

# Das Universum modellieren, verstehen oder deuten?

Arnold Benz  
16. April 2002, Universität Zürich

---

Als Astrophysiker lebe ich beruflich in einer Welt, in der die naturwissenschaftliche Perspektive dominiert. Der Dialog mit den Geisteswissenschaften ist für mich mit einem Hauch von Exotik umgeben. Darum interessiert mich erst recht, was denn die Geisteswissenschaft eigentlich macht. Die Antwort, die ich von Leuten jener Zunft erhalte heisst: Wir interpretieren (cf. Titel Ringvorlesung!). Oder eben Geisteswissenschaft ist Hermeneutik. Mein Lexikon sagt zu diesem Begriff: "Methodik zum Erschliessen des Verborgenen durch Einsicht".

Macht dies nicht auch die Naturwissenschaft? Ist Naturwissenschaft etwa Hermeneutik der Natur? Im Kreis der Hermeneutiker, der diese Vorlesungsreihe organisiert, bin nun ich ein exotischer Vogel. Dieser Kreis hat mich angeregt darüber nachzudenken, was denn eigentlich die Naturwissenschaften tun, und insbesondere was ich als Astrophysiker treibe.

Ich möchte im Folgenden drei Arten von "Erschliessen des Verborgenen" unterscheiden: Erstens was die naturwissenschaftliche Methode seit Beginn der Neuzeit beinhaltet und erfolgreich macht (*erklären* und *modellieren*), was zweitens Naturwissenschaftler miteinander diskutieren aber nicht in Fachzeitschriften publizieren (*verstehen*) und worüber sie sich drittens bei einem Glas Wein abends am Cheminée mit Freunden unterhalten oder in populärwissenschaftlichen Büchern schreiben (*deuten*).

## 1. Erklären und Modellieren

Ich möchte das Vorgehen der Naturwissenschaft an einem Beispiel aus der Astrophysik darstellen. Wir haben mit dem neuen Satelliten HESSI vor einigen Wochen eine Sonneneruption aufgezeichnet. Im Bild des Vorgängers, eines Satelliten, der bei niedrigeren Photon-Energien beobachtete, war nur die 2 Millionen Grad heisse Korona zu sehen, plötzlich wurde sie aufgewirbelt und wegschleudert. Was bisher beobachtet wurde, ist wie der Rauch eines Feuers.

HESSI hat nun das Feuer selbst beobachtet, den Explosionsherd mit einer Milliarde Grad heissem Gas und einer Energie von einigen  $10^{30}$  erg freigesetzt in zwei Minuten. Das entspricht eine Million mal die jährliche Stromproduktion der Schweiz.

Was zeigte sich? Eine Explosion fand statt infolge eines lokalen Überdruck. Das heisse Gas expandierte zunächst in einem ballistischen Flug. Es gab interessante Abweichungen: Die Expansion ging nicht weit und blieb in der oberen Korona stecken. Die Schwerkraft spielte sicher eine Rolle. Eine zusätzliche Kraft wurde jedoch sichtbar. Sie schnürte den Fluss der Materie zusammen und verursachte fadenförmige Strukturen. Was ist diese geheimnisvolle Kraft?

In einem solchen Fall ist das Vorgehen induktiv: Wir schliessen vom Bekannten auf das Unbekannte.

Welche auf der Erde bekannten Kräfte spielen eine Rolle?

Seit Galilei bleibt die Physik nicht beim qualitativen Beschreiben stehen. Sie bildet die vorgefundene Wirklichkeit auf die Mathematik ab. Das Vorgehen ist immer gleich:

1. Die Wirklichkeit wird in quantitativen Begriffen erfasst (Kräfte, Dichte, Temperatur usw.)
2. Diese Grössen werden in einen mathematischen Zusammenhang gebracht. das heisst als Gleichung ausgedrückt. In unserem Fall ist es das zweite Newtonsche Gesetz (Impulssatz)

$$\rho \delta \mathbf{V} / \delta t + \rho (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} = q \mathbf{E} + (\mathbf{J} \times \mathbf{B}) / c + \rho \mathbf{g} + \nabla \otimes \mathbf{p}$$

