

[Druckfassung: S. 111]

## Kurze Geschichte der Zeitmaschine

Eine etwas spekulative Beobachtung

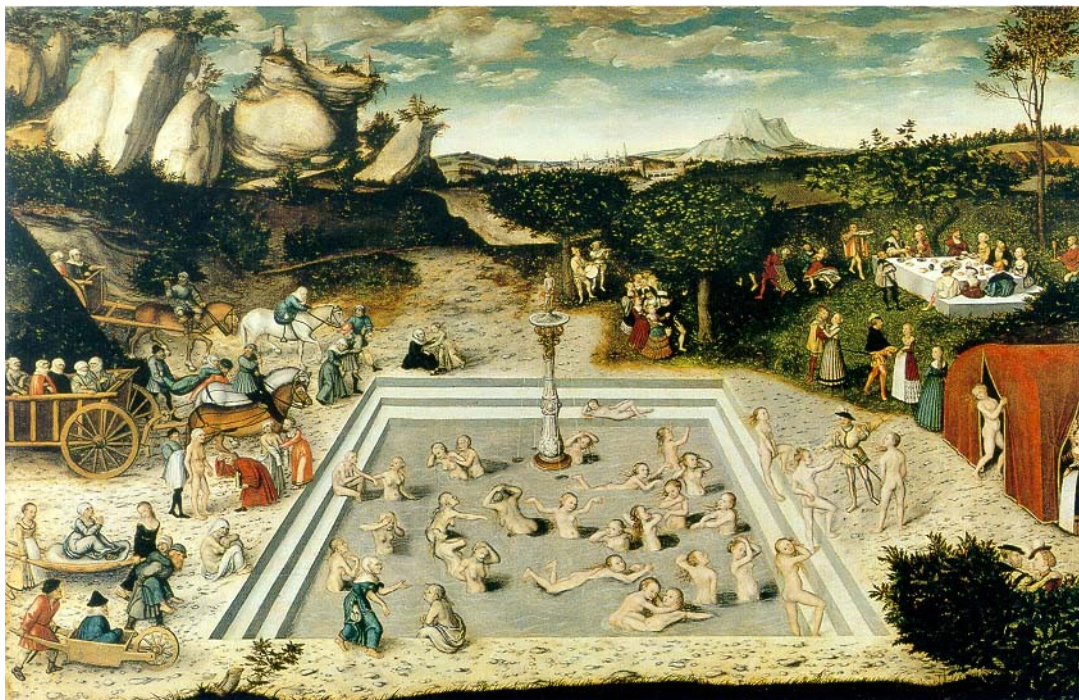
von Dierk Spreen

»Nachdem ich mit zwei Reportern gesprochen hatte, gab ich alle Bemühungen auf, die Geschichte ins rechte Licht zu rücken, und tauchte statt dessen unter.«

*Kip S. Thorne*

### Trennung von Zeit und Raum

Seit dem 14. Jahrhundert setzt mit der zunehmenden Verbreitung von Stadt- und Arbeitsglocken die Normierung der Zeit ein. Der Zeitfluß wird nach und nach von Maschinen definiert. An die Stelle einer Ereigniszeit, die sich am Ablauf der Jahreszeiten und Ernten, lebensweltlich oder politisch bedeutsamer Ereignisse ausrichtet, tritt eine lineare, objektive Zeit, die nicht an die Rhythmen des Tagewerks gebunden ist. 1370 befiehlt Karl V., daß sich alle Glocken von Paris nach der Uhr des Königspalasts zu richten haben. Die Gesellschaft bekommt eine homogene und zentralisierte Zeit.



Lucas Cranach d.Ä. *Der Jungbrunnen*, 1546

Die Normierung der Zeit läßt es denkbar erscheinen, sie auch rückwärts zu drehen. In einem Gemälde von 1546 bildet Lucas Cranach d. Ä. einen Jungbrunnen ab. Man sieht wie von der linken Seite in Wagen, Karren und auf Tragen alte Frauen zu einem geometrisch exakt rechteckigem Becken aus Stein, das in die umgebene Gartennatur eingelassen ist, gebracht werden. Während des Bades durchqueren die nackten Damen das Becken und verjüngen sich. Auf der rechten Seite angelangt, entsteigen sie in jugendlicher Schönheit dem Zeitbade und werden von eleganten Herren empfangen, die sie zu Tanz, Gesang,

Picknick oder Schäferstündchen im Busch geleiten.

