

URKNALL UND WISSENSCHAFT

Nachlese zu meinem Vortrag aus dem Themenkreis „Wissenschaft – kritisch hinterfragt“, gehalten beim Symposium für Naturphilosophie im Stift Vorau im April 2011.

Zunächst möge dargelegt werden, wie sich die Naturphilosophie von der Naturwissenschaft unterscheidet: Naturphilosophie geht auf die Zeit der Vorsokratiker im 6. vorchristlichen Jahrhundert zurück und Thales von Milet gilt als ihr erster Vertreter. Bis in die Zeit Immanuel Kants wurde die denkende Beschäftigung mit der Natur Naturphilosophie genannt; als Beispiel möge Isaac Newton dienen, der das Werk, in dem er 1686 sowohl die Grundlagen der Differential- und Integralrechnung vorstellte als auch die Formel zur Berechnung der gravitativen Anziehungskraft zwischen Massen „Philosophiae Naturalis Principia Mathematica“ genannt hat („Mathematische Prinzipien der Naturphilosophie“).

Immanuel Kant nahm im 18. Jh. den philosophischen Anspruch, in der Frage mitzureden, was Natur sei, zurück und setzte damit gewissermaßen die Naturwissenschaften frei. Naturphilosophen betreiben seither im wesentlichen Erkenntnistheorie und Wissenschaftstheorie der Naturwissenschaften, und Naturwissenschaftler haben bis in das 20. Jh. hinein die übergeordnete Bedeutung der Philosophie als Wegweiserin zu gesicherter Erkenntnis akzeptiert.

Diese Bedeutung ging im Laufe des 20. Jh. verloren, Naturphilosophie wurde vorwiegend durch Naturwissenschaftler vorangetrieben (z.B. Albert Einstein, Werner Heisenberg), aber allmählich wussten Naturwissenschaftler immer weniger über philosophische Grundlagen Bescheid, was sich zunächst im nachlässigen Umgang mit Begriffen zeigte, dann aber auch einen solchen Umgang mit Denkweisen zur Folge hatte, was dazu führte, dass viele „moderne Theorien“ bei kritischer Betrachtung völlig unhaltbar sind. Die Medien fördern dies noch, indem jede neue Idee der Öffentlichkeit als Theorie präsentiert wird, was sie jedoch nicht ist.

Unterschied Hypothese – Theorie

Die Idee, weshalb etwas so sein könnte, wie es ist, wird als Hypothese bezeichnet. Da es erstrebenswert ist, nicht für jedes Phänomen eine eigene Hypothese zu haben, sondern mittels einer Hypothese möglichst viele Phänomene „erklären“ zu können, ergibt sich die Möglichkeit, die Hypothesen durch Beobachtungen und/oder Messungen zu testen; dies kann zu einer Bestätigung, aber auch zu einer Widerlegung des aufgrund einer Hypothese Erwarteten führen (bei Messergebnissen, die einer Hypothese widersprechen, muss auch die Durchführung der Messung einer kritischen Überprüfung unterzogen werden, weil ja der Fehler auf beiden Seiten liegen könnte).

Erst dann, wenn eine Hypothese ausreichend viele Tests unbeschadet überstanden hat, kann sie (in Fachkreisen) zur Theorie erhoben werden. Eine naturwissenschaftliche Theorie wird zum festen Fundament der Naturwissenschaften gezählt; auf ihr kann weiter aufgebaut werden, obwohl wir uns auch der Richtigkeit von Theorien nicht völlig sicher sein können.

Karl Popper und die Logik der Forschung

Ziel der Naturwissenschaftler ist es, zu möglichst allgemein gültigen Aussagen zu gelangen (häufig wird dafür der Ausdruck „Naturgesetze“ benutzt, den ich aber vermeide, weil dadurch leicht der Eindruck entstehen könnte, es gebe bereits in die Natur implementierte Gesetze,

die wir nur noch auffinden müssten; tatsächlich aber gehen wir einen konstruktivistischen Weg: wir interpretieren unsere Sinneseindrücke so, dass wir uns in der Welt leichter zurechtfinden, woraus sich für uns so etwas wie Ordnung ergibt; ob diese in der Natur auch ohne unser Zutun vorhanden ist, bleibt bloße Glaubenssache; es folgt ja dann auch sofort die Frage, wer oder was diese Ordnung festgelegt hat).

Die zweiwertige Logik weist zwei Wege, um zu gültigen Aussagen zu gelangen: **Deduktion und Induktion**.

