

Warum es Zeitumkehr nicht gibt und warum Anfangsbedingungen und Gesetze nirgends hinführen

Abstract

Ein sehr kurzes Argument zeigt, dass Zeitumkehr unmöglich ist, und zwar *prinzipiell* und nicht nur aus statistischen Gründen.

Dasselbe Argument beweist, dass Anfangsbedingungen und Gesetze keinen Ausgangspunkt für exakte Berechnungen der Entwicklung physikalischer Systeme darstellen – nicht einmal unter idealisierten Bedingungen.

1. Keine Zeitumkehr

Wir betrachten zwei Objekte A und B, die miteinander wechselwirken und sich relativ zueinander bewegen, zwischen zwei Zeitpunkten T_0 und T_2 .

Die Frage ist: *Entspricht die zeitliche Umkehrung dieses Prozesses einem realen Vorgang?*

Die Antwort ist *nein*. Der zeitlich umgekehrte Vorgang ist in der Wirklichkeit nicht möglich, und das gilt in *jedem* Fall – gleichgültig, um welche Objekte und Wechselwirkungen es sich handelt und in welcher Umgebung sie sich befinden – auch dann, wenn alle beteiligten Gesetze zeitsymmetrisch sind.

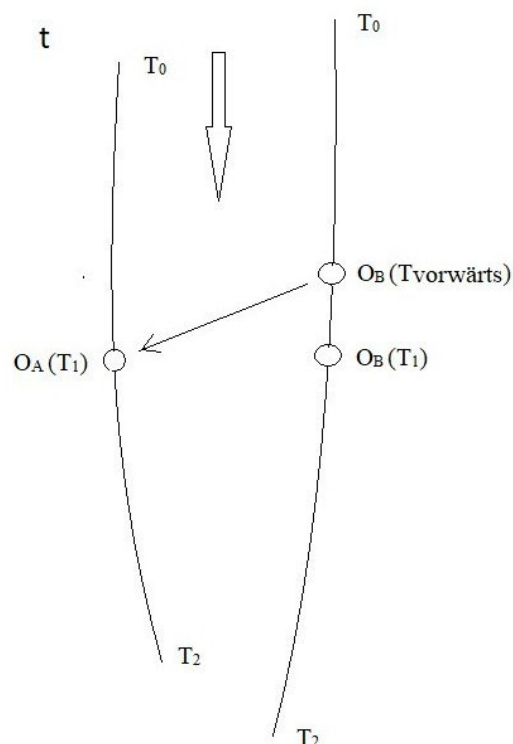
Begründung:

T_1 sei ein Zeitpunkt, der zwischen T_0 und T_2 liegt. A befindet sich am Ort $O_A(T_1)$, B am Ort $O_B(T_1)$.

Da die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wechselwirkung endlich ist, gilt Folgendes:

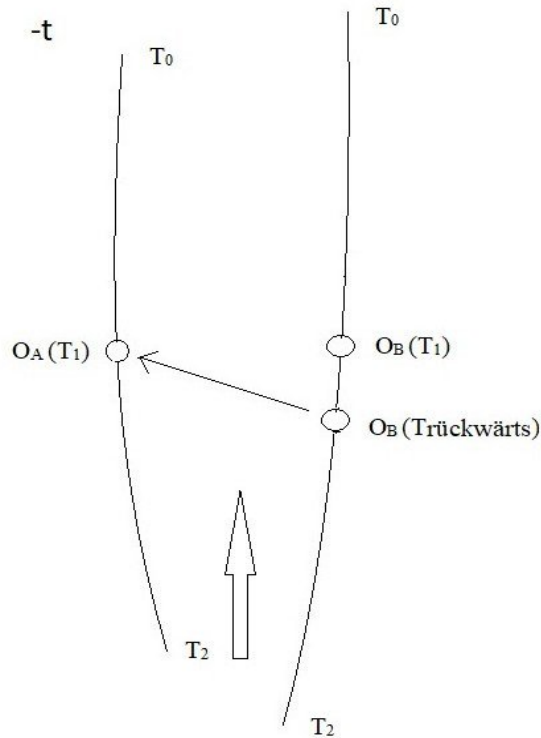
Die von B stammende Wirkung, der A zum Zeitpunkt T_1 unterworfen ist, geht *nicht* von B am Ort $O_B(T_1)$ aus, sondern von einem Ort, an dem B *vorher* war, und zwar genau so lang vorher, wie die Wirkung brauchte, um von dort aus nach $O_A(T_1)$ zu gelangen. Nennen wir diesen Ort $O_B(T_{\text{vorwärts}})$.

In der Skizze bewegen sich beide Objekte *abwärts*, B schneller als A.



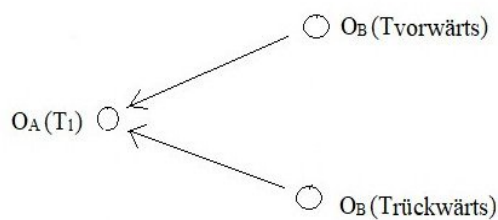
Jetzt betrachten wir den zeitlich rückwärts laufenden Prozess. Wieder greifen wir den Zeitpunkt T_1 heraus. Wenn wir den Prozess als real auffassen, dann gilt nun abermals, dass die Wirkung, die B auf A zum Zeitpunkt T_1 ausübt, *nicht* von B am Ort $O_B(T_1)$ ausgeht, sondern von einem Ort, an dem B *vorher* war. Da sich aber nun die Bewegungsrichtung von B umgekehrt hat, muss B auf seiner Bahn *in die Gegenrichtung* versetzt werden, an einen Ort, den wir $O_B(T_{\text{rückwärts}})$ nennen.