In Worten ausgedrückt:

Trägheit mal Beschleunigung = elektrische Kraft + magnetische Kraft + Gravitation + Druckänderung

3. Die Lösung der Gleichung geschieht nach rein mathematischen Regeln. Man kann die Gleichung umformen, ableiten und integrieren. Sie stimmt immer noch, was sich in der Natur nachprüfen lässt. Das finde ich höchst erstaunlich! Die Lösung der Gleichung hat eine physikalische Bedeutung: Sie ist eine *Erklärung* des kausalen Ablaufs von Ursache (=Kräfte) und Wirkung (=Beschleunigung, Eruption).

Die mathematischen Symbole dürfen nicht als Metaphern missverstanden werden. Das Anordnen von mathematischen Symbolen zu Gleichungen ist gewiss nicht das gleiche, wie etwa der Umgang mit Metaphern in der schriftstellerischen Tätigkeit. Die Andersartigkeit zeigt sich auch in der Umschreibung unter der Gleichung mit den Worten, welche ebenfalls an Metaphern erinnern mögen. Die Umschreibung enthält bei weitem nicht das Wesen der Gleichung, denn in ihr steckt keine Mathematik. Worte lassen sich nicht multiplizieren oder integrieren. Die Physik und andere exakte Naturwissenschaften beschreiben die Natur auf einer anderen Ebene als Philosophen und Dichter, weil sie die Natur mathematisieren.

Die Gleichung kann nicht ohne Randbedingungen und Anfangsbedingungen gelöst werden. Wir müssen also ein Szenario vorgeben, die Abläufe geschehen dann gemäss der Gleichung. Dieses Vorgehen nennt man *Modellieren*. Mit der Modellierung ist ein Phänomen erklärt. Damit ist die Wissenschaft aber noch nicht am Ende. Das Modell muss nun in weiteren Beobachtungen überprüft werden. Dieser Vorgang verläuft umgekehrt zum ersten Schritt: nämlich von der Lösung und dem Modell ausgehend, also der Mathematik, zur Wirklichkeit zurück. Im Modell wird die Wirklichkeit

rekonstruiert. Damit kann sie mit der beobachteten Wirklichkeit verglichen und die Richtigkeit des Modells überprüft werden.

Man weiss noch sehr viel mehr über Eruptionen, als bisher erwähnt wurde, zum Beispiel dass dabei Teilchen zu hohen Energien beschleunigt werden. Das scheint sogar der Kern des Phänomens zu sein, da ein grosser Teil der Energie zuerst als relativistische Teilchen erscheint, bevor es zur Explosion kommt. Eine Weiterentwicklung des Modells müsste dies einschliessen. Das Verfahren ist zyklisch zwischen Beobachten und Modellieren. Modelle sind nicht die Wahrheit, sie enthalten aber Wahrheit.

## 1.2 Erklären

Aus obigen Ausführungen geht hervor, dass Erklären heisst, einen kausalen Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung herzustellen und ihn mathematisch mit einer Gleichung quantitativ auszudrücken.

Ein eindeutiger Zusammenhang besteht nicht immer. Gegenbeispiele sind erstens der Zufall in der Quantenmechanik. Weil die Wirklichkeit erst bei der Messung real wird, erscheint sie uns in diesem Moment zufällig. Zweitens werden nicht-lineare Phänomene zwar durch deterministische Gleichungen beschrieben, ihre Lösungen hängen aber stark von den Rand- und Anfangsbedingungen ab. Der kausale Zusammenhang ist quantitativ nicht über beliebig lange Zeit bestimmbar.

