

Ulrich Gähde

**Theorie-Revision – normative und deskriptive Aspekte**

aus:

Rüdiger Valk (Hg.), Ordnungsbildung und Erkenntnisprozesse

S. 33–46

## Impressum

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Die Online-Version dieser Publikation ist auf der Verlagswebseite frei verfügbar (*open access*). Die Deutsche Nationalbibliothek hat die Netzpublikation archiviert. Diese ist dauerhaft auf dem Archivserver der Deutschen Nationalbibliothek verfügbar.

*Open access* verfügbar über die folgenden Webseiten:

Hamburg University Press – <http://hup.rrz.uni-hamburg.de>

Archivserver der Deutschen Nationalbibliothek – <http://deposit.d-nb.de>

ISBN der Printversion 3-937816-25-9

© 2006 Hamburg University Press, Hamburg

Rechtsträger: Staats- und Universitätsbibliothek Hamburg, Deutschland

Produktion: Elbe-Werkstätten GmbH, Hamburg, Deutschland

<http://www.ew-gmbh.de>

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	7
<i>Rüdiger Valk</i>	
Zur Bildung der Ordnung der Bildung .....	11
Vorschlag für ein transdisziplinäres Forschungsprogramm zur Ordnungs- und Erkenntnisbildung – und für einen soziologischen Beitrag	
<i>Roman Langer, Rolf von Lüde</i>	
Theoriesysteme im Wandel .....	21
Von der aristotelisch-scholastischen Theorie der Bewegung zur klassi- schen Physik und Astronomie	
<i>Jürgen Sarnowsky</i>	
<b>Theorie-Revision – normative und deskriptive Aspekte .....</b>	<b>33</b>
<i>Ulrich Gähde</i>	
Wie sich die Kommunikation ordnet .....	47
Anmerkungen zur kommunikationsorientierten Modellierung sozialer Sichtbarkeit	
<i>Thomas Malsch, Rasco Perschke, Marco Schmitt</i>	
Theoriebewertung und Modellerstellung .....	63
Ein Erfahrungsbericht	
<i>Michael Köhler, Rüdiger Valk</i>	
Das Mikropolis-Modell als transdisziplinärer Ansatz für Orientierungswissen in informatiknahen Disziplinen .....	77
<i>Detlev Krause, Marcel Christ, Arno Rolf</i>	

Konfliktlösung als Grundlage intelligenten Handelns . . . . .	87
<i>Wolfgang Menzel</i>	
Emotion als theorieleitende Kategorie in Soziologie und Informatik . . . . .	103
Zur emotionsbasierten Modellierung von Strukturodynamiken in künstlichen und natürlichen Gesellschaften	
<i>Daniel Moldt, Julia Fix, Rolf von Lüde, Christian von Scheve</i>	
Wissensformation und -formatierung . . . . .	117
<i>Torsten Meyer</i>	
Beitragende . . . . .	131

# Theorie-Revision – normative und deskriptive Aspekte

Ulrich Gähde

## 1. Einleitung

Eine der grundlegenden Fragen der Erkenntnistheorie kann wie folgt formuliert werden: „Angenommen, wir werden mit einer neuen Information konfrontiert, die nicht in unser bisheriges Überzeugungssystem passt, mit diesem vielmehr unverträglich ist. Dann muss dieses Überzeugungssystem – sofern die Information verlässlich ist – revidiert werden. Lassen sich Rationalitätspostulate explizieren, die sagen, wie bei dieser Revision vorzugehen ist beziehungsweise was rationale Strategien bei der Beseitigung eines derartigen Konflikts von irrationalen Strategien unterscheidet?“ Auf diese Frage haben C. Alchourrón, P. Gärdenfors und D. Makinson (1985) eine erste Antwort zu geben versucht. Diese so genannte AGM-Theorie ist zum Ausgangspunkt einer intensiven, fachübergreifenden Debatte geworden, die zu zahlreichen Verbesserungen und Präzisierungen des ursprünglichen Ansatzes geführt hat. Einen zweiten wichtigen Referenzpunkt lieferte 1991 I. Levi in seiner Monographie *Fixation of Belief and its Undoing*; eine Fortsetzung und Weiterentwicklung erschien 2004 unter dem Titel *Mild Contraction: Evaluation Loss of Information due to Loss of Belief*.

Bei diesen Arbeiten handelt es sich um normative Konzeptionen der Überzeugungsänderung. Es geht um die Frage von Rationalitätspostulaten, die den Prozess der Erkenntnisgewinnung im Fall eines Konflikts zwischen einer neuen Information und bereits verfügbaren Hintergrundüberzeugungen steuern sollen. Ein wesentliches Problem dieser Ansätze besteht darin, dass sie quasi in einem empirischen Vakuum entstanden sind: Wenn überhaupt Beispiele dafür diskutiert wurden, wie derartige Überzeugungsänderungen *de facto* ablaufen, so handelte es sich in aller Regel um beson-

ders triviale Alltagsbeispiele, die sich zudem ständig wiederholten. Komplexe wissenschaftliche Erkenntnisprozesse wurden dagegen in der *belief revision theory* kaum diskutiert. Ein wesentlicher Grund dafür dürfte in dem Umstand zu sehen sein, dass diese Ansätze im Wesentlichen von Logikern entwickelt wurden, die zwar über eine erhebliche formale Kompetenz, dagegen nur über sehr begrenzte wissenschaftstheoretische beziehungsweise wissenschaftshistorische Kenntnisse verfügten.