Mit der Uhr setzt sich ein abstrakter Zeitbegriff durch. Isaac Newton spricht von der absoluten Zeit. Die absolute Zeit ist unabhängig vom Raum und von Dingen, die sich im Raum befinden. Das Newtonsche Weltbild der klassischen Mechanik entwirft eine reversible und zeitsymmetrische Welt. Alle Ereignisse, die in der Zeit stattfinden, können demnach auch rückgängig gemacht werden – so wie man den Zeiger einer Uhr zurückstellen oder einen Lichtschalter ein- und ausschalten kann. Allerdings benutzt Newton selbst nicht die Uhr als Metapher des Zeitlaufs. Vielmehr spricht er vom Fließen der Zeit. In seinen *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* von 1686 heißt es: »Alle Bewegungen können beschleunigt oder verzögert sein; aber *der Fluß der absoluten Zeit* kann sich nicht ändern.«<sup>1</sup> Flüsse haben die Eigenschaft, nicht bergauf zu fließen.

Als hätte er diese über ein Jahrhundert nach seiner Zeit erschienene Schrift bereits studiert, wird deshalb der Jungbrunnen von Cranach als Becken dargestellt. Die Zeit fließt hier nicht in eine Richtung; sie erscheint nicht als Abfolge, sondern als Anordnung. Sie wird verräumlicht. Die absolute Zeit, von der Newton handelt, fließt jedoch kontinuierlich von der Vergangenheit in die Zukunft, weil absolute Zeit und absoluter Raum von ihm **[Druckfassung: S. 112]** strikt getrennt werden: Alle Dinge »haben ihren Platz in der Zeit in bezug auf ihre *Abfolge* und im Raum in bezug auf die *Anordnung* ihrer Lage.«<sup>2</sup> Dieser neuzeitlichen Trennung von Raum und Zeit verdanken wir, daß das naturwissenschaftliche Weltbild Zeitreisen in das Land der Phantasie verweist. Während wir uns im Raum in drei Dimensionen frei bewegen können, nimmt uns die Zeit in die Zukunft mit. Als endliche Wesen reisen die Menschen von der Geburt zum Tode. »Immer und überall« (Newton) ist allein Gott.<sup>3</sup> Verräumlichungen der Zeit, wie zum Beispiel Jungbrunnen, gelten als Fiction.

## Erfindung der Raumzeit

Gegen Ende der ersten Industrialisierungsphase, 1888 um genau zu sein, schreibt Herbert George Wells einen der berühmtesten Science-Fiction-Romane überhaupt: »Die Zeitmaschine. Eine Erfindung.« Wells' Argumentation basiert auf der Idee, Raum und Zeit zu einem vierdimensionalen Kontinuum zusammenzuziehen: »Es gibt keinen Unterschied zwischen der Zeit und einer der drei Dimensionen des Raumes, abgesehen davon, daß unser Bewußtsein sich entlang der Zeitlinie bewegt.«<sup>4</sup> Aus dieser Behauptung folgert Wells, daß man sich »genausogut in der Zeit wie in den Dimensionen des Raumes bewegen« kann.<sup>5</sup>

Daß gegen Ende des 19. Jahrhunderts die Idee einer Zeitmaschine erscheint, hat mit der Erfindung neuer Maschinen zu tun. Die Uhr ist ein Automat, der auf dem gleichmäßigen Abspulen einer Feder oder auf einer regelmäßigen Pendelbewegung basiert. Die Dampfmaschine dagegen ist eine Kraftmaschine. Sie treibt Werkzeuge an, und sie erzeugt beschleunigte Bewegungen. Immer schnellere Eisenbahnen verkleinern zunehmend den

<sup>1</sup> Isaac Newton. 1888. *Mathematische Grundlagen der Naturphilosophie*. Hamburg, S. 46.

