

# **Anmerkungen zur Relativitätstheorie**

( Rev. 1.26, Okt 2009, J.Rasper )

## **Zusammenfassung**

*Bei der Ableitung seiner speziellen Relativitätstheorie verwendet Albert Einstein eine Definition der Gleichzeitigkeit und eine Methode, diese zu bestimmen, welche nicht zusammenpassen. Während die Methode zur Bestimmung der Gleichzeitigkeit alltäglicher Gebrauch ist, ist diese im Widerspruch zur Definition von synchronisierten Uhren, wie sie von ihm selbst gegeben wird. Einsteins Methode zur Bestimmung der Gleichzeitigkeit ist eine "Denkgewohnheit" während eine andere Methode eine "Denknotwendigkeit" ist.*

*Die von der Theorie vorhergesagten Beobachtungen sind Artefakte, die durch diese Inkompatibilität von Definition und Bestimmung erst produziert werden.*

## **Einleitung**

Die meisten Menschen kennen Albert Einstein und seine Relativitätstheorie. Vergleichsweise wenige dürften diese allerdings verstanden haben oder dies wenigstens glauben. Während nur elementare Mathematikkenntnisse erforderlich sind, scheint der Mangel an Verständnis durch logische Probleme bedingt zu sein. Die Ableitung der speziellen Relativitätstheorie ( SRT ) wirft Fragen auf, die hier gestellt werden sollen. In der Literatur sind mir diese in der Kürze und Präzision, die hier versucht wird, nicht bekannt. Es wird von den Antworten abhängen, ob eine widerspruchsfreie Ableitung der SRT möglich ist. Ich beziehe mich nur auf Einsteins Buch [1], welches gut verständlich ist ( bis auf die hier gestellten Fragen natürlich ). Die Allgemeine Relativitätstheorie ( ART ) wird hier nicht direkt betrachtet. Da die SRT in ihr aber als Spezialfall enthalten ist, ist sie von Problemen der SRT indirekt betroffen.

## **1. Spezielle Relativitätstheorie (SRT)**

Die SRT geht von folgenden Voraussetzungen aus:

- A1: Es gibt keinen absoluten Raum oder Methode, eine Bewegung gegen einen solchen zu messen ( absolute Bewegung ).
- A2: Alle Beobachter ruhen in Inertialsystemen, welche sich geradlinig mit konstanter Geschwindigkeit relativ zueinander bewegen.
- A3: Es gibt weder Masse noch Gravitation.
- A4: Jeder Beobachter mißt dieselbe Lichtgeschwindigkeit unabhängig von seiner relativen Bewegung zur Lichtquelle.
- A5: Relativitätsprinzip ( [1], Par.5 ):  
*Ist  $K'$  ein in bezug auf  $K$  gleichförmig und drehungsfrei bewegtes Koordinatensystem, so verläuft das Naturgeschehen in bezug auf  $K'$  nach genau denselben allgemeinen Gesetzen wie in bezug auf  $K$ .*

Wir stellen folgendes ohne weitere Betrachtung fest:

Bemerkungen:

- R1: Die Voraussetzungen wurden niemals beobachtet und werden es niemals.  
( In der Wirklichkeit gibt es keinen Raum frei von Gravitation und Krümmung, die

Einfluß auf die Lichtgeschwindigkeit haben, wie es die ART behauptet ).  
R2: Kann Licht sich in solch einer Umgebung überhaupt ausbreiten und wenn ja, wie ?

## 2. Probleme in Gedankenexperimenten

### Experiment 1 (E1):

Dieses Experiment ist das Eisenbahn-Experiment, wie es Einstein in [1], Par.8,9 beschreibt. Wir benutzen geringfügig andere Bezeichnungen, da wir etwas mehr als in [1] benötigen.

In [1] erscheinen:

1. Ein Beobachter O am Punkt M in einem ruhenden Koordinatensystem K ( Bahndamm ).
2. Ein Beobachter O' am Punkt M' in einem bewegten Koordinatensystem K' ( Zug ). Die Bezeichnungen ruhend und bewegt sind natürlich beliebig und vertauschbar. Sie dienen nur der einfacheren Sprache.
3. In K sind die Punkte A,M,B gegeben, so daß M in der Mitte zwischen A und B liegt. Dies kann durch Benutzung eines Maßstabes erreicht werden. Analog soll der Punkt M' im System K' in der Mitte zwischen A' und B' liegen. A soll links, B rechts von M liegen während K' sich nach rechts bewegt.
4. Eine Vorschrift zur Zeitmessung ( [1], Par.8 ): Jedes Ereignis erhält einen Zeitstempel von jedem System. Dies ist der Uhrenstand am Ort des Ereignisses. Eine Definition synchroner Uhren und eine Vorschrift, wie dies zu erreichen ist, wird gegeben.
5. Eine Definition der Gleichzeitigkeit von Ereignissen: Wenn ein Beobachter O in M zwei Ereignisse in A bzw. B gleichzeitig sieht, so sind diese für ihn gleichzeitig ( M ist gleich weit von A bzw. B entfernt ). Analoges gilt für O' in M' in Bezug auf A' und B'.
6. Zwei Ereignisse ( Blitze ) in A und B, welche O gem. 5. als gleichzeitig ansieht ( dies gilt nicht notwendig für O' ).