In gewissem Sinne komplementär dazu ist die gegenwärtig zu konstatierende Situation in der Wissenschaftstheorie. Diese war ursprünglich ebenfalls mit einem klaren normativen Anspruch aufgetreten. So ging etwa Karl Popper einerseits von einem stark simplifizierenden Bild empirischer Theorien aus,<sup>1</sup> leitete daraus aber andererseits weit gehende normative Forderungen dafür ab, wie Prozesse der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung beziehungsweise der Überprüfung von Geltungsansprüchen ablaufen sollten.<sup>2</sup> Dieses Vorgehen hat insbesondere von Seiten der Wissenschaftsgeschichte zu massiven Einwänden gegen seine Konzeption geführt: Wissenschaftshistoriker wiesen zu Recht darauf hin, dass auch in besonders hoch entwickelten und erfolgreichen Disziplinen – wie etwa der Physik – das tatsächliche Vorgehen der Fachwissenschaftler Poppers Forderungen nur sehr bedingt entsprach. Als Reaktion auf diese Einwände trat die Wissenschaftstheorie sukzessive bescheidener auf: Sie nahm ihren normativen Anspruch immer weiter zurück und bemühte sich stattdessen, ein differenziertes, komplexes Bild der logischen Struktur und Entwicklung empirisch-deskriptiver Theorien zu entwerfen. Zudem wurden verstärkt Versuche unternommen, die Adäquatheit von Aussagen zur Entwicklung wissenschaftlicher Theorien an konkreten wissenschaftshistorischen Fallstudien zu testen. Die Frage, wie rational das Vorgehen der Wissenschaftler in den untersuchten Prozessen war, wurde dagegen kaum noch gestellt.

Vor dem Hintergrund der zuvor skizzierten Entwicklungen liegt der Versuch nahe, sich um eine Integration der formal anspruchsvollen, empirisch aber weit gehend uninformierten normativen Ansätze der *belief revision*

---

<sup>1</sup> Popper betrachtet Theorien als Konjunktion spezifischer Allaussagen beziehungsweise als Menge derartiger Aussagen, die keine interne Struktur aufweist. Vgl. Popper (<sup>8</sup>1984), Kapitel III „Theorien“.

<sup>2</sup> Dazu gehört insbesondere die Forderung, dass sich Theorien in möglichst kühner Weise Falsifikationsversuchen stellen sollen beziehungsweise dass der Einsatz von Hilfhypothesen nur dann zulässig ist, wenn diese den (von Popper näher bestimmten) Grad der Falsifizierbarkeit dieser Theorien erhöhen.

*sion theory* mit den immer stärker deskriptiv orientierten Konzeptionen der modernen Wissenschaftstheorie zu bemühen. So liegt es nahe, an Beispielen besonders erfolgreicher Prozesse der Revision empirischer Theorien zur Abwehr von Anomalien die folgenden Fragen zu untersuchen: „Folgt das Vorgehen der Wissenschaftler in diesen Erkenntnisprozessen tatsächlich den normativen Empfehlungen der verschiedenen Varianten der *belief revision theory*? Oder lassen sich an diesen Beispielen abweichende, eventuell leistungsfähigere Strategien zum Umbau eines wissenschaftlichen Überzeugungssystems im Fall eines Konflikts mit konfligierenden empirischen Informationen ablesen?“

Die Relevanz dieser Fragestellung wird im Folgenden am Beispiel einer der berühmtesten Anomalien der Physikgeschichte erläutert. Es handelt sich um die so genannte Perihel-Anomalie des Merkur, bei der Abweichungen der astronomischen Messdaten von den Vorhersagen der Newton'schen Gravitationstheorie sukzessive tiefere Einschnitte in das Überzeugungsgebäude der klassischen Physik erzwangen. An diesem Beispiel soll gezeigt werden, wie ein schwer wiegender Konflikt zwischen Theorie und Beobachtung auftrat, welche Anstrengungen zu seiner Beseitigung (zunächst im Rahmen der klassischen Physik) unternommen wurden und welche Strategien dabei verfolgt wurden. Insbesondere soll geprüft werden, ob und inwieweit diese Strategien mit basalen Forderungen der *belief revision theory* übereinstimmen.