<sup>2</sup> Ebd.

<sup>3</sup> Ebd., S. 227.

<sup>4</sup> Herbert George Wells. 1974. *Die Zeitmaschine. Eine Erfindung*. Zürich, S. 8.

<sup>5</sup> Ebd., S. 10. Seit Wells ist die Zeitreise einer der typischen Topoi der Science Fiction. Vgl. Michael Salewski. 1986. *Zeitgeist und Zeitmaschine. Science Fiction und Geschichte*. München; Jörg Helbig. 1990. »The Time is out of Joint«, In: *Quarber Merkur*, H. 74, Dezember 1990, S. 43-47.

Raum und verkürzen immer mehr die Zeit. Mit dem zunehmenden Ausbau des Eisenbahnwesens, d.h. des gesellschaftlichen »Kommunikationssystems« (Friedrich List), gerät die stricte kategoriale Trennung von Raum und Zeit in Verwirrung.<sup>6</sup>

Die Beschleunigung von Kommunikation und Bewegung durch die Dampfmaschine macht deutlich, daß Zeit und Raum zusammenhängen. Ein solcher Zusammenhang wird in der von H. G. Wells wieder aufgegriffenen und von Newtons Mechanik ausgegrenzten Überlegung ausgedrückt, »daß Zeit nur eine Spielart des Raumes ist«.<sup>7</sup> Obwohl sich der wissenschaftliche Paradigmenwechsel zur Relativität von Raum und Zeit bereits im ausgehenden 19. Jahrhundert abzeichnet, wird dieser Wechsel in der Physik doch erst 1905 vollzogen, als der Schweizer Patentbeamte Albert Einstein seine *spezielle Relativitätstheorie* veröffentlicht. In der **[Druckfassung: S. 113]**speziellen Relativitätstheorie tritt an die Stelle der absoluten und getrennten Formen von Raum und Zeit nun die *Raumzeit*. In den von Einstein sehr geliebten Gedankenexperimenten zum Verhältnis von Raum und Zeit spielen mit annähernder Lichtgeschwindigkeit dahinrasende Züge eine wichtige Rolle. Je näher ein Zug der Lichtgeschwindigkeit kommt, um so langsamer laufen alle Uhren, welche die Fahrgäste mit sich tragen. Auch erscheinen ihnen alle Entfernungen in Fahrtrichtung zunehmend kürzer. Oder anders formuliert: Ein sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegendes Lichtteilchen ist überall zugleich im Universum. Newton hatte dieses Immer-und-Überall noch für Gott reserviert, jetzt wird diese Position einem profanen Photon zugesprochen. Was für das Lichtquant Gegenwart ist, kann für andere Beobachter/Teilchen Zukunft oder Vergangenheit sein.

Wie in der Welt der klassischen Mechanik, gilt auch in der der Relativitätstheorie Zeitinvarianz oder T-Symmetrie (T steht für Time). Im Unterschied zum klassischen Weltbild, bilden Raum und Zeit nach Einstein und seinem Tutor Hermann Minkowski jedoch ein *Kontinuum*. Aber auch die Raumzeit gilt als ‚absolut‘. Der »vierdimensionale Raum der speziellen Relativitätstheorie ist«, so Einstein, »ebenso starr und absolut wie der Raum Newtons.«<sup>8</sup> Es gibt strenge Regeln, die das Verhältnis von Raum und Zeit zueinander beschreiben. Das befestigte Minkowski-Becken der Raumzeit ermöglicht es Einstein, die Unterscheidung von Zukunft, Gegenwart und Vergangenheit als ‚hartnäckige Täuschung‘ zu entlarven.