Was bedeutet es ein Phänomen zu erklären? In naturwissenschaftlichen Erklärungen ist Folgendes zu beachten:

1. Bei komplexen Phänomenen sind oft mehrere Erklärungen möglich.
2. Jede Erklärung ist möglicherweise falsch und muss getestet werden.
3. Es gibt unendlich viele Tests. Da nicht alle durchführbar sind, bleibt immer eine gewisse Unsicherheit bestehen.
4. Es gibt einen Trend zur Konvergenz bei verschiedenen Erklärungen und Modellen. Erklärungen können durch Beobachtungen widerlegt werden, sterben aber oft erst dann aus, wenn auch ihr Erfinder stirbt. Man kann Erklärungen ändern, kombinieren und ergänzen.

Es gibt zuverlässig erklärte Phänomene und weniger gut erklärte. Obwohl es einen gleitenden Übergang gibt, ist es nützlich zu differenzieren. In der Astrophysik gilt folgende Sprachregelung: *Gut erklärt* ist ein Phänomen, wenn es einen allgemeinen Konsens gibt. Es herrscht zwar nie Einstimmigkeit, weil immer wieder neue Erklärungsmodelle erfunden und getestet werden können. Ein allgemeiner Konsens bedeutet nicht Wahrheit. Zum Beispiel hat sich die Äther-Theorie für die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen nach vielen Jahrzehnten des Konsens als falsch herausgestellt. Das Widerlegen einer guten Erklärung ist immer eine Sensation, denn gute Erklärungen sind im Allgemeinen durch ein Geflecht von vielen Beobachtungen und Zusammenhänge abgestützt.

Gilt ein Phänomen als *nicht erklärt*, heisst das nicht, dass keine Erklärung möglich wäre. Irgend eine vorläufige Hypothese gibt es immer. Nicht erklärt bedeutet, dass es mehrere kontroverse Erklärungen gibt oder die Erklärung noch nicht durch weitere Indizien erhärtet ist.

## 2. Verstehen

Beim kausalen Erklären geht es im Idealfall um einen einzelnen Prozess. Dann lässt sich die Abbildung in die Mathematik am leichtesten vollziehen. Reduktion ist angesagt aus methodischen Gründen. Wenn jedoch verschiedene Prozesse nacheinander oder miteinander ablaufen, möchte man die Einzelvorgänge in einem grösseren Zusammenhang *verstehen*. In Vorlesungen versuchen wir solche Zusammenhänge zu vermitteln. Auch in Übersichtsreferaten werden sie thematisiert. Das Beobachten und Erklären eines neuen Phänomens gilt in der Forschung mehr als das allgemeinere Verstehen. Das letztere kann nicht der Inhalt eines Forschungsartikels sein und wird in Fachzeitschriften nicht gerne gesehen, es sei denn in spezialisierten Übersichtsblättern, den "Annual Reviews".

### 2.1 Beispiel Sonneneruptionen

Eine Sonneneruption schliesst wie erwähnt auch Beschleunigungsvorgänge ein, daneben gibt es verschiedene Strahlungsvorgänge, Heizung der unteren Schichten usw. Es stellen sich auch die Fragen: Wie kommt es zu Sonneneruptionen? Was bewirken sie auf der Erde?

Mit Verstehen meine ich, ein Phänomen in einen grösseren astrophysikalischen Zusammenhang von Ursachen und Wirkungen zu stellen. Die einzelnen Erklärungen bilden dann ein Gewebe von kausalen Zusammenhängen, das einen ganzen Bereich von Wirklichkeit abbildet.

Der Verstehungszusammenhang im Beispiel der Sonneneruptionen kann skizziert werden durch folgende Kette von Ursachen:

- Eruptionen entstehen durch Freisetzung von magnetischer Energie.
- Magnetische Energie entsteht durch Konvektionsbewegungen im Innern der Sonne.
- Konvektion entsteht infolge thermischer Instabilitäten von heissem Gas.
- Heisses Gas entsteht durch Kernfusion von Wasserstoff zu Helium.
- Kernfusion entsteht infolge Sternbildung.
- Sterne bilden sich wegen Inhomogenitäten im interstellaren Raum.
- Inhomogenitäten entstehen wegen früherer Sterne.
- Die ersten Sterne entstanden wegen Fluktuationen im frühen Universum.