Der einfachere Weg wäre jener der **Deduktion**, wie er etwa im religiösen Bereich beschritten wird: Gottgegebene Gesetze stehen am Anfang, woraus detailliertere Regeln für verschiedene Verhaltensfälle abgeleitet werden können. Für den Bereich der Naturwissenschaften fehlen solche Gesetze, das heißt, wir konnten bisher keine „Weltformel“ finden, die in einen Fels geschlagen wäre oder auf einem Monolithen durch das Weltall triebe.

Deshalb sind viele Naturwissenschaftler der Meinung, die **Induktion** würde sie zum Ziel führen: Dann müsste es möglich sein, aus einer Anzahl von Einzelbeobachtungen eine allgemein gültige Aussage herzuleiten. Dem aber tritt Karl Popper in seiner „Logik der Forschung“ (1935) entgegen: Nach ihm könne ein allgemeines „Gesetz“ nicht durch Vorzeigen von positiven Fällen verifiziert (= bewiesen) werden, da sein Geltungsbereich unbegrenzt viele Fälle umfasse – insbesondere künftige, deren Kenntnis wir nicht vorwegnehmen können! Sein Ausweg: Wenn Hypothesen/Theorien nicht verifizierbar sind, müsse man nach Falsifizierbarkeit trachten, also danach, sie zu widerlegen! Popper räumt dazu jedoch selbst ein, dass zur Falsifikation einer Hypothese andere Hypothesen – etwa über Messgeräte – schon als richtig vorausgesetzt werden müssen (woraus die prinzipielle Unabgeschlossenheit naturwissenschaftlicher Tätigkeit zu erkennen ist). Der naturwissenschaftliche Fortschritt würde somit darin bestehen, dass bereits falsifizierte Hypothesen/Theorien ausgesondert werden, während (noch) nicht falsifizierte bestehen bleiben und den jeweiligen Stand des Wissens repräsentieren.

Popper hat mit seiner Meinung noch wenig Einfluss auf das Denken von Naturwissenschaftlern gehabt, vielleicht auch deshalb, weil sie ihre „Theorien“ viel lieber bewiesen(!) hätten, statt sie falsifizieren zu sollen. Dennoch führt an Popper kein Weg vorbei – und je mehr Falsifizierungsversuchen eine Hypothese/Theorie bereits standgehalten hat, desto wahrscheinlicher ist ihre Brauchbarkeit.

Eine wesentliche Aussage Poppers fehlt noch:

Eine Hypothese/Theorie, die nicht prinzipiell falsifizierbar ist, gehört nicht in den Rahmen der Naturwissenschaften!

Kosmologie

Prinzipielle Falsifizierbarkeit setzt voraus, dass eine Reihe von Beobachtungen bzw. Messungen möglich ist. Genau das aber trifft auf die Kosmologie im Allgemeinen und die Urknallhypothese (fälschlicherweise oft als Urknalltheorie bezeichnet) im Besonderen nicht zu:

Die Kosmologie erhebt zwar den Anspruch, Aussagen über den Kosmos als Ganzes (Synonym: Universum) zu machen, bedient sich aber zur Bestätigung astrophysikalischer Beobachtungen. Der Unterschied zwischen Astrophysik und Kosmologie ist der, dass sich

erstere der Erforschung von Vereinzelttem widmet (Sterne, Galaxien, Galaxienhaufen, ...), Kosmologie aber mit dem Universum in seiner Gesamtheit, das unbeobachtbar ist. In diesem Sinne ist die Kosmologie keine Naturwissenschaft und würde besser in die Naturphilosophie passen, wo sie von Anfang an (Thales, Anaximander, Anaximenes) beheimatet gewesen ist.

Über den Urknall

Ändert eine Lichtquelle, wie zum Beispiel eine Galaxie, ihre Distanz zu uns, äußert sich dies in einer Verschiebung der in ihrem Lichtspektrum enthaltenen Linien in Richtung Violett, wenn sie sich uns nähert, bzw. in Richtung Rot, wenn sie sich von uns entfernt. Es gibt nur ganz wenige Galaxien, die sich uns nähern, und diese befinden sich alle in unserer „Lokalen Gruppe“, sind also relativ nahe Galaxien; alle weiter entfernten Galaxien bewegen sich von uns weg. So weit sich die Distanzen der Galaxien unabhängig von der Rotverschiebung ihrer Spektren messen lassen, zeigt sich, dass die Stärke der Linienverschiebung mit der Distanz zunimmt (der Astronom Edwin Hubble hat 1929 einen linearen Zusammenhang zwischen Distanz und Rotverschiebung vermutet, was später missbräuchlich dafür verwendet wurde, Entfernungen von Galaxien aus ihrer Rotverschiebung zu berechnen; eine solche Vorgangsweise kann leicht zu logischen Fehlern führen, wenn man mit der errechneten Distanz weiter argumentiert).