In einer erstmalig 1925 erschienenen Interpretation der Relativitätstheorie schreibt der Philosoph und Mathematiker Bertrand Russell daher: »Es ist nicht wahr, daß die Vergangenheit die Zukunft in irgendeinem anderen als in dem Sinn determiniert, in dem die Zukunft die Vergangenheit determiniert: Der scheinbare Unterschied kommt nur durch unsere Unkenntnis zustande; denn wir wissen weniger über die Zukunft als über die Vergangenheit. Das ist bloßer Zufall.«<sup>9</sup> Weiter spekuliert Russell, daß es Wesen geben könnte, die gegen die Zeit leben, d.h. »die sich an die Zukunft erinnern und daraus die Vergangenheit erschließen müßten.«<sup>10</sup>

<sup>6</sup> Wolfgang Schnivelbusch. 1993. *Geschichte der Eisenbahnreise. Zur Industrialisierung von Raum und Zeit im 19. Jahrhundert*. Frankfurt am Main, S. 35-45.

<sup>7</sup> Wells, a.a.O., S. 9.

<sup>8</sup> Albert Einstein. 1960. *Mein Weltbild*. West-Berlin, S. 114.

<sup>9</sup> Bertrand Russell. 1972. *Das ABC der Relativitätstheorie*. Reinbek, S. 163.

<sup>10</sup> Ebd.

## Zeitpfeile

Aber was heißt eigentlich ein Ausdruck wie ‚gegen die Zeit‘, wenn man von einem absoluten Raumzeit-Kontinuum ausgeht, in dem keine Zeitrichtung ausgezeichnet ist? Wie kann die Zeit analog zum Flug eines Pfeils eine Richtung haben? Die Metapher des Zeitpfeils hat der englische Physiker Arthur Eddington geprägt. Er wollte damit der alltäglichen, subjektiven Erfahrung des Zeitverlaufs einen Namen geben. Mit dieser Benennung hat er eines der kniffligsten Probleme der modernen Physik in die Welt gesetzt, das *Paradox der Zeitrichtung*.<sup>11</sup> Zwar **[Druckfassung: S. 114]**nehmen wir aller Orten Informationsverlust und Zeitfluß wahr. Aber was der Tod für das Individuum ist, nämlich ein Skandal, das ist eine Verletzung der T-Symmetrie für viele Physiker. Als Naturwissenschaft beansprucht die Physik, universelle, allgemeingültige, eben *transhistorische* Gesetze zu finden. Symmetrieverletzungen sind daher mindestens ärgerlich. Wenn die Zeit irreveribel ist, warum zeigt sich diese Irreversibilität nicht in den Gleichungen der Mechanik? Ist sie aber reversibel und symmetrisch, muß dann die subjektive Zeiterfahrung als Täuschung entlarvt werden?

Für die Suche nach Zeitpfeilen, die im Raumzeit-Kontinuum ‚umherfliegen‘, spielt die Dampfmaschine eine Rolle. Aus den praktischen Problemen mit der Kraft der Dämpfe und Gase entsteht die Thermodynamik. Ihr erster Hauptsatz ist der Satz von der Energieerhaltung, ihr zweiter der Satz von der Entropie. Demnach tendiert ein geordneter Zustand dazu, seine Ordnung zu verlieren. Wenn Sie eine Tasse fallen lassen, haben Sie danach nur noch Glück und Scherben. Ein wirklich glücklicher Zufall wäre es jedoch, würden diese Scherben sich von selbst zu einer Tasse zusammensetzen würden. Entropie definiert eine generelle Irreversibilität, die sich als eine ausgezeichnete Richtung von Zeit und als kosmischer Zeitpfeil begreifen läßt. Das Universum hat demnach eine Geschichte.<sup>12</sup>

Der Köcher der Zeit ist mit vielen Pfeilen gefüllt. Nicht nur Entropie definiert eine Zeitrichtung, auch das Leben. Die Evolution ist nicht reversibel, sondern ein Prozeß, der immer auf seine eigenen Bedingungen zurückgreift und sich entwickelt. Sie wächst wie ein Zeitbaum. Das Dasein als Bios legt eine Richtung von der Geburt zum Tode fest. Alterungsprozesse wiederum sind mit Entwicklung und Verfall des Bewußtseins verbunden.