Die kausale Kette könnte noch viel weiter und detaillierter ausgeführt werden.

Es gibt auch einen Verstehenszusammenhang von Wirkungen:

- Eruptionen beschleunigen Teilchen, die z.T. auf die Erde gelangen.
- Energiereiche Teilchen verändern das Erbgut von Lebewesen auf der Erde.
- usw.

## 2.2 Das Universum verstehen?

Wir sind von einem einzelnen Phänomen (den Sonneneruptionen) ausgegangen und auf eine kausale Verflechtung mit dem ganzen Universum gestossen. Man könnte nun fragen: Gibt es einen Zusammenhang des Ganzen? Wie weit verstehen wir heute das Universum als Ganzes. Werden wir es eines Tages vollständig verstehen?

Die Zahl der “guten Erklärungen” mit allgemeinem Konsens in der Astrophysik hat seit dem Jahr 1900 von einigen Zehn (die heute noch gelten) auf einige Tausend zugenommen. Trotzdem sind die weissen Gebiete auf der Landkarte des Wissens nicht kleiner geworden. Selbst bei einem begrenzten Gebiet wie den Sonneneruptionen sind gleichzeitig mindestens ebenso viele neue Fragen aufgetaucht. Auch sind ganz neue Gebiete, wie die Sternentwicklung oder externe Galaxien hinzugekommen. Um Missverständnissen vorzubeugen, möchte ich festhalten, dass gewisse Teilprozesse im Universum gut erklärt und im Zusammenhang verstanden sind. Sie bestätigen sich in neuen Messungen immer stärker.

Früher war es allgemein akzeptiert, dass die Zahl der offenen wissenschaftlichen Fragen beschränkt sei. Eines Tages würden alle beantwortet und alle Rätsel gelöst sein. Bei komplexen Vorgängen wie der Sonneneruptionen, Sternentstehung oder Galaxienentwicklung führten Antworten bisher zu immer neuen Fragen. Es könnte den Naturwissenschaftlern wie Herkules mit der Hydra ergehen, der für jeden abgeschlagenen Kopf zwei neue Köpfe nachwachsen. Die Sonneneruptionen sind zwar kaum unendlich komplex im mathematischen Sinne. In der Praxis ist es jedoch vorstellbar, dass wir sie nie ganz verstehen werden, weil eines Tages das Geld oder das Interesse zum Weiterforschen ausgehen. Die vollständige Erklärung des Vorgangs würde schliesslich auch das Enträtseln der Grundkräfte beinhalten. Dieses Ziel der Aufklärung scheint in weiter Ferne zu liegen und es darf bezweifelt werden, ob es je erreicht wird, auch wenn der Wahrheitsgehalt von einzelnen Erklärungen nicht ignoriert werden kann. Für Sonneneruptionen wie auch für Entstehungsprozesse von Sternen, Planeten und Galaxien macht es den Anschein, dass die Landkarte des Wissens nicht weisse Flecken hat, sondern vorwiegend weiss ist mit einigen eingestreuten Wissensflecken.

## 3. Deuten

Ich habe genügend Vorbehalte angebracht um nun etwas unbescheiden festhalten zu können, dass die Naturwissenschaften und gerade auch die Astronomie unvorstellbar erfolgreich im Erklären und Verstehen von kosmischen Vorgängen waren. Was wir heute wissen, war vor hundert Jahren unvorstellbar. Und es geht zweifellos so weiter im neuen Jahrhundert.

Dieser Erfolg ruft nach einer Deutung: Warum kann die Physik das Universum mathematisieren? Was sagt dieser Wesenszug über das Universum als Ganzes aus?

Antworten auf diese Fragen sind *Deutungen*. Sie können keine kausalen Erklärungen sein, denn sie sind nicht mathematisch. Sie übersteigen den Bereich der Naturwissenschaften und betrachten sie aus einer Perspektive von ausserhalb. Deutungen geschehen auf einer anderen Ebene. Eine Ortsverschiebung aus dem Büro oder Labor ist angesagt, zum Beispiel ans Cheminée.