## 2. Fallbeispiel: Die Perihel-Anomalie des Merkur

Nach den Kepler'schen Gesetzen bewegen sich die Planeten auf stationären Ellipsenbahnen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht. Bereits Newton wusste, dass die tatsächlichen Bahnkurven von diesen Ellipsenbahnen mehr oder weniger stark abweichen. So führt der Einfluss des massereichen Planeten Jupiter dazu, dass sich der Planet Merkur (angenähert) auf einer Rosettenbahn bewegt. Das Perihel – also der sonnennächste Punkt der Bahn – führt dabei seinerseits eine Kreisbewegung aus. Dieser Rosetteneffekt ist allerdings nur schwach ausgeprägt: Das Perihel des Planeten Merkur benötigt etwa 260.000 Jahre, um seine Kreisbahn einmal ganz zu durchlaufen.

Merkur stellte – als zugleich kleinster und sonnennächster Planet – immer ein problematisches Untersuchungsobjekt für die astronomische Forschung dar. Die zuvor genannten Fakten über Merkur waren jedoch bereits Mitte des 19. Jahrhunderts bekannt. Im Jahr 1849 publizierte der französische Astronom Le Verrier eine – noch mit zahlreichen Unzulänglichkeiten und Idealisierungen behaftete – theoretische Beschreibung der Bahnbewegung des Merkur, die er zehn Jahre später durch eine wesentlich verbesserte Version ersetzte. Die auf Grund dieser verbesserten theoretischen Beschreibung berechnete Bahnkurve stimmte jedoch nicht mit der beobachteten Bahn überein. Die Abweichung war zwar nur klein, lag jedoch eindeutig über der Mitte des 19. Jahrhunderts erreichten Messgenauigkeit.

Die Entdeckung dieses Konflikts zwischen der Newton'schen Gravitationstheorie und den verfügbaren Messdaten gab sofort zu Korrekturversuchen Anlass, die jedoch erst mehr als ein halbes Jahrhundert nach Entdeckung der Anomalie schließlich zum Erfolg führten. Die Geschichte dieser Anomalie stellt ein spannendes Beispiel dafür dar, wie einem Konflikt zwischen Theorie und Erfahrung zunächst nur eine untergeordnete Bedeutung beigemessen wird und wie erst nach und nach klar wird, dass dieser Konflikt als ein grundlegender Angriff auf das gesamte etablierte physikalische Weltbild zu betrachten ist. Sie stellt zugleich einen interessanten Testfall für Behauptungen der *belief revision theory* darüber dar, wie unser Überzeugungssystem im Fall eines Konflikts mit neu gewonnenen und mit ihm unverträglichen Informationen umzugestalten ist.

Um diesen Konflikt zu beseitigen, wurden im Wesentlichen zwei grundlegend verschiedene Strategien angewandt. Der ersten Strategie folgten sämtliche Varianten der so genannten Materie-Hypothese. Die zentrale Idee hinter dieser Hypothese bestand darin, dass die Abweichung der beobachteten von den berechneten Planetenörtern durch bis dahin unbeobachtete Objekte beziehungsweise Materieverteilungen hervorgerufen würde. Durch diese Annahme sollte die Anomalie beseitigt werden, ohne dass dazu irgendwelche Gesetzhypothesen der klassischen Physik modifiziert werden mussten. Die zweite Strategie versuchte dagegen den Konflikt zwischen Theorie und Beobachtung dadurch zu beseitigen, dass Gesetze der klassischen Physik verändert oder preisgegeben wurden.

Im folgenden Abschnitt 3 werden zunächst verschiedene Varianten der Materie-Hypothese vorgestellt. Ob und inwieweit sie mit basalen Forde-

rungen der *belief revision theory* in Einklang stehen, wird anschließend in Abschnitt 4 diskutiert.

### 3. Materie-Hypothesen

Bereits zehn Jahre vor Entdeckung der Merkur-Anomalie war bei einem anderen Planeten ein Konflikt zwischen Theorie und Erfahrung festgestellt worden: Die durch Messungen bestimmten Positionen des Uranus wichen von den mit Hilfe der Newton'schen Gravitationstheorie berechneten Daten erheblich ab. Le Verrier postulierte daraufhin die Existenz eines bis dahin unentdeckten Planeten, der für die Bahnstörungen verantwortlich sein sollte. Als im Jahr 1846 Neptun an der vorausberechneten Stelle entdeckt wurde, stellte dies einen Triumph für Newtons Theorie dar. Entsprechend zweifelte Mitte des 19. Jahrhunderts kaum ein Physiker oder Astronom an der Gültigkeit dieser Theorie.