Aus der Rotverschiebung der Galaxienspektren schloss man auf eine Expansion des Universums (hier erfolgt der Wechsel von der Astrophysik zur Kosmologie), und so konnte auch die Überlegung nicht ausbleiben, was denn am „Anfang“ dieser Expansion gewesen sei (George Gamow, 1948). Den Ausdruck „Big Bang“ (= „Urknall“) steuerte allerdings Fred Hoyle bei, einer der Gegner dieser These; aber Gamow gefiel der Ausdruck so gut, dass er ihn übernahm und so zu einem der bekanntesten Begriffe überhaupt machte.

Blicken wir in der Entwicklungsgeschichte des Universums zurück, so ergibt sich aus Gamows Überlegung, dass die darin enthaltene Energie (Materie + Strahlung) immer weiter zurück immer dichter gepackt gewesen sein musste, was auch einer höheren Temperatur entsprach. Geht man aber bis zum vermeintlichen Urknall selbst zurück, so ergäbe sich ohne Zusatzannahmen eine Singularität, bei der Messgrößen wie Energiedichte und Temperatur unendlich wären. Da eine solche Singularität aus dem Rahmen der physikalischen Beschreibbarkeit fällt, lässt man dann halt die Entwicklungsgeschichte erst so und so lange nach dem Urknall beginnen bzw. versucht überhaupt, die Singularität zu umgehen, wozu aber, wie erwähnt, Zusatzannahmen gemacht werden müssen.

Gamow hatte für das Universum im jetzigen Zustand eine Temperatur von 5 K geschätzt (das sind 5 Grad über dem absoluten Nullpunkt, also ca. -268°C). Der Zufall wollte es, dass zwei Techniker der Bell Laboratories 1965 einer Störstrahlung nachgingen und dabei feststellten, dass diese keiner irdischen Quelle entstammte, sondern aus dem Weltraum kam und zwar ziemlich gleichmäßig aus allen Richtungen. Das ließ den Schluss zu, dass auch keine lokalisierbare kosmische Quelle dafür verantwortlich war, weshalb die Strahlung den Namen „kosmische Hintergrundstrahlung“ erhielt. Aus der Intensitätsverteilung der Wellenlängen dieser Strahlung, die einer Mikrowellenstrahlung von ca. 1 mm Wellenlänge beim Intensitätsmaximum entspricht (langwelliger als Licht, aber kurzwelliger als Radiostrahlung), ließ sich ihre Temperatur zu etwa 2,7 K berechnen (im freien Weltraum, weit entfernt von allen strahlenden Körpern, sollte also diese Temperatur zu messen sein). Da dies in der Nähe der von Gamow geschätzten 5 K liegt, nahmen Kosmologen diese Strahlung bereitwillig als Bestätigung der Urknallthese an.

Die Hintergrundstrahlung hat für Kosmologen auch den Vorteil, auf keine Vereinzelnungen wie Galaxien zurückzuführen zu sein; ihre Entstehung erklärt man anders: Zu Zeiten, als es im Universum noch so heiß war, dass Protonen und Elektronen keine Atome bilden konnten, hatten auch Photonen (= „Lichtteilchen“) wegen ihrer häufigen Wechselwirkungen mit Elektronen keine großen freien Wegstrecken. Erst als bei Unterschreitung von ca. 4000 K die Elektronen von Protonen in Atomen gebunden wurden, war der Weg durch den Weltraum für Photonen weitgehend frei. Die Photonen der kosmischen Hintergrundstrahlung, die wir heute empfangen, sollten also jener Zeit entstammen, als die Temperatur im Universum ca. 4000 K betrug (angegeben wird dazu eine Zeit von etwa 300 000 Jahren nach dem Urknall). Die Tatsache, dass die Strahlung heute nur einer Temperatur von 2,7 K entspricht, wird mit Hilfe der kosmischen Expansion erklärt: Die kleine Wellenlänge, die die Strahlung bei ihrer Freisetzung gehabt hat, sei seither auf das rund 1500-fache gedehnt worden, die Temperatur entsprechend auf den 1500. Teil gesunken.