Naturwissenschaftliche Erklärungen sind Modelle, die einen Kausalzusammenhang oder Zufall postulieren. Im Gegensatz dazu verstehe ich unter Deuten einen Sinnzusammenhang zu erschliessen. Deuten ist eine Aussage im Blick auf ein Ganzes, das heisst eine finale Aussage.

### **3.1 Können wir das Universum deuten?**

Man könnte einwenden: Das Universum brauche nicht gedeutet zu werden. Es handele sich nicht um praktischen Fragen, die sich mit der naturwissenschaftlichen Methode beantworten lassen. Die Fragen sind zwar für die Physik nicht relevant, berühren aber die menschliche Existenz. Es geht um nichts weniger als den Grund, warum ich hier bin. In die Frage nach meiner Existenz, spielt die Frage nach der Deutung des Universums hinein: Was ist mein Platz im Universum?

Grenzüberschreitenden Fragen stellen nun aber auch Naturwissenschaftler. Auch sie wagen immer wieder Deutungen oder lassen sich dazu verleiten. Die Deutungen werden nicht in wissenschaftlichen Fachzeitschriften publiziert, wenigstens nicht in solchen, die diesen Namen verdienen, aber sie tauchen in populärwissenschaftlichen Büchern auf.

So hat zum Beispiel Steven Weinberg in seinem populären Buch “Die ersten drei Minuten” geschrieben: “Je begreiflicher uns das Universum wird, um so sinnloser erscheint es auch.” Das muss so sein, wenn begreifen kausal erklären und verstehen heisst. Wie gesehen bedeutet das naturwissenschaftliche Verstehen das Abbilden der Wirklichkeit auf mathematische Gleichungen. Dieser Vorgang für sich allein ergibt noch keinen Sinn, denn die Mathematik kann ihn nicht liefern. Wie sollte dies auch geschehen?

Etwas bedenklicher wird Weingergs Satz, wenn wir ihn so verstehen, dass kausale Erklärungen vergessen machen können, dass diese Abbildung eigentlich etwas Staunenswertes ist. Wir können beim naturwissenschaftlichen Verstehen vergessen uns zu wundern und nach dem Ganzen zu fragen, in das ein Einzelphänomen eingebettet ist. Erst das Ganze, und die Bedeutung, die das Einzelne im Ganzen hat, geben ihm einen Sinn.

Weinberg bemerkte später einmal, dass er nie so oft zitiert wurde wie an dieser Stelle. Er betonte auch, dass er nicht sagen wollte, das Universum hätte keinen Sinn. Genauso haben ihn aber viele verstanden. Auch wenn das Weinberg nicht so gemeint hat, ist die Aussage “das Universum ist sinnlos” eine denkbare Interpretation, die darin besteht, dass man die Möglichkeit einer Deutung verneint. Wenn das Universum von uns Menschen nicht gedeutet werden kann, wird auch die Frage nach dem Sinn müssig.

### **3.2 Viele Deutungen**

Nehmen wir als klassisches Beispiel das Paradigma der Aufklärung: Die Welt ist ein *Uhrwerk*. In dieser Deutung wird ein Teilaspekt der Wirklichkeit, die Zahnräder des aufkommenden Maschinenzeitalters, auf das Ganze übertragen. Die Zahnräder sind das Musterbeispiel, das im Universum, insbesondere im Kreisen der Planeten, wieder gefunden wurde. Die Uhr wurde zur Metapher für das kausale Wirken im Allgemeinen. In dieser Übertragung auf das Ganze wird das

Universum gedeutet. Die Deutung als Uhrwerk besagt einerseits, dass das Universum (inklusive der Mensch) aus einer Menge kausal erklärbarer Bestandteile bestehe. Andererseits gibt sie jedem Bestandteil auch einen Wert und einen Sinn. Ohne die einzelnen Bestandteile würde das Uhrwerk nämlich nicht funktionieren.