Damit war die Reaktion auf die Entdeckung der Perihel-Anomalie des Merkur vorprogrammiert: Es lag nahe, auch hier ein bis dahin unentdecktes Objekt beziehungsweise eine unentdeckte Materieverteilung für die Abweichung von der vorausberechneten Bahn verantwortlich zu machen. Genauer gesagt, konkurrierten zunächst zwei verschiedene Hypothesen. Nach der ersten Hypothese sollte ein einzelner Kleinplanet – genannt Vulcan – die Bahnstörungen hervorrufen. Nach der zweiten Hypothese handelte es sich dagegen um mehrere Asteroiden, die die Bahn des Merkur beeinflussen und so die Abweichungen bewirken sollten. Le Verrier favorisierte zunächst die Asteroid-Hypothese. Er argumentierte wie folgt: Angenommen, ein einzelnes Objekt – Vulcan – würde die Bahnstörungen hervorrufen, und angenommen, dieses Objekt würde sich nahe am Planeten Merkur befinden: Dann könnte es zwar auf Grund der geringen Distanz zu Merkur vergleichsweise klein sein, um die beobachteten Störungen hervorzurufen; zugleich wären aber auch die Beobachtungsbedingungen auf Grund des relativ großen Abstandes zur Sonne gut, und das Objekt hätte beobachtet werden müssen. Angenommen dagegen, das Objekt würde sich auf einer sonnennahen Bahn bewegen: Dann wären zwar einerseits die Beobachtungsbedingungen deutlich schlechter; andererseits müsste das Objekt aber auch wesentlich größer und damit besser beobachtbar sein, um die beobachteten Bahnstörungen hervorrufen zu können. In beiden Fällen

hätte Vulcan beobachtet werden müssen. Le Verrier schloss aus diesen Überlegungen, dass nicht ein einzelner Kleinplanet, sondern vielmehr eine Gruppe von Asteroiden für die Anomalie verantwortlich sei. Als jedoch ein Amateur-Astronom in der Nähe von Paris behauptete, Vulcan beobachtet zu haben, suchte Le Verrier ihn auf, überprüfte die Beobachtungsbedingungen und akzeptierte daraufhin, dass der Kleinplanet gefunden worden war. Damit riss die Diskussion aber keineswegs ab: Manche Astronomen behaupteten, Vulcan ebenfalls gesehen zu haben; andere bestritten seine Existenz. Es dauerte mehrere Jahre, bis eindeutig feststand, dass Vulcan nicht existierte.<sup>3</sup>

An die Stelle der Vulcan-Hypothese trat die Asteroid-Hypothese. Da diese Asteroiden wesentlich kleiner als Vulcan sein konnten, um die beobachteten Bahnstörungen hervorzurufen, war die Widerlegung dieser Hypothese deutlich schwieriger als die Widerlegung der Vulcan-Hypothese. Es dauerte bis in die Mitte der achtziger Jahre des 19. Jahrhunderts, bis auch die Asteroid-Hypothese endgültig aufgegeben werden musste.

Eine der letzten Varianten der Materie-Hypothese war die vom damaligen Direktor der Münchner Sternwarte, Hugo von Seeliger, 1906 aufgestellte Hypothese, dass dieselbe feine Verteilung von Partikeln, die für die Entstehung des Zodiakallichts verantwortlich ist, auch die Bahnstörungen des Merkur hervorrufe. Mehrere Jahrzehnte mühsamer Forschungstätigkeit waren erforderlich, um zu zeigen, dass die Helligkeitsverteilung des Zodiakallichts mit keiner Materieverteilung zusammenpasste, die für die Bahn-anomalie des Merkur hätte verantwortlich sein können.

Die verschiedenen Varianten der Materie-Hypothese stellten zweifellos interessante und *prima facie* aussichtsreiche Versuche dar, die Merkur-Anomalie in den Griff zu bekommen – auch wenn sie letztlich erfolglos blieben. Wie sind diese Versuche, einen Konflikt zwischen Theorie und Erfahrung zu beseitigen, aus der Sicht der *belief revision theory* zu beschreiben und zu bewerten? Der folgende Abschnitt enthält einige erste Überlegungen zu dieser Fragestellung.

---

<sup>3</sup> Möglicherweise hatten Sonnenflecken die Astronomen, die meinten, Vulcan gesehen zu haben, getäuscht.

#### 4. Wissenschaftstheoretische Einordnung der Materie-Hypothesen

Die folgenden Ausführungen nehmen auf eine klassische Variante der *belief revision theory* Bezug – auf die Position, die Peter Gärdenfors in seinem 1988 erschienenen Pionierwerk *Knowledge in Flux* beschrieben hat.

Sei  $K$  ein konsistenter Überzeugungszustand. Dann sind vor dem Hintergrund dieses Überzeugungszustandes drei verschiedene epistemische Einstellungen gegenüber einer Überzeugung  $A$  möglich:

1.  $A \in K$ , das heißt  $A$  wird akzeptiert,
2.  $\neg A \in K$ , das heißt  $A$  wird abgelehnt, und schließlich
3.  $A$  ist in  $K$  indeterminiert.