Einstein ist hier nicht besonders präzise, d.h. an folgenden zwei Punkten:

*P1: "Den Stellen A und B entsprechen aber auch Stellen A und B auf dem Zuge."*

Es wird nicht klar, ob A und B Koordinaten ( d.h. Entfernungen von M in K ) bezeichnen oder einfach Namen für Punkte sind. Im letzten Falle müßten diese A', B' für den Zug heißen.

Wenn Koordinaten gemeint sind, ist nicht klar, ob dies jeweils dieselben für den Bahndamm wie für den Zug sind. Wir müßten also für den Zug Bezeichnungen A' und B' verwenden und bis zum Beweis des Gegenteils annehmen, daß diese verschieden von A bzw. B sein können.

Wir werden diese Ungenauigkeit beseitigen. Entsprechend A1 kann kein Punkt unabhängig von einem der Systeme K oder K' definiert werden. Deshalb kann Einstein keine Namen für Punkte ( z.B. in einem festen System ) im Sinn gehabt haben. Punkte können also nur durch ihre Koordinaten ( also Entfernungen von M bzw. M' ) in einem der Systeme K, K' definiert werden. Im Zug können wir nicht über A und B reden, sondern müssen zunächst A' und B' verwenden.

P2: In [1], Par.8 erhält jeder Punkt in K und K' eine Uhr. Für jedes Ereignis an

einem Punkt gibt es dadurch einen Zeitstempel, welcher der Uhrenstand am Ort des Ereignisses ist, als dieses eintrat.

Dies legt eine Definition für die Gleichzeitigkeit von Ereignissen fest, die unabhängig davon ist, wann ein Beobachter die Ereignisse sieht. Wir müßten zwei Ereignisse als gleichzeitig ansehen, wenn ihre Zeitstempel gleich sind ( und NUR dann ). Dies ist klar eine andere Definition als in 5. Einstein läßt offen, warum er nicht diese höchst naheliegende Definition benutzt.

Zusätzlich zu den Uhren an jedem Punkt eines Systems (  $K$  bzw.  $K'$  ) denken wir uns Meilensteine, welche die Entfernung von  $M$  bzw.  $M'$  tragen. Sehen wir uns nun etwas genauer an, was geschieht, wenn die Blitze einschlagen:

Bei  $A$  und  $A'$  leuchten die Uhren mit den Zeitstempeln  $T_a$  ( in  $K$  ) bzw.  $T'_a$  ( in  $K'$  ) und die Meilensteine mit den Beschriftungen  $A$  bzw.  $A'$  auf. Bei  $B$  und  $B'$  leuchten entsprechend Uhren mit den Ständen  $T_b$  bzw.  $T'_b$  und Meilensteine mit den Aufschriften  $B$  bzw.  $B'$  auf. Dies bedarf einer Erklärung. Einstein sieht die Blitze als Ereignisse, die auf dem Bahndamm stattfinden ( also in System  $K$  ). Wie wir sehen, gibt es genau genommen vier Ereignisse, die von zwei Blitzen verursacht werden, nämlich das Aufleuchten der Uhren und Steine auf jeder Seite und in jedem System. Es ist kein Problem, die Ereignisse in  $A$  und  $A'$  als gleichzeitig zu bezeichnen, da sie ja an ein und derselben Stelle stattfinden. Ebenso sind die Ereignisse in  $B$  und  $B'$  gleichzeitig. Natürlich müssen die Zahlenwerte der Ereignisse ( $A, T_a$ ) und ( $A', T'_a$ ) nicht übereinstimmen. Nach dem Relativitätsprinzip hat jeder der zwei Beobachter das Recht, zu behaupten, die Blitze ( welche nur zwei sind ! ) hätten in seinem eigenen System stattgefunden.

Diese Art von Ereignis wird Punktereignis genannt, da es ein Punkt im mathematischen Sinne in einem 4-dimensionalen Raum ist und weder eine Ausdehnung im Raume noch in der Zeit besitzt.