In der Deutung stecken immer auch Vorurteile, die nicht durchdacht sind. Eine Sonneneruption, wie sie beschrieben wurde, erinnert nicht an ein Uhrwerk. Sie ist ein stark nicht-lineares Phänomen, bei dem viele Teile aufeinander einwirken und eine genaue Voraussage verunmöglichen wie beim Wetter auf der Erde. Das chaotische Verhalten solcher Systeme war im 18. Jahrhundert noch nicht bekannt. Auch die quantenmechanische Unschärfe und Zufälle passen schlecht ins Bild einer Uhr. Die Uhrwerk-Deutung ist angesichts der heutigen Naturwissenschaft nicht mehr angebracht.

Wir begegnen auch heute noch der Deutung, dass das Universum *rational* sei. Dies ist allgemeiner und meint, dass es einen Plan gibt, der die Entwicklung des Universums nach kausalen Gesetzen steuert. Als Bild dient nicht mehr ein mechanisches Uhrwerk, vielmehr der rational denkende Mensch, zum Beispiel der Plan eines Ingenieurs, der einen Supercomputer entwirft. Diese Deutung schliesst unter anderem einen Gott aus, der eigenständig eingreift. Er wird dann allenfalls noch als "Grosser Designer" gedacht. Zufälle müssen allerdings akzeptiert werden. Sie spielen in der biologischen Evolution bekanntlich eine wichtige Rolle. Überdies ist darauf zu bestehen, dass Rationalität eine Grundannahme der Naturwissenschaft ist, keine Deutung. Diese Annahme ist ein Teil der Methode und definiert den Gültigkeitsbereich der Naturwissenschaft. Zur Deutung wird die Rationalität erst wenn sie als ausschliesslich postuliert wird. Diese ausschliesslich rationale Deutung hat eine gewisse Akzeptanz gefunden unter den Naturwissenschaftlern, ist aber auch da nicht allgemeiner Konsens. In der Belletristik wird die Rationalität oft verlassen, denn menschliche Existenz Erfahrungen sind oft nicht rational.

Es ist daher auch die Deutung möglich, dass die Wirklichkeit grösser sei als der rationale Bereich der Naturwissenschaften, und das Universum letztlich *irrational* sei. Dies würde bedeuten, dass nicht alles mathematisierbar ist und immer etwas Geheimnisvolles bestehen bleibt. Eine solche Aussage mag ungute Gefühle wecken, denn sie hat in der Vergangenheit auch Esoterik und Okkultismus gerechtfertigt. Das muss aber nicht so sein, wie der souveräne Umgang mit Irrationalität in der Dichtkunst eindrücklich belegt.

Eine Variante der Irrationalität schliesslich ist die Deutung, dass das Universum in eine absolute, umgreifende Wirklichkeit eingebettet sei. Ich spreche hier von der transzendenten Begründung und der Deutung des Universums als *Schöpfung*. An dieser Stelle mögen sich im Hörsaal Befürchtungen betreffend unverständlichen Antiquitäten oder Dogmen regen. Es gibt eine zeitgemässe Schöpfungstheologie, die durchaus interessante Aspekte der Wirklichkeit ausleuchtet. Sie kann jedoch nicht mit einem allgemeinem Konsens rechnen.

### **3.3 Hermeneutik der Natur?**

Ich beobachte, wie immer wieder versucht wird, die Natur zu deuten, auch durch Naturwissenschaftler. Beispiele von solchen Deutungen wurden erwähnt. Nicht immer werden Deutungen bewusst gemacht und reflektiert. Oft geschieht eine Deutung nur intuitiv und wird nicht als solche erkannt und benannt. Deutungen können sich auch in Form einer allgemein gebrauchten Metapher einschleichen und verbreiten.