So schön und einleuchtend die Urknallhypothese zunächst auch klingen mag, gibt es doch etliche Einwände dagegen, von denen hier nur einige erwähnt seien:

- Eine Schwachstelle ersten Ranges ist das in der Physik geltende so genannte „Universalitätsprinzip“ (die jeweils anerkannten „Naturgesetze“ sind zu allen Zeiten und an allen Orten des Universums gültig). Nicht nur, dass wir vermeintliche Gesetzmäßigkeiten in die Natur hineininterpretieren, vermuten wir viele dieser Gesetzmäßigkeiten aufgrund der Erforschung eines winzigen Teiles des sichtbaren Universums, wobei das für uns sichtbare Universum nicht auch schon das ganze Universum sein muss. Für das ganze Universum aber sollen die hineininterpretierten Gesetzmäßigkeiten gültig sein, sonst ließe sich ja keine Kosmologie betreiben. Die Anwendung des Universalitätsprinzips ist zwar für weiterführende Überlegungen („Überlegen wir doch mal, was sich ergäbe, wenn das hier Vorgefundene auch anderswo Gültigkeit hätte ...“) durchaus sinnvoll, solange man über kein besseres Wissen verfügt, doch sollte seine Anwendung stets klar betont und auch stets in Frage gestellt werden. Aus dem bisher dazu Gesagten folgt jedenfalls, dass die Anwendung des Universalitätsprinzips mit jeder Art von Konstruktivismus unvereinbar ist und nur dann überhaupt einen Sinn macht, wenn man von der Annahme ausgeht, dass von uns prinzipiell unabhängige „Naturgesetze“ in unserem Universum implementiert sind.
- Eine zweite Schwachstelle ist das so genannte „kosmologische Prinzip“. Es ist von vornherein jedem klar, dass es falsch ist, wird aber dem Formalismus der Kosmologie als grobe Vereinfachung zugrunde gelegt, um überhaupt zu Rechenergebnissen gelangen zu können, die dann aber so gehandhabt werden, als wären sie auf ernsthafte Weise zustande gekommen. Das „kosmologische Prinzip“ besagt, der Kosmos sei an jeder Stelle gleich beschaffen (das nennt man seine Homogenität) und er sei auch in jeder Richtung gleich (das nennt man seine Isotropie). Blicken wir um uns, so stellen wir natürlich sofort fest, dass dies nicht der Fall ist (etwa sehen wir in einer Richtung einen Baum, in einer anderen ein Haus), und auch dann nicht, wenn wir zum Sternenhimmel blicken, weil in manchen Richtungen Sterne zu sehen sind und in anderen nicht. Überrascht dürfen wir dazu von den Kosmologen die Meinung vernehmen, dass solch geringe Distanzen kosmisch gesehen überhaupt keine Rolle spielen, weil ja dieser viel größer sei. Nehmen wir aber Fernrohre oder Spiegelteleskope zu Hilfe und schauen damit in die Tiefen des Weltraumes, so sehen wir in verschiedenen Richtungen Galaxien, in anderen nicht – und das über den ganzen sichtbaren Kosmos hinweg; ansonsten wären ja die Galaxien kaum von ihrem Hintergrund zu unterscheiden. Fazit: Der Kosmos schaut nicht in allen Richtungen gleich aus. Überdies wäre eine völlige Gleichverteilung der Masse im Raum nur möglich, wenn dieser ein „Fassungsraum“ wäre, wie er in der Physik zumeist gehandhabt wird (dieser stünde wie eine Bühne für ein Geschehen zur

Verfügung und könnte ebenso leer wie voll sein – es spielte keine Rolle). Diese Sicht des Raumes ist aber naturphilosophisch nicht haltbar und sollte deshalb dem Begriff „Beziehungsraum“ Platz machen, der nur durch die Vereinzelung von Körpern sinnvoll wird: Körper und Raum bedingen einander. Das Fehlen von Vereinzeltm würde den Raumbegriff sinnlos machen!