Änderungen des Überzeugungszustandes bestehen darin, dass ein epistemisches Subjekt seine Einstellung in Bezug auf mindestens eine Überzeugung  $A$  ändert. Gärdenfors unterscheidet drei grundlegende Typen derartiger Überzeugungsänderungen: Expansion, Kontraktion und Revision.

Bei einer Expansion wird ein Überzeugungszustand durch Hinzunahme einer weiteren Überzeugung  $A$  erweitert, die mit den bereits zuvor in  $K$  enthaltenen Überzeugungen konsistent ist. Mit anderen Worten: Während die Einstellung gegenüber  $A$  zuvor nicht determiniert war, wird  $A$  nun akzeptiert.

Der umgekehrte Fall liegt bei einer Kontraktion vor: Eine zuvor akzeptierte Überzeugung  $A$  wird nun vorsichtiger behandelt: Es wird weder behauptet, dass  $A$  zu akzeptieren, noch dass  $A$  zu verwerfen sei. Die Überzeugung wird vielmehr zur weiteren Untersuchung freigegeben.

Die Revision stellt schließlich die dritte mögliche Form einer Überzeugungsänderung dar. Dabei wird entweder eine zuvor akzeptierte Überzeugung verworfen oder eine zuvor abgelehnte Überzeugung akzeptiert. Eine Revision stellt damit eine Änderung eines Überzeugungszustandes dar, bei der das Überzeugungssystem vor der Änderung und das Überzeugungssystem nach der Änderung inkonsistent sind.

Für diese drei Formen der Überzeugungsänderung werden Forderungen aufgestellt, die Gärdenfors als *Rationalitätspostulate* bezeichnet. Ein derartiges Rationalitätspostulat, das für die folgenden Überlegungen besonders wichtig ist, wird von ihm als *criterion of informational economy* bezeichnet. Die Grundidee hinter diesem Kriterium besteht in Folgendem: Infor-

mation ist wertvoll. Wir werden deswegen versuchen, Änderungen unseres Überzeugungszustandes so durchzuführen, dass möglichst wenig Information dabei verloren geht. Konkret bedeutet das: Wir werden bei einer Überzeugungsänderung versuchen, so viele unserer Überzeugungen wie möglich unverändert beizubehalten. Konkret werden wir versuchen, nur solche Überzeugungen aufzugeben, die – in einem zu präzisierenden Sinn – nur schwach in das sonstige Überzeugungssystem eingebettet sind. Wie die weiteren Überlegungen in diesem Paper zeigen werden, erweist sich dieses auf den ersten Blick plausible Kriterium bei näherer Betrachtung als keineswegs unproblematisch.

Kehren wir aber zunächst zu der Frage zurück, wie der Versuch, die Perihel-Anomalie des Merkur durch die verschiedenen Varianten der Materie-Hypothese zu beseitigen, unter Verwendung von Gärdenfors' Terminologie beschrieben werden kann. Vor Entdeckung der Anomalie war man zunächst davon ausgegangen, alle Objekte, die für die Beschreibung der Merkur-Bahn im Rahmen der damals verfügbaren Messgenauigkeit relevant waren, berücksichtigt zu haben. Der entscheidende Gedanke aller Varianten der Materie-Hypothese bestand darin, dass diese Annahme falsch war und preisgegeben werden musste. In Gärdenfors' Terminologie handelt es sich dabei um eine Revision. An diesem Beispiel lässt sich gut erläutern, dass jede Revision als eine Kombination von Kontraktion und Expansion beschrieben werden kann: Zunächst wird die Annahme preisgegeben, alle relevanten Objekte seien berücksichtigt worden (Kontraktion). Damit ist noch nicht gesagt, dass diese Annahme explizit falsch ist: Sie wird nur – informell formuliert – zur Diskussion gestellt. Erst in einem zweiten Schritt wird die betreffende Annahme für falsch erklärt und damit die gegenteilige Überzeugung akzeptiert (Expansion). Damit verbunden war bei allen Varianten der Materie-Hypothese ein weiterer Expansionsschritt: Es wurden zusätzliche Überzeugungen darüber akzeptiert, welche weiteren Objekte beziehungsweise Materieverteilungen bei der Beschreibung der Merkur-Bahn zu berücksichtigen seien. Die verschiedenen Varianten der Materie-Hypothese unterschieden sich darin, unter Verwendung welcher Überzeugungen beziehungsweise Hypothesen dieser zweite Expansionsschritt durchgeführt wurde.

