrollierender Einflussnahmen begünstigt. Aber nicht nur in der Physik, sondern erst recht in den Gesellschaftswissenschaften gehört die Klärung des Erkenntnisinteresses zum explizierenden Entdeckungszusammenhang, ohne den ein begründeter Zugang zum avisierten Themen- bzw. Problemfeld unmöglich ist. Selbstverständlich zeitigen auch in der Soziologie verschiedene Perspektiven auf ein Thema differierende Fragestellungen, entsprechend unterschiedliche Methodenwahl und folgerichtig voneinander abweichend fokussierende Ergebnisse. Dies bedeutet nicht, dass ein Ergebnis richtiger wäre als das andere, sondern dass eine Auseinandersetzung um die für eine Problemlösung adäquateste Fragestellung zu führen ist. Solch eine Aushandlung muss allerdings nicht zwingend zu einer von allen Beteiligten geteilten Einschätzung führen, so dass sich dann die Frage nach gesellschaftlicher Differenzierung und ihren Folgen für die Einschätzung gesellschaftlicher Lagen stellt. Für raumrelevante Forschungen in den Gesellschaftswissenschaften sollten entsprechend immer die je *besonderen lokalen Gegebenheiten* Berücksichtigung finden. Dabei dürfen – homolog zur Dualität aus Lage und Zustand – die raumzeitlich materialisierten Substrate nicht von ihrer Nutzung und Herstellung getrennt werden. Z. B. bedient eine Freizeiteinrichtung für Jugendliche in einem ländlich geprägten Gebiet eine andere Klientel als in einer Großstadt, bedarf deshalb eventuell einer anderen materiellen wie personellen Ausstattung oder anderer Einbindung am Ort – zugleich wäre nach eventuell divergierenden Interessen von Kindern, Jugendlichen, jungen Erwachsenen als Nutzerinnen und Nutzern, von Eltern oder seitens der Politik hinsichtlich der Freizeitinhalte zu schauen. Erst eingedenk der raumzeitlichen Beschränktheiten ist über die Reichweite möglicher Untersuchungsergebnisse und ihre Übertragbarkeit auf andere Situationen zu diskutieren.

Die Plancksche Entdeckung der Quantennatur der Strahlung im Jahr 1900 führte in der Physik zur Relativierung des klassischen Weltbildes der

Mechanik, zu dem u. a. die Vorstellung von einem überall homogenen Raum und einer linear und stetig verlaufenden Zeit gehörte. Die Quantenphysik beruht seither auf einer *Diskontinuitätsannahme für Vorgänge* im subatomaren Bereich. Obwohl z. B. in einer Soziologie der Zeit zwischen okkasionalem, zyklischem, linear offenem und linear geschlossenem Zeitbewusstsein unterschieden wird, wird für zahlreiche gesellschaftswissenschaftlich interessierende Prozesse der Einfachheit halber gerne Linearität und Kontinuität angenommen. Dagegen spricht, dass nicht nur Biografien sondern auch Wirtschafts- oder Gesellschaftsentwicklungen selten stetig verlaufen. Durch Menschen gestaltete Entwicklungen verlaufen häufig sprunghaft und müssen keineswegs jede Ausprägung eines wie auch immer angenommenen normalen Verlaufes annehmen. Diesbezügliche Fehleinschätzungen haben z. B. im Bereich der Entwicklungshilfepolitik jahrzehntelang auf Konzepte nachholender Entwicklung gesetzt, statt die regionalen Besonderheiten in einem eventuell selbstgesteuerten Prozess zum Tragen kommen zu lassen. Insofern scheint es auch in den Gesellschaftswissenschaften angebracht zu sein, die *Normalitätsvorstellung* stetiger Abläufe zumindest zu Gunsten der *Möglichkeit von Diskontinuität* in sozialen Prozessen aufzugeben.