Es soll Naturwissenschaftlern nicht verboten sein zu deuten, ist es doch ein legitimes Unterfangen, "das Verborgene durch Einsicht zu erschliessen". Richard Feynman sagte einmal: "Weil wir etwas nicht messen können, ist es trotzdem erlaubt darüber zu sprechen. Aber wir müssen es nicht. Ein Konzept oder eine Idee, auch wenn nicht beobachtbar oder messbar oder mit einem Experiment in Verbindung zu bringen, kann brauchbar sein, aber muss es nicht."

Gewiss gibt es eine Vielzahl von möglichen Deutungen. Everything goes. Deutungen haben allerdings Einfluss auf unser Verhalten und unsere Einstellung zum Leben. Vielleicht gilt auch hier: Wer schlecht deutet, den bestraft das Leben.

Wie deutet man angemessen? Genau diese Frage stellt sich die *Hermeneutik*. Auch in der Deutung des Universums sollten wir uns kritisch und selbstkritisch fragen, was denn die Bedingungen sind für eine Deutung. Statt vorschnell zu deuten, muss zuerst nach den Präliminarien gefragt werden: Wie kann eine Deutung überhaupt gelingen? Was muss sie leisten können? Wovon gehen wir aus?

Ein guter Ansatz ist es, vor der Deutung die Substanz freizulegen, damit sie wie für sich selber spricht. Eine Deutung der Natur müsste heute Folgendes einschliessen:

1. Die physikalisch erfassbare Wirklichkeit lässt sich auf Mathematik abbilden.
2. Wenige physikalische Grundgesetze bilden die Basis aller astronomischen Vorgänge im Universum.
3. Sie erlauben die Entwicklung zu unvorstellbarer Komplexität.
4. Die physikalische Seite der kosmischen Entwicklung verstehen wir zum Teil. Sie verläuft kausal nach bekannten Gesetzen oder zufällig nach berechenbarer Wahrscheinlichkeit.
5. In gewissen Entwicklungen, insbesondere in der Biologie überwiegen anscheinend die Zufallsprozesse.
6. Wir wissen nicht, wie gross der Anteil an der Wirklichkeit ist, den wir gut erklären und modellieren können.
7. Rätsel wird es immer geben und Geheimnisse werden bleiben.
8. Die Entwicklung von komplexen Systemen geschieht innerhalb eines Rahmens, der durch die Erhaltungsgesetze gegeben ist. Innerhalb dieses Rahmens ist die zukünftige Entwicklung offen. Eine solche Ausgangslage kommt nahe an die existentiellen menschlichen Erfahrungen heran und ihre Deutungen in aktuellen psychologischen und theologischen Entwürfen.

Zum Schluss möchte ich kurz zusammenfassen: Unsere Einsichten bezüglich des Universums sind verschiedener Art und liegen auf verschiedenen Ebenen. Ich habe vom Modellieren, Verstehen und Deuten gesprochen.

- Mit *Modellen* erklären die Naturwissenschaften kausale Zusammenhänge.
- Als nächster Schritt folgt das *Verstehen*, mit dem ich umfassende naturwissenschaftliche Einsichten in die Kausalzusammenhänge bezeichne. Diese Sicht ergibt sich aus einem persönlichen Blickwinkel, schliesst aber keine zusätzlichen Erfahrungen ein.
- Naturwissenschaftler *deuten* am Feierabend. Das heisst nicht, dass sie es nicht tun sollten oder dass es andere besser könnten. Sie müssen aber vorsichtig sein, weil sie als Autoritäten für kausale Erklärungen gelten. Ihre Deutungen können leicht missverstanden werden als Aussagen mit gleicher Autorität. Wir müssen uns immer bewusst sein, dass beim Deuten noch andere Erfahrungen zu den physikalischen Gegebenheiten hinzukommen.



Es ist mir wichtig, dass auch Naturwissenschaftlern das Recht zugestanden wird, das Universum zu deuten. Ich möchte hier jedoch nicht mit meiner eigenen Deutung, sondern mit meinem Verständnis des Universums schliessen. Aus meiner Perspektive fasse ich es in Abänderung von Weinbergs Wort folgendermassen zusammen:

Je begreiflicher uns das Universum wird, um so rätselhafter erscheint es auch.