Die Pfeil-Metapher legt außerdem die Frage nahe, ob der Pfeil der Zeit sich bewegt? Zenon von Elea formulierte im 5. Jahrhundert v. Chr. das *Pfeilparadox*. Ein fliegender Pfeil nimmt immer einen mit ihm identischen Raum ein, d.h. in jedem beliebig bestimmten Moment bewegt sich der Pfeil nicht im Raum. Der Pfeil ruht in jedem Augenblick und nicht nur er: Nichts bewegt sich. Eine ähnliches Paradox erdachte 1911 der französische Physiker Paul Langevin in der Absicht, die spezielle Relativitätstheorie zu prüfen. Sein Einwand ist unter dem Namen *Zwillingsparadox* berühmt geworden. Schickt man einen von zwei Zwillingen mit annähernder Lichtgeschwindigkeit auf eine Reise zum nächsten Stern, so würde man Einstein zufolge bei seiner Rückkehr feststellen, daß er weniger gealtert ist, als sein Pendant auf der Erde. Die Zwillinge sind keine mehr. Die ursprünglich gleichen Zeitpfeile unterscheiden sich nun voneinander, weil der eine sich aufgrund

<sup>11</sup> Vgl. Etienne Klein. 1994. *Gespräche mit der Sphinx. Die Paradoxien in der Physik*. Stuttgart, S. 163ff.

<sup>12</sup> Vgl. Stephen W. Hawking. 1991. *Eine kurze Geschichte der Zeit. Die Suche nach der Urkraft des Universums*. Reinbek.

erhöhter Reisegeschwindigkeit langsamer in die Zukunft bewegt hat als der andere. Langewin hat darauf hingewiesen, daß man diesen Vorgang genauso gut andersherum betrachten könnte. Aus dem Bezugssystem des Zwillings im Raumschiff sieht es ja so aus, als bewege sich die Erde von ihm weg. Warum also soll bei Rückkehr der Erde zum Raumschiff nicht der Zeitpfeil der Erde der langsamere sein? Mit anderen **[Druckfassung: S. 115]** Worten – die beiden Zeitpfeile bewegen sich nicht unterschiedlich und nicht nur sie: Muß man zum absoluten und universellen Zeitfluß Newtons zurückkehren?

Die Lösung des Zwillingsparadoxons liefert die *allgemeine Relativitätstheorie* (1916). Sie berücksichtigt Beschleunigungs- und Gravitationskräfte. Die Äquivalenz der Bezugssysteme, die Langewins Paradox unterstellt, ist nicht gegeben. Vielmehr wird der Zwilling im Raumschiff bei Start, Landung und Kehre mehrmals beschleunigt und abgebremst. Die beiden Zeitpfeile lassen sich also eindeutig voneinander unterscheiden und es läßt sich auch eindeutig sagen, welcher von beiden sich schneller bewegt.

## Timewarps

Die allgemeine Relativitätstheorie entwirft eine unregelmäßige Topologie der Raumzeit. Diese Topologie kennt Höhen und Tiefen – Krümmungen. Unter ‚normalen‘ Umständen verletzen diese Raumzeit-Verzerrungen, die durch Gravitation und Beschleunigung verursacht werden, nicht die T-Symmetrie. Wenn man das Gravitationsfeld in die entsprechenden Gleichungen einbezieht, stellt sich eine ‚lokale Invarianz‘ her. Zum Beispiel läßt sich die obige Lösung des Zwillingsparadoxons als Lösung eines Symmetrieparadoxons lesen. Die Symmetrieverletzung – der fliegende Zwilling altert langsamer – kann bereinigt werden.