Während also ein Punktereignis keine zeitliche Ausdehnung besitzt, kann es keinen Bewegungszustand besitzen, der eine Zuordnung zu einem bestimmten System rechtfertigen könnte. Gemäß A4 ist die Geschwindigkeit des Lichts, das  $O$  und  $O'$  erreicht, dieselbe für alle 8 Kombinationen aus Quelle und Beobachter. Die einzige Lösung hier ist, daß beide Beobachter die Gleichzeitigkeit aller 4 Ereignisse feststellen. Einsteins Schluß, daß  $O'$  die Ereignisse bei  $B$  bzw.  $B'$  früher sieht, ist unverständlich. Auch wenn dies zuträfe, müßte man sich fragen, warum er die Ereignisse bei  $A, A'$  und  $B, B'$  deshalb nicht als gleichzeitig ansehen sollte. Die einzige konsistente Methode wäre, die Zeitstempel zu vergleichen. Warum sonst sollten Uhren an jedem Punkt aufgestellt sein ?

Es ist nicht schwierig, den Kern des Problems darin zu finden, daß (Punkt-)Ereignisse willkürlich einem System zugeordnet werden, ohne irgendeine Eigenschaft der Ereignisse zu benennen, die eine solche Zuordnung rechtfertigen könnten.

## Experiment 2 (E2):

Wir denken uns folgende Situation:

1. Beobachter  $A$  ist allein im Raum und sendet einen kugelsymmetrischen Blitz von einer Dauer größer als Null. Dies kann zum Beispiel mit einer definierten Uhr, wie etwa einer gewissen Art von Atomen geschehen. Das gesendete Licht hätte damit eine definierte Frequenz ( von  $A$  aus betrachtet ).

2. Beobachter A ist verschwunden. Beobachter B erscheint. Beide Beobachter sollen nicht voneinander wissen.
3. Beobachter B sendet ein identisches Lichtsignal wie A es zuvor tat.

Was können wir aus dieser Sequenz schließen ? Da kein Beobachter bevorzugt ist und kein Bewegungszustand festgestellt werden kann, müßten wir annehmen, daß die Lichtsignale keine Eigenschaft besitzen, die sie unterscheidbar macht.

Als nächstes nehmen wir an, daß beide Beobachter voneinander wissen. Würde das die Lichtsignale unterscheidbar machen ? Wohl kaum. Selbst wenn die Beobachter eine Bewegung relativ zueinander feststellen sollten, gibt es keinen Grund, warum die Lichtsignale eines jeden sich dadurch ändern sollten.

Nehmen wir nun einen dritten Beobachter C an, zu dem die Lichtsignale schließlich gelangen. Welchen Unterschied könnte er feststellen ? Da sie nach oben gesagtem identisch sein müßten, würde er keinen Unterschied feststellen können. Dies wäre auch unabhängig von der Tatsache, ob A und B eine relative Bewegung zwischen sich feststellen könnten. In diesem Falle hätte C einen anderen Bewegungszustand relativ zu A als er zu B hätte. Gemäß üblicher relativistischer Lehre, müßte er eine andere Frequenzverschiebung wahrnehmen ( relativistischer Dopplereffekt ). Schwer zu verstehen, wenn die Lichtsignale nicht unterscheidbar sind.

Auf der Suche nach einer möglichen Lösung muß der Unterschied wohl am Ort und Zeitpunkt (besser Zeitintervall) der Aussendung der Signale begründet liegen. Solange wir Gravitation nicht in Betracht ziehen, müßten wir eine Art absoluten Raum ( Einstein nannte dies in seiner Leidener Reder 1920 "Lichtäther" ) annehmen. Eine verschiedene Bewegung von A und B gegen diesen Raum würde einen Unterschied der Signale erklären, welcher dann auch von C wahrgenommen werden kann. Wir können die Situation dahingehend interpretieren, daß es ohne einen solchen Raum keine "Erinnerung" für eine Bewegung von A gegen B geben kann, die C schließlich entdecken könnte.

Natürlich ist diese Erklärung im Widerspruch zur SRT, welche die Existenz eines absoluten Raumes negiert, weil es kein Mittel gibt, ihn zu entdecken oder eine Bewegung gegenüber diesem festzustellen. Dieses Vorgehen ist etwas erstaunlich, da an anderer Stelle der Physik Dinge nicht aus der Theorie verbannt werden, nur weil sie nicht feststellbar sind ( z.B. Gravitationswellen, Gravitonen, Dunkle Materie, ... ).