In der Skizze bewegen sich beide Objekte *aufwärts*, B schneller als A.



Es gilt in jedem Fall:

$$O_B(T_{\text{vorwärts}}) \neq O_B(T_{\text{rückwärts}})$$



Eine notwendige Bedingung für einen zeitsymmetrischen Vorgang ist jedoch, dass die Beschleunigung, die auf die beteiligten Objekte ausgeübt wird, in beiden Zeitrichtungen zu jedem Zeitpunkt identisch ist.

Da aber die Orte, von denen aus der Bewegungszustand von Objekt A durch Objekt B verändert wird, für beide Zeitrichtungen verschieden sind, ist diese Bedingung hier offensichtlich nicht erfüllt.

Also ist der in der Zeit rückwärts laufende Prozess kein real möglicher Vorgang.

Bemerkungen:

1. Die Definition des obigen Szenarios ist so allgemein, dass sie jeden möglichen physikalischen Prozess einschließt: in jedem Prozess muss es Objekte geben, die miteinander wechselwirken, sodass sie gegenseitig ihren Bewegungszustand verändern. Es ist dabei gleichgültig, welche Wechselwirkungen das sind und auf welche Weise sie formuliert sind: in jedem Fall gilt, dass die Objekte Quellen der Wirkungen (Träger der "Ladungen") sind und dass die Wirkung, die ein Objekt auf ein anderes Objekt ausübt, *auch* vom Ort des Objekts abhängt – und das gilt auch für den Fall, dass dem Objekt kein eindeutiger Ort, sondern nur eine Wahrscheinlichkeitsverteilung von Orten zugeordnet werden kann.
2. Allgemein lässt sich der im Beweis dargestellte Sachverhalt wie folgt ausdrücken: Bei der Umkehrung der Zeitrichtung ändern sich die Positionen, von denen aus sich die Objekte gegenseitig beeinflussen, und damit muss sich auch die dem Prozess zugrunde liegende raumzeitliche Kausalstruktur ändern.
3. Auch wenn die Überprüfung der Bedingung "identische Beschleunigung in beide Zeitrichtungen zu jedem Zeitpunkt" in der üblichen physikalischen Darstellung des Szenarios nicht möglich sein sollte, so existiert doch jedenfalls eine Darstellung, in der sie durchführbar ist.
4. Die weit verbreitete Überzeugung, dass aus der Zeitsymmetrie der Gleichungen, die einen physikalischen Vorgang beschreiben, auch die Zeitsymmetrie dieses Vorgangs selbst folgt, wird durch unser Argument widerlegt.
5. Eine interessante Frage ist, in welchem Maß das Argument sich auf die Beurteilung einiger Szenarien auswirkt, die in der Diskussion über Zeitumkehr eine wichtige Rolle spielen, wie etwa das Szenario, in dem sich alle Moleküle eines Gases am Anfang in einem winzigen Teilvolumen eines geschlossenen Behälters befinden und nach einiger Zeit im ganzen Behälter verteilt sind. Ich vermute, dass auch in diesem Fall die Abweichungen (Winkeländerungen der Trajektorien), die aus unserem Argument folgen – selbst wenn sie extrem klein sind – sich schon nach einer relativ kurzen Zeitspanne soweit aufschaukeln, dass sie die zeitliche Umkehrung des Vorgangs verhindern: die Moleküle werden sich nicht wieder in dem winzigen Teilvolumen versammeln – auch dann nicht, wenn die Bedingungen am Ende des Prozesses vollkommen exakt als Ausgangsbedingungen des zeitlich umgekehrten Prozesses dienen. (Das ist allerdings nur eine Vermutung; wie lange man den Prozess tatsächlich laufen lassen müsste, damit dieser Ausgang verhindert wird, habe ich nicht berechnet.)
6. Thermodynamischen Argumenten zufolge ist Zeitumkehr unwahrscheinlich. Unser Argument beweist dagegen, dass sie unmöglich ist.
7. Nehmen wir an, ein physikalisches System nähere sich einem Attraktor-Zustand, d.h. einem Zustand geringerer Entropie. Gäbe es Zeitumkehr, dann wäre auch die umgekehrte Trajektorie möglich. Da wir aber Zeitumkehr ausgeschlossen haben, kann diese Trajektorie nicht existieren – der zeitlich umgekehrte Weg zurück zu höherer Entropie ist nicht möglich.

2. Weitere Folgerung

Genaue Kenntnisse der Anfangsbedingungen und Gesetze gelten allgemein als sicherer Startpunkt für die Berechnung der Entwicklung physikalischer Systeme. Erst Einschränkungen des Messens und Rechnens verhindern dann exakte Ergebnisse.

Unser Argument zeigt aber, dass es eine prinzipielle (absolute) Einschränkung gibt: auch ein Laplacescher Dämon mit unendlichen Ressourcen an Raum, Zeit und Information wäre nicht imstande, auf der Basis von Anfangsbedingungen und Gesetzen eine exakte Berechnung durchzuführen, weil er damit nicht einmal *beginnen* könnte: Um die Wirkungen, denen irgendeines der Objekte des Systems am Beginn unterworfen ist, zu bestimmen, müssten ja alle anderen Objekte

an die Orte zurückversetzt werden, von denen diese Wirkungen ausgehen, und das kann offensichtlich nicht exakt durchgeführt werden, weil ja für alle Objekte *dasselbe* gilt.

Heinz Heinzmann

Wien, 29.03.2023