Wie steht es nun in unserem Fallbeispiel mit dem zuvor erwähnten *criterion of informational economy*? Auch hier scheint Gärdenfors' Konzeption zunächst gut anwendbar zu sein: Das gemeinsame Ziel aller Varianten der

Materie-Hypothese bestand darin, die Perihel-Anomalie des Merkur zu beseitigen, ohne dazu irgendwelche Modifikationen am Theoriengebäude der klassischen Physik vornehmen zu müssen. Insbesondere das Newton'sche Gravitationsgesetz sollte – nicht zuletzt angesichts der Bestätigung, die es durch die Entdeckung des Planeten Neptun erfahren hatte – unangetastet bleiben. Naturgesetze stellen aber in der Physik (wie in jeder anderen Naturwissenschaft) Aussagen dar, in denen ein wesentlicher Teil der Informationsmenge, über die diese Wissenschaften verfügen, gespeichert ist. Der Versuch, die Beseitigung der Anomalie in einer Weise durchzuführen, bei der diese Aussagen unangetastet bleiben, genügt damit (zumindest *prima facie*) dem *criterion of informational economy*: Die erforderlichen Überzeugungsänderungen werden so durchgeführt, dass dabei möglichst wenig Information verloren geht.

Ein genauerer Blick auf die Fallstudie zeigt jedoch, dass diese Einschätzung nur die halbe Wahrheit ist. Denn parallel zu den verschiedenen Varianten der Materie-Hypothese – und ohne dass deren Erklärungskraft bereits völlig ausgeschöpft worden war – wurden theoretische Korrekturversuche zur Behebung der Anomalie vorgenommen, die teilweise drastische Einschnitte in das Gesetzesgebäude der klassischen Physik vorsahen. Mit anderen Worten: Es wurden Überzeugungen aufgegeben, die tief in das physikalische Überzeugungsgebäude eingebettet waren. Diesen Korrekturversuchen wenden wir uns nun zu.

## 5. Theoretische Korrekturversuche

Den Ausgangspunkt bildete der Versuch, die Bahnbewegung des Merkur unter Verwendung der Newton'schen Axiome sowie des Newton'schen Gravitationsgesetzes zu beschreiben. Dieser Versuch scheiterte; er führte zu der zuvor geschilderten Anomalie.

Die ersten theoretischen Korrekturversuche sahen vergleichsweise geringfügige Modifikationen des Newton'schen Gravitationsgesetzes vor. Ein Beispiel hierfür ist die so genannte Clairaut'sche Hypothese (vgl. Roseveare 1982: 43 f.). Diese Gesetzeshypothese geht aus dem Newton'schen Gravitationsgesetz dadurch hervor, dass zusätzlich zum Term  $G \cdot m_1 m_2 / r^2$  ein additiver Term berücksichtigt wird, der mit  $1/r^4$  vom Abstand  $r$  der wechselwirkenden Objekte abhängt. Diese Modifikation des Newton'schen Gravitati-

onsgesetzes war bereits 1745 von Clairaut vorgeschlagen worden, um einen Konflikt zwischen der Newton'schen Theorie und den damals verfügbaren Daten der Mondbewegung zu beseitigen. Als sich herausstellte, dass diese vermeintliche Anomalie nur durch einen Messfehler hervorgerufen wurde, mithin gar nicht existierte, verlor die Clairaut'sche Hypothese ihren bis dahin ersten und einzigen Anwendungsfall. Erst mehr als 100 Jahre später wurde sie reaktiviert, um das Rätsel der Perihel-Anomalie des Merkur zu lösen. Es konnte gezeigt werden, dass sie eine Beschreibung der Bahnbewegung des Merkur ermöglichte, die mit den Messdaten im Rahmen der damals verfügbaren Messgenauigkeit übereinstimmte. Sie scheiterte jedoch an einem anderen Problem: Je kleiner die Entfernung zwischen den sich wechselseitig anziehenden Körpern wird, desto größer müsste zugleich der Einfluss des  $1/r^4$ -Terms werden. Dieser Effekt hätte bei einem von Cavendish durchgeführten Experiment beobachtbar sein müssen, bei dem die Gravitationskräfte zwischen Bleikugeln gemessen wurden, die sich sehr nahe beieinander befanden. Bei diesem Experiment wurde jedoch keine Abweichung von den Vorhersagen der Newton'schen Theorie beobachtet: Clairauts Hypothese war gescheitert.

Ein zweites Beispiel für eine kleinere Variante des Newton'schen Gravitationsgesetzes stellte die so genannte Hall'sche Hypothese dar (Roseveare 1982: 50 ff.). Nach dieser Hypothese sollte die Gravitationskraft nicht mit  $1/r^2$ , sondern vielmehr mit  $1/r^m$  vom Abstand der sich anziehenden Objekte abhängen, wobei  $m$  geringfügig größer als 2 ist. Auch hier konnte gezeigt werden, dass man unter Verwendung dieser Hypothese zu Bahnkurven für die inneren Planeten gelangt, die im Rahmen der damals verfügbaren Messgenauigkeit mit den Messdaten übereinstimmten. Die Hall'sche Hypothese scheiterte jedoch bei dem Versuch, mit ihrer Hilfe die Mondbewegung theoretisch zu beschreiben. Brown konnte 1903 zeigen, dass die Hall'sche Hypothese keine Beschreibung der Lunarbewegung ermöglicht, die mit den verfügbaren Messdaten im Rahmen der Messgenauigkeit übereinstimmt.