Absoluter Raum würde folgende Dinge erklären:

1. Das obige Problem:  
Unterschiede der Lichtsignale entspringen einer unterschiedlichen Bewegung gegen den absoluten Raum ( dies sei "absolute Bewegung" genannt ).  
Die von C beobachteten Frequenzen hingen damit von der absoluten Bewegung der Sender wie auch von der absoluten Bewegung von C ab.
2. Die Lichtgeschwindigkeit im absoluten Raum ist konstant und unabhängig von der absoluten Bewegung der Quelle.

Dieses zweite Experiment ist weniger ein Problem der SRT als der Umgebung, welche von der SRT vorausgesetzt wird. Diese besitzt recht wenig physikalische Realität und begrenzt dadurch die Aussagekraft jeder Theorie, welche auf ihr basiert.

Während in der Praxis behauptet wird, die SRT hätte in der realen Welt Anwendungen ( GPS, My-Mesonen ), könnte man ohne Antwort auf die genannten Fragen auf die Idee kommen, sich auf folgenden Standpunkt zurückzuziehen:

SRT ist Theorie. Für die wirkliche Welt brauchen wir die Allgemeine Relativitätstheorie ( ART ). Für diese gelten die Probleme nicht.

Sie tun es nicht so klar jedenfalls. Aber Einstein selbst stellt fest ( [1], Par. 22 ), daß die SRT in der ART enthalten ist und in dieser weiterlebt. Dies läßt ein Problem der SRT auch zum Problem der ART werden.

### 3. Mögliche Lösung ?

Bisher haben wir folgendes:

1. Wir benötigen ein absolutes ( Koordinaten-)System. Das folgt nicht nur aus E2. Wie wir später sehen werden, ist es eine Konsequenz aus E1 ebenfalls.
2. Einsteins Ableitung der SRT ist wegen logischen Problemen nicht akzeptabel. Trotzdem scheinen viele Beobachtungen diese zu bestätigen. Es gibt allerdings Experimente wie z.B. von Sagnac [2], die einen Widerspruch zur SRT begründen können.

Wir erinnern uns, daß die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum nicht so bewiesen ist, wie es bei Einstein scheint. Sie ist nur ein Postulat. Zum Beweis müßten zwei Situationen unterschieden werden.

#### 1. Kleine Umgebung.

Wir haben einen Maßstab, um Entfernungen zu messen. Dann können wir die Zeit messen, die das Licht für eine bestimmte Strecke braucht. Diese Situation trifft für das Sagnac-Experiment zu, welches für eine Abhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit von der Bewegung des Empfängers votiert.

#### 2. Große Umgebung,

wie etwa für kosmische Beobachtungen. Dort messen wir Entfernungen mittels einer Uhr und der Annahme konstanter Lichtgeschwindigkeit. Dies führt zu einem Zirkelschluß und ist deshalb problematisch.

Wir wollen nun einen neuen Blick auf das Experiment E1 werfen. Wenn wir ein Ereignis nicht einem bestimmten System zuordnen können, was dann ? Wie durch E2 nahegelegt, nehmen wir einen absoluten Raum an, etwa ein absolutes System  $K_0$ . Licht bewege sich mit konstanter Geschwindigkeit in  $K_0$ .  $K'$  bewege sich nach rechts gegenüber  $K$  wie zuvor. Die gleichförmige Bewegung von  $K$  und  $K'$  gegen  $K_0$  sei mit den Geschwindigkeiten  $v$  bzw.  $v'$ . Die zwei Blitze sollen in  $K_0$  gleichzeitig stattfinden, d.h. sie haben gleiche Zeitstempel in  $K_0$ .

Wenn  $K$  gegen  $K_0$  ruht, wird  $O$  die Ereignisse gleichzeitig sehen und gleiche Zeitstempel feststellen. Damit hätte er kein Problem.

Würde er sich nun nach rechts bewegen ( gegen  $K_0$  ), würde er immer noch gleiche Zeitstempel ( die aus  $K_0$  ) wahrnehmen. Aber würde er die Ereignisse gleichzeitig sehen ? Wohl nicht, wenn wir annehmen, daß die Geschwindigkeit des von rechts kommenden Lichts gegen  $K'$   $c+v$  und des von links kommenden  $c-v$  beträgt. Das wäre auch kein Problem für  $O$ , denn hiermit könnte er die Zeitstempel der Ereignisse durch Zurückdatierung ohne Widerspruch zu seinen Beobachtungszeiten errechnen.

Experimente, welche die SRT in großen Umgebungen bestätigen, funktionieren anders.