- Die Annahme, dass die heute beobachtete Expansion bis zu einer Anfangssingularität zurückgedacht werden könne (der dann aber ausgewichen werden muss!) entbehrt nicht einer gewissen Kindlichkeit: Das Bonmot von Karl Kraus über die Politik („Die große Politik funktioniert in der Regel so, wie der kleine Maxi es sich vorstellt“) muss nicht auch auf das Universum anwendbar sein („Das große Universum ist so, wie der kleine Maxi es sich vorstellt“).
- Zeitangaben, das frühe Universum betreffend, sind kritisch zu hinterfragen, ist doch Zeit etwas, das der Mensch erfunden hat, um messen zu können (Einstein: „Zeit ist das, was mit Uhren gemessen wird.“). Dieses Messen bezieht sich aber auf das Hier und Jetzt. Dafür haben wir auch eine Zeiteinheit (Sekunde) definiert, und zwar mit Hilfe eines periodischen Vorganges in Cäsiumatomen. Das Problem der Anwendung des Sekundenbegriffes auf das frühe Universum besteht nun darin, dass es im frühen Universum, wie es von Kosmologen beschrieben wird, ganz sicher keine Cäsiumatome gegeben hat. Kosmologen müssten also zuerst erklären können, welche Relevanz ihre Zeitangaben haben.
Falls der zitierte Ausspruch Einsteins („Zeit ist das, was mit Uhren gemessen wird.“) zu banal erscheint, bitte ich zu bedenken, dass es in der Physik keine Definition für den Zeitbegriff gibt. Dies beruht darauf, dass dafür notwendige Begriffe wie Bewusstsein und Erinnerung keine physikalischen Begriffe sind und deshalb in physikalischen Definitionen nicht verwendet werden können. Statt der Definition des Begriffes haben Physiker bloß eine Vorschrift dafür, wie mittels der definierten Sekunde gemessen werden soll. Und genau das hat Einstein ausgedrückt.
- Zeit wird in der Physik als Entwicklungsparameter für einzelne Systeme verwendet, deren Veränderung es zu beschreiben gilt. Die Bedeutung der Verwendung von Systemzeiten ist durch die Relativitätstheorie noch deutlicher geworden als sie zuvor gewesen ist. Doch obwohl sich die Kosmologen in ihrem Formalismus auf die Allgemeine Relativitätstheorie stützen, benützen sie für die Beschreibung der Entwicklung des Universum nur eine einzige Zeit, wie im Skalenfaktor $R(t)$ deutlich wird, der häufig auch als „Weltradius“ bezeichnet wird. Eine solch einheitliche Sicht des gesamten Universums wäre jedoch nur für einen äußeren Beobachter sinnvoll, den es aber definitionsgemäß nicht geben kann; für alle inneren Beobachter, wie wir es ja sind, gelten nach wie vor unterschiedliche Systemzeiten. Schon diese Diskrepanz zeigt, dass die Kosmologie nicht in den Rahmen der Physik passt, weshalb ich auch vorgeschlagen habe, sie wieder in die Naturphilosophie aufzunehmen, die ja ihre historische Heimat ist.
- Die Benützung einer einheitlichen Zeit für den gesamten Kosmos macht diese absolut, wie sie es für die Physiker in der Vor-Einstein-Zeit war. Es ist dies ein Rückfall in die Newtonsche Physik, die längst überwunden zu sein schien – wohl aber nicht für Kosmologen. Natürlich macht damit auch die Aussage über ein Alter des Universums, das derzeit mit 13,7 Milliarden Jahren kolportiert wird, nur auf der Grundlage Newtonscher Physik überhaupt eine Art von Sinn ...
- Wie dieses Beispiel zeigt, kann sich aber auch die Hereinnahme astrophysikalischer Messungen für die Kosmologie ungünstig auswirken: Weiter oben habe ich bereits beschrieben, dass die Rotverschiebung von Linien in Galaxienspektren dazu verwendet wird, Aussagen über die Distanz von Galaxien zu machen. Dagegen wäre auch nichts einzuwenden, wenn durch andere Messmethoden sichergestellt wäre, dass der

Zusammenhang zwischen Rotverschiebung und Distanz richtig ist. Für relativ geringe Distanzen trifft dies auch zu. Für größere Distanzen werden jedoch die von der Rotverschiebung unabhängigen Messungen immer indirekter und ungenauer und für sehr ferne Galaxien gibt es gar keine weitere Methode mehr als die Rotverschiebung selbst. Deren Angabe setzt also einen starken Glauben voraus, was mit wissenschaftlicher Einstellung nicht mehr viel zu tun hat. Dennoch werden aus Rotverschiebungsangaben alleine weit reichende Schlüsse auf den gesamten Kosmos gezogen – bis hin zum Urknall!

Erwin Kohaut ©
Wien, 3. Januar 2012