Die allgemeine Relativitätstheorie enthält jedoch eine physikalische Theorie des Ausnahmestands. Die interessantesten Orte der Raumzeit-Topologie sind ‚Schwarze Löcher‘. Alle Materie und Energie wirkt krümmend auf die Raumzeit ein. Aber in einem Schwarzen Loch haben sich extrem viel Materie und Energie versammelt. Die Gravitation verursacht eine derart starke Krümmung, daß die Raumzeit aufgerissen wird. Es entsteht eine ‚Singularität‘, d.h. eine unendlich tiefe Senke in der Raumzeit, der sogar das Licht nicht mehr entkommen kann und die in der Theorie für allerlei merkwürdige Effekte sorgt. Die Grenze, an der die Fluchtgeschwindigkeit für eine solche Materieballung größer wird als die Lichtgeschwindigkeit, nennt man ‚Ereignishorizont‘ – wäre von außen ‚auf‘ diesem Horizont noch etwas zu erkennen, dann sähe man, daß alle Uhren stillstehen.

Im Gegensatz zum eröffnenden, weiten Horizont der Moderne, verschluckt der Ereignishorizont der postmodernen Physik alles, was ihn erreicht. Der Informationsgehalt der in die Singularität stürzenden Materie verschwindet. Es gibt kein Zurück. Dadurch wird also die Zeitsymmetrie verletzt.

Die allgemeine Relativitätstheorie schafft neue Widersprüche in Form von *Informationsparadoxa*. Erstens: Wo bleiben die Informationen, die zum Beispiel in Schwarzen Löchern verschwinden? Tauchen sie irgendwo und irgendwann wieder auf? Kann der Informationsverlust wieder ausgeglichen werden?<sup>13</sup> Das zweite Folgeparadox resultiert aus der Möglichkeit von Zeitreisen. Die extreme Gravitation einer Singularität erlaubt es, daß die Weltlinie eines Ereignisses sich selbst schneidet. Ein Astronaut, der auf

---

<sup>13</sup> Leonard, Susskind. 1997. »Das Informationsparadox bei Schwarzen Löchern.« In: *Spektrum der Wissenschaft*, 6/1997, S. 58-63

einer solchen Weltlinie reist, trifft auf seine eigene Vergangenheit (und das, ohne sich zu verjüngen). Etwas vergleichbares muß seinerzeit Ijon Tichy während seiner siebenten Reise in der Nähe der Beteigeuze zugestoßen sein als sein Raumschiff mehrere der 147 dort verzeichneten geheimnisvollen Gravitationsstrudel durchquerte.<sup>14</sup>

In der Praxis haben Schwarze Löcher allerdings den Nachteil, daß ein Raumschiff, welches in den Intimbereich eines Ereignis-**[Druckfassung: S. 116]**horizonts gerät, diesen nicht mehr verlassen kann. Aber wenn sich Schwarze Löcher sehr schnell drehen, lassen sie eventuell ihre Ereignishüllen fallen. Solche ‚nackten Singularitäten‘ wären ideale Zeitmaschinen. Während Schwarze Löcher mit Ereignishorizont Entropie produzieren, erzeugen ‚nackte Singularitäten‘ das Gegenteil – Information. Als weitere Zeitmaschinen sind unter anderem künstlich stabilisierte Wurmlöcher (Kip Thorne und Michael Morris), rotierende Universen (Kurt Gödel) und unendlich lange, rotierende Zylinder (Frank Tipler) vorgeschlagen worden.<sup>15</sup>

Zeitreisen erzeugen Informationsparadoxa. Der Physiker Paul Davies gibt ein Beispiel: Ein Professor reißt ins Jahr 2000 und notiert sich aus einem Journal ein paar Stichpunkte über ein neues Theorem. Dann kehrt er ins Jahr 1998 zurück und formuliert das Theorem in einem Papier. Das Papier wird publiziert. Es handelt sich genau um jenen Artikel, den er im Jahr 2000 gelesen hat. Woher kommt die Information, die in dem neuen Theorem steckt? Nicht von dem Professor, der sie nur in dem Journal gelesen hat; aber auch nicht von irgend einem anderen. »It came into existence spontaneously and paradoxically.«<sup>16</sup>