Sowohl die Clairaut'sche Hypothese als auch die Hall'sche Hypothese stellten insofern vergleichsweise moderate Eingriffe in das Theoriegebäude der klassischen Physik dar, als bei beiden Hypothesen nicht nur an der Gültigkeit der Newton'schen Axiome festgehalten wurde, sondern zudem an der Annahme, dass es sich bei der Gravitationskraft um eine konservative Zentralkraft handelt.

Drastischere Eingriffe in die klassische Physik stellten dagegen Gesetzhypothesen dar, die geschwindigkeitsabhängige Gravitationskräfte vorsahen. Ein Beispiel für ein derartiges Gesetz hatte Zöllner 1872 zur Beschreibung der Kometenbewegung vorgeschlagen (vgl. Zöllner 1872). Interessant ist an diesen geschwindigkeitsabhängigen Gravitationsgesetzen insbesondere das Motiv, das zu ihrer Formulierung führte: Bereits im 19. Jahrhundert suchte man nach einer Möglichkeit, Gravitationsphänomene und elektrodynamische Phänomene im Rahmen ein und derselben Theorie zu behandeln. Aus diesem Grund wurde für jedes der von Weber, Gauss, Lorentz und anderen vorgeschlagenen elektrodynamischen Kraftgesetze ein strukturell analoges Gravitationsgesetz formuliert. Diese Gesetzhypothesen gingen im Allgemeinen von der Annahme aus, dass die Gravitationskraft vom Bewegungszustand der Objekte abhängig ist, zwischen denen sie wirkt.

Die Annahme, dass Gravitationskräfte geschwindigkeitsabhängig sind, stellte einen tiefen Eingriff in das Theoriengebäude der klassischen Physik dar: Anders als etwa bei der Clairaut'schen oder der Hall'schen Hypothese wurde nun auch die Annahme preisgegeben, dass es sich bei der Gravitationskraft um eine (konservative) Zentralkraft handele. Dagegen wurde an der Annahme der Gültigkeit der Newton'schen Axiome zunächst festgehalten. Erst im Rahmen der von Ritz 1908 vorgeschlagenen ballistischen Theorie der Gravitation wurde auch die Gültigkeit eines der Newton'schen Axiome, nämlich des *actio = reactio*-Prinzips, aufgegeben. Ritz' Theorie stellte in dieser Hinsicht einen Vorläufer der revolutionären Lösung der Merkur-Anomalie dar, die Albert Einstein im Rahmen der allgemeinen Relativitätstheorie gelang (Roseveare 1982: 129 ff., 147 ff.).

## 6. Wissenschaftstheoretische Einordnung der theoretischen Korrekturversuche

Wir haben zuvor einige Lösungsversuche zur Beseitigung der Merkur-Anomalie skizziert. Diese Darstellung könnte den Eindruck erwecken, als ob die Abfolge der Korrekturversuche mit dem *principle of informational economy* in Einklang steht: Sie scheint der Forderung zu genügen, bei Korrekturen an unserem Überzeugungssystem so viel wie möglich an bereits verfügbarer Information zu bewahren, indem man zunächst nur solche

Überzeugungen modifiziert beziehungsweise preisgibt, die nur schwach in unser sonstiges Überzeugungssystem eingebettet sind.

So war bei den verschiedenen Varianten der Materie-Hypothese der Versuch unternommen worden, die Perihel-Anomalie des Merkur zu beseitigen, ohne dazu Gesetze der klassischen Physik anzutasten. Erst nachdem diese „nicht-theoretischen“ Korrekturversuche gescheitert waren – so könnte man vermuten –, wurden sukzessiv tiefere Eingriffe in das Gesetzesgebäude der klassischen Physik vorgenommen.

Eine solche Sichtweise lässt sich jedoch angesichts der wissenschaftshistorischen Fakten nicht aufrechterhalten. Vielmehr können gegen sie gleich mehrere Einwände vorgebracht werden.

Erstens: Theoretische Korrekturversuche wurden bereits zu einem Zeitpunkt vorgeschlagen, als das Erklärungspotenzial der Materie-Hypothese noch keineswegs erschöpft war. Modifikationen des Newton'schen Gravitationsgesetzes wurden bereits in den sechziger Jahren des 19. Jahrhunderts erörtert, als etwa die Asteroid-Hypothese noch keineswegs endgültig falsifiziert war. Mehr noch: Bestimmte Varianten der Materie-Hypothese – wie etwa Seeligers Hypothese – wurden erst formuliert, nachdem zahlreiche theoretische Korrekturversuche bereits jahrzehntelang diskutiert worden waren.