Die derzeitigen Übereinkünfte hinsichtlich der Vorgänge im subatomaren Bereich haben es notwendig werden lassen, von einem grundlegend *statistischen Charakter aller Naturgesetze* auszugehen. Diese Überzeugung, die sich am deutlichsten in der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelation präsentiert, stellte den eventuell radikalsten Bruch mit den Auffassungen klassischer Physik dar. Etwa zeitgleich zu dieser Revolution auf dem Feld physikalischer Argumentation entwickelten Vertreter des amerikanischen Pragmatismus ähnliche syntaktische Strukturen für die Philosophie: Charles Sanders Peirce (1903) formulierte sowohl eine schlüssige Nomenklatur für wissenschaftliche Logik als auch – als argumentative Schlussweise neben Deduktion und Induktion – die Abduktion. Letztere folgert die Hypothese aus vorliegendem empirischen Material und bekannten gegenstandsangemessenen Theorien. So entsteht eine *wahr-scheinliche Aussage* hinsichtlich der zuvor abgelaufenen Ereignisse bzw. der nicht sichtbaren Rahmenbedingungen (Sherlock-Holmes-Methode). Entsprechend sollte keine moderne Gesellschaftswissenschaft ihre Argumentationen ausschließlich aus deterministischen Ursache-Wirkungs-Beziehungen entwickeln. Soziale Prozesse sind von dermaßen vielen Komponenten beeinflusst, dass sichere Voraussagen unmöglich sind. Ein bewusster wissenschaftlicher Umgang mit unsicheren Fakten wie unsicheren Abläufen könnte zudem auch positive Ausstrahlung auf den alltäglichen Umgang mit *Unsicherheit* haben. Die derzeitige Thematisierung einer ‚sicheren Stadt‘ lässt z. B. zu oft außer acht, dass Sicherheit nicht nur den Schutz vor Kriminalität umfasst, sondern auch die Verlässlichkeit in persönlichen Beziehungen, die Garantie von Erwerbsmöglichkeiten, die Versorgung im Krankheitsfall oder eine Auseinandersetzungsmöglichkeit über Lebensperspektiven,

Politik oder Wertsysteme. Zugleich ist zu bedenken, dass eine zunehmende Verregelung Freiheitsspielräume einschränkt und damit menschliches Leben vereinheitlicht bzw. Kreativität verhindert

Abschließen möchte ich mit einer Reflexion zur Syntax des Relativs, dessen Ordnung derzeit offensichtlich vorherrschend den wissenschaftlichen Zugriff auf empirische Gegenstände leitet. In der modernen Physik wurde das *Komplementaritätskonzept*, das zunächst für die theoretische Beschreibung des Lichts und des Elektrons formuliert worden war, durch die 1927 entwickelte Unbestimmtheitsrelation auf Eigenschaften von Objekten übertragen. Damit ging es nicht mehr nur um die unterschiedliche Beschreibung ein und desselben Objektes durch möglicherweise sogar widersprechende Bilder, sondern um ineinander wandelbare Eigenschaften, die unterschiedlich zu messen sind. In der mathematischen Zeichentheorie hat sich der Begriff der Komplementarität inzwischen für alle syntaktisch vergleichbaren Dualitäten verallgemeinert (vgl. Otte 1994). Wenn wir in den Gesellschaftswissenschaften der entsprechenden messtheoretischen Konzeption des Relativs einen vergleichbar wichtigen Stellenwert auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus einräumten, hätte dies direkte Konsequenzen nicht nur für die Entwicklung von Methoden, sondern auch für z. B. soziologische Theoriebildung. Gesellschaftliche Phänomene wären dann immer zugleich anhand ihrer materiellen Erscheinungsform und der sie hervorbringenden Verhaltens- und Handlungsabläufe zu beschreiben. Es dürfte dann keine pure Strukturtheorie ebensowenig wie pure Handlungstheorie geben, sondern alle Gegenstände müssten in ihrer Konzeption sowohl eine Struktur- als auch eine Prozessdimension aufweisen. Zugleich wäre an Strukturen ihr dynamischer und an Prozessen ihr statischer Aspekt zu berücksichtigen. Hinsichtlich der Berücksichtigung von gesellschaftlichem Raum in aktuellen soziologischen Ansätzen ist die hier von mir erwünschte Korrespondenz z. B. bei Pierre Bourdieu oder Anthony Giddens zu finden. Für eine weiterführende Konzeptionierung gesellschaftlicher RaumZeit ist m. E. derzeit eine solche Korrespondenzkonstruktion unumgänglich.