Sie nehmen eine konstante Lichtgeschwindigkeit an in beliebigen Systemen für Licht aus beliebigen Ereignissen und es gibt keine Zeitstempel im oben verwendeten exakten Sinne. Letzteres liegt an folgendem:

In der Praxis können wir Uhren bei A und B nicht exakt synchronisieren. Wir hätten entweder

1. Eine konstante Lichtgeschwindigkeit anzunehmen ( was noch zu beweisen wäre ), wenn die Uhren schon an ihrem Ort sind.

oder

2. Die Uhren an einem gemeinsamen Ort zu synchronisieren und sie dann nach A bzw. B zu bringen. Dabei kommen Effekte der Beschleunigung und Schwerkraft ins Spiel, welche den Uhrengang beeinflussen können. Es dürfte damit nicht gleichgültig sein, auf welchem Wege die Uhren ans Ziel gebracht werden. Daß praxistaugliche Synchronisierungen möglich sind, ist hierdurch nicht in Frage gestellt, es geht ja um die Frage theoretisch exakter Synchronisation.

#### **4. Schlußfolgerung**

Die in der Einleitung erwähnten Fragen sind:

1. Warum benutzt Einstein zwei verschiedene Methoden, um die Gleichzeitigkeit von Ereignissen festzustellen und zu definieren ?
2. Warum bzw. wie können Punktereignisse einem bestimmten System zugeordnet werden ?

Die Ableitung der SRT enthält ungelöste logische Probleme. Ohne befriedigende Antworten kann die SRT nicht logisch einwandfrei begründet werden. Scheinbare experimentelle Bestätigung kann kein Heilmittel für logische Probleme sein und basiert auf der nicht bewiesenen Annahme der Unabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit von den Bewegungen der Quelle und des Senders.

Obwohl die SRT durch eine Vielzahl Experimente bestätigt scheint, gibt es widersprüchliche ebenfalls ( z.B. [2] ).

Während die Diskussion pro und contra SRT so alt ist wie diese selbst, ist die SRT heute in der Fachwelt anerkannt. Einfache logische Problem verhindern ein Verständnis der SRT. Aber es gibt auch grundsätzliche Probleme. Die Theorie bildet Beobachtungen ( z.B. Michelson Experiment ) in eine zu stark vereinfachte Umgebung ab ( vgl. R1, R2 ). Abstraktion ist zwar ein gängiges Mittel, um den Kern eines Problems klar sichtbar zu machen, aber sie darf die Lage nicht komplett verändern. Wir reden nicht über den Verlust von etwas Genauigkeit in Berechnungen, sondern über Dinge, die wir nie beobachtet haben. Ergebnisse in dieser Umgebung, welche auf zweifelhafte Art hergeleitet werden, werden in die reale Welt zurück abgebildet, wo Experimente die Ergebnisse in der hypothetischen Welt bestätigen sollen. Das ist nicht die Art wissenschaftlicher Arbeit, an die die Menschen glauben und wofür Geld ausgegeben wird. Es ist höchste Zeit, die SRT als das zu benennen, was sie ist: Bestenfalls interessante Gedanken, aber nicht die Basis, auf der wir wirklichen Fortschritt erhoffen können.

Die Vereinigung von Relativitätstheorie und Quantentheorie scheint in weiter Ferne. Ein Fortschritt ist kaum zu erwarten, solange eine von beiden Fragen offen läßt.

Referenzen:

[1] A.Einstein: Ueber die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie  
Akademie Verlag Berlin, Vieweg + Sohn, Reihe WTB Band 59  
21. Auflage des Verlages Friedr.Vieweg + Sohn Braunschweig

[2] G. Sagnac: L'ether lumineux demontre par l'effet du vent relatif d'ether dans un  
interferometre en rotation uniforme, in: Comptes Rendus 157 (1913), S. 708-710

**Anhang:**

Kurze Beschreibung von Sagnac's Experiment:

Eine Lichtquelle auf der Peripherie eines rotierenden Kreises sendet Licht tangential nach vorne und zurück. Einige Spiegel halten die beiden Lichtstrahlen auf einer polygonalen Bahn entlang der Kreisperipherie bis sie an einem gemeinsamen Endpunkt wieder zusammentreffen. In Abhängigkeit von der Rotation wird eine unterschiedliche Phasenverschiebung der beiden Strahlen beobachtet, die Sagnac durch die verschiedenen Zeiten erklärt, die das Licht vor- bzw. zurück benötigt. Dadurch haben beide Strahlen eine verschiedene Geschwindigkeit ( beurteilt vom rotierenden Kreis als ruhendem System ).