Zweitens: Auch die Reihenfolge der theoretischen Korrekturversuche folgt nicht dem Prinzip, dass im Fall eines Konflikts zwischen Theorie und Erfahrung die am schwächsten eingebetteten Überzeugungen zunächst preisgegeben sind. Geschwindigkeitsabhängige Kraftgesetze stellen – wie wir gesehen haben – wesentlich drastischere Eingriffe in das Theoriengebäude der klassischen Physik dar als etwa die Clairaut'sche oder die Hall'sche Hypothese. Dennoch wurden derartige Kraftgesetze erörtert, bevor nachgewiesen worden war, dass die beiden zuletzt genannten, vergleichsweise moderaten Eingriffe in die Newton'sche Theorie die Merkur-Anomalie nicht beheben konnten. Die Aussicht auf eine Theorie, die eine theoretische Beschreibung sowohl von elektrodynamischen Phänomenen als auch von Gravitationsphänomenen ermöglichen würde, ließ das Ziel, sich auf möglichst geringfügige Eingriffe in das Theoriengebäude zu beschränken, in den Hintergrund treten.

## 7. Fazit

Im Zentrum der vorangegangenen Betrachtungen stand eine normative Forderung, die in vielen Varianten der *belief revision theory* eine grundlegende Rolle spielt. Diese Forderung kann wie folgt formuliert werden: „Angenommen, wir akzeptieren – etwa auf Grund einer Beobachtung – eine neue Überzeugung, die mit unserem bisherigen Überzeugungszustand inkonsistent ist. Dann muss dieser Überzeugungszustand modifiziert werden. Diese Modifikation soll so vorgenommen werden, dass zunächst nur die – in einem zu präzisierenden Sinn – am schwächsten eingebetteten Überzeugungen modifiziert oder aufgegeben werden. Erst wenn diese Korrekturversuche gescheitert sind, sollen sukzessive tiefer verankerte Überzeugungen preisgegeben werden.“

Unsere Fallstudie ermöglicht im Hinblick auf diese Forderung mindestens zwei Einsichten. Erstens: Die zuvor erläuterte Forderung nach Minimalinvasivität bringt nur ein Ziel unter anderen zum Ausdruck, die wir beim Umbau unseres Überzeugungsgebäudes verfolgen. Ein weiteres Ziel besteht darin, dass wir zu einem Überzeugungsgebäude gelangen wollen, das eine möglichst große Vereinheitlichungsleistung erbringt. Diese Ziele können miteinander konfliktieren und müssen im Konfliktfall gegeneinander abgewogen werden.

Zweitens: Die Fallstudie zeigt weiterhin, welche Bedeutung so genannten *mixed strategies* beim Umbau unseres Überzeugungsgebäudes zukommt. Ein wesentlicher Grund für die Fähigkeit der Physik, Anomalien zu entdecken, aufzulösen und in einen starken Antrieb für den wissenschaftlichen Fortschritt umzumünzen, dürfte gerade darin bestehen, dass bei dieser Aufgabe von unterschiedlichen Forscherpersönlichkeiten unterschiedliche – und insbesondere unterschiedlich riskante – Strategien eingesetzt werden.

An unserer Fallstudie lässt sich ein grundlegendes Problem der *belief revision theory* ablesen: Zum einen handelt es sich um eine Theorie, die mit einem eindeutigen normativen Anspruch auftritt. Zum anderen wurde diese Theorie aber gleichsam in einem empirischen Vakuum entwickelt: Es werden nur wenige, im Allgemeinen triviale Beispiele für Überzeugungsänderungen diskutiert; diese wiederholen sich zudem ständig. Unsere Fallstudie legt dagegen die Vermutung nahe, dass sich aus der Analyse komplexer Beispiele für erfolgreiche wissenschaftliche Überzeugungsänderun-

gen wertvolle Hinweise für die *belief revision theory* gewinnen lassen könnten. Insbesondere könnte man versuchen, aussichtsreiche Strategien beziehungsweise Kombinationen von Strategien herauszupräparieren, die bei derartigen erfolgreichen Überzeugungsänderungen *de facto* eingesetzt worden sind. Diese Analysen könnten die ansonsten eher aprioristisch orientierten Überlegungen der *belief revision theory* wesentlich bereichern.

## Literatur

- Alchourrón, C.; Gärdenfors, P.; Makinson, D. (1985): On the Logic of Theory Change: Partial Meet Contraction and Revision Functions. In: *The Journal of Symbolic Logic* 50. S. 510–530.
- Levi, I. (1991): *Fixation of Belief and its Undoing: Changing Beliefs through Inquiry*. Oxford: Oxford University Press.
- Ders. (2004): *Mild Contraction: Evaluation Loss of Information due to Loss of Belief*. Oxford: Oxford University Press.
- Popper, K. (<sup>8</sup>1984): *Logik der Forschung*. Achte, weiter verbesserte und vermehrte Auflage. Tübingen: Mohr.
- Roseveare, N. T. (1982): *Mercury's Perihelion. From Le Verrier to Einstein*. Oxford: Clarendon Press.
- Zöllner, F. (1872): *Ueber die Natur der Kometen*. Leipzig: Engelmann.