Statt des spurlosen Verschwindens von Informationen, erscheinen nun grundlos Informationen aus der Zukunft oder umgekehrt – jemand reist in ‚seiner‘ Vergangenheit und verändert ‚seiner‘ Geschichte. Was geschieht dann? Verändert er damit nicht auch sich selbst? Die Sicherheit historischer Überlieferung und die Linearität der Zeit verschwinden, Ursprünge und Gründe lösen sich auf. Überlieferte Formen und traditionelle Identitäten geraten ins Schwanken, während neue ohne sicheres Fundament plötzlich entstehen – Zitate aus der Zukunft. Zeitmaschinen erzeugen im Diskurs höchst verzerrende Wahrheitseffekte; viele Philosophen würden Zeitmaschinen daher zweifellos als ‚performative Widersprüche‘ erkennen und alles daran setzen, diese Technologie wieder aus der Welt zu schaffen.

Den theoretischen Physikern und Kosmologen wird in Anbetracht der Effekte von Zeitmaschinen auch irgendwie mulmig, und deshalb halten sie sich mit öffentlichen Spekulationen vornehm zurück oder tauchen sogar unter, um spurlos zu verschwinden (was die Gerüchteküche im Internet allerdings um so mehr anheizt). Man befürchtet, daß Gelder gestrichen werden könnten, denn wer finanziert schon ‚Spinner‘? Stephen Hawking und Roger Penrose erwägen sogar Maßnahmen zum ‚Chronologieschutz‘ und hoffen auf ‚kosmische Zensur‘, d.h. sie setzen auf die Zeitpolizei. Dennoch: Breitet man die betreffende Literatur auf seinem Schreibtisch aus und wirft einen Gesamtblick darauf, deutet sich dann an, daß Zeitmaschinen die gesuchte Lösung für die Brechung der Zeitsymmetrie und das spurlose Verschwinden von Informationen sein könnten?

<sup>14</sup> Stanislaw Lem. 1978. *Sternstagebücher*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 13-32.

<sup>15</sup> Einen guten Überblick liefern: Paul Davies. 1998. *Die Unsterblichkeit der Zeit. Die moderne Physik zwischen Rationalität und Gott*. München und Kip S. Thorne. 1996. *Gekrümmter Raum und verborgene Zeit. Einsteins Vermächtnis*. München.

<sup>16</sup> Paul Davies. 1998. »Paradox lost.« In: *New Scientist*, Vol. 157, No. 2126, 21.3.1998, S. 26-30, hier S. 30.

Derzeit findet sich die physikalisch gestützte Kosmologie in Zeitparadoxa gefangen. Aber ihre Vertreter glauben an die kommende große vereinheitlichte Theorie (GUT für *Grand Unified Theory*), die den Zeitschleifen entflieht und die Ordnung der Dinge wiederherstellt. Denn Zeitmaschinen stören und unterwandern den Wissensdiskurs der Physik, an den die Moderne seit Immanuel Kant auch ihren metaphysischen Begriff von Wahrheit geknüpft hat.<sup>17</sup>

In einer polemischen Untersuchung der Hyperkosmologie Stephen Hawkings hat Catherina Zakrovsky auf die paradoxe Struktur einer Geschichte der Zeit, wie sie die Physik derzeit unternimmt, hingewiesen: »Eine Geschichte der Zeit hat eine besondere Ironie: je mehr sich die Zeit um ihre eigene Geschichte krümmt, desto unmöglicher wird ihr Anfang.«<sup>18</sup> In der Tat – heißen wir die Physiker in der medialen Zitatkultur willkommen. Nach dem Ende der Geschichte kann auch ‚das Neue‘ lediglich Zitat sein.

**[Zitierhinweis: In den eckigen Klammern stehen jeweils die Seitenzahlen der Druckfassung]**

---

<sup>17</sup> Dierk Spreen. 1999. »Timewarp. Über die Wahrheitseffekte von Zeitmaschinen.« In: *Ästhetik & Kommunikation*, H. 104, »Zukunft schreiben«, 30. Jg., März 1999, S. 23.-32.

<sup>18</sup> Catherina Zakrovsky. 1998. »Stephen Hawking, die Singularität und ein abgelegenes Universum.« In: *Tumult*, H. 23, »Physiken«, S. 70-80, hier S. 75.