Literatur

- Barrow, John D. 1992: Theorien für Alles: Die philosophischen Ansätze der modernen Physik. Heidelberg: Spektrum.
- Bohr, Niels 1958: Atomic Physics and Human Knowledge. New York/London/Sydney: Wiley & Sons.
- Bourdieu, Pierre 1976: Entwurf einer Theorie der Praxis auf der ethnologischen Grundlage der kabyliischen Gesellschaft. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Henckel, Dietrich/Eberling, Matthias (Hrsg.) 2002: Raumzeitpolitik. Opladen: Leske & Budrich.

- Einstein, Albert [1936] 1979: Physik und Realität S. 63-130 in: Albert Einstein: Aus meinen späten Jahren. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt.
- Foucault, Michel 1976: Überwachen und Strafen: Die Geburt des Gefängnisses. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Giddens, Anthony 1988: Die Konstitution der Gesellschaft: Grundzüge einer Theorie der Strukturierung. Frankfurt a.M.: Campus.
- Gigerenzer, Gerd 1981: Messung und Modellbildung in der Psychologie. München: Reinhardt.
- Gosztonyi, Alexander 1976: Der Raum: Geschichte seiner Probleme in Philosophie und Wissenschaft. Freiburg: Alber.
- Heidenreich, Klaus 1987: Grundbegriffe der Meß- und Testtheorie. S. 352-384 in Erwin Roth (Hrsg.): Sozialwissenschaftliche Methoden: Lehr- und Handbuch für Forschung und Praxis. München: Oldenbourg.
- Heisenberg, Werner 1959: Physik und Philosophie. Frankfurt a.M.: Ullstein.
- Heisenberg, Werner 1973: Schritte über Grenzen. München: Piper.
- Läpple, Dieter 1991: Essay über den Raum. in Hartmut Häußermann/Detlev Ipsen/Thomas Krämer-Badoni/Dieter Läpple/Marianne Rodenstein/Walter Siebel: Stadt und Raum: Soziologische Analysen. Pfaffenweiler: Centaurus.
- Locqueneux, Robert 1989: Kurze Geschichte der Physik. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Oevermann, Ulrich 1986: Kontroversen über sinnverstehende Soziologie: Einige wiederkehrende Probleme und Mißverständnisse in der Rezeption der „objektiven Hermeneutik“. S. 19-83 in Stefan Aufenanger/Margit Lenssen (Hrsg.): Handlung und Sinnstruktur. München: Kindt.
- Otte, Michael 1994: Das Formale, das Soziale und das Subjektive: Eine Einführung in die Philosophie und Didaktik der Mathematik. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Peirce, Charles S. [1903] 1983: Phänomen und Logik der Zeichen. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Ritsert, Jürgen 1996: Einführung in die Logik der Sozialwissenschaften. Münster: Westfälisches Dampfboot.
- Russel, Bertrand 1972: Das ABC der Relativitätstheorie. Reinbek: Rowohlt.
- Simonyi, Károly 1990: Kulturgeschichte der Physik. Thun, Frankfurt a.M.: Harri Deutsch.
- Sturm, Gabriele 2000: Wege zum Raum: Methodologische Annäherungen an ein Basis-konzept raumbezogener Wissenschaften. Opladen: Leske & Budrich.