the general science journal

Absolutheit der Gleichzeitigkeit im Euklidischen Universum

von

Dieter Prochnow, Berlin
E-mail: du.prochnow@t-online.de

Keywords: Reihenfolge des Geschehens von Ereignissen, Absolutheit der Gleichzeitigkeit, Spezielle Relativitätstheorie, E*uklid*isches Universum, *Galilei* – Zeit, Uhrenzeit, *Lorentz* – Transformation, *Galilei* – Transformation.

The considered work is concerned with the temporal sequence of events in systems of the universe.
Einstein's Special Theory of Relativity (SRT) allows events to take place as well simultaneously in one inertial system as also successively in other inertial systems. Thus, the temporal sequence of events, especially the simultaneity of events, depends as well on systems as on observers (relativity of simultaneity).
In the present work, the relativity of simultaneity in SRT is alternatively considered as property of the four-dimensional spacetime. In this connection, the temporal sequence of events still remains system-dependently but appears independently of observers in the inertial systems.
System-independence can be reached in addition if proper-time of events is used instead of clock time to order the temporal sequence of events. But as the proper time is not the coordinate time of the time-like coordinate of spacetime in SRT, these results, bound up with others, gave rise to establish a *Euclid*ean universe.
In a Euclidean universe, the temporal sequence of events, especially the simultaneity of events, is independent of systems and observers and, moreover, it is a consistent property of space-time (absoluteness of simultaneity).
Einstein's well-known train example originally introduced to prove the relativity of simultaneity is additionally used here to illustrate the absoluteness of simultaneity.

1. Einführung

Einstein hat in seinen Relativitätstheorien das Abbild eines Ereignisses, das ein möglicherweise entfernter, aber unabhängiger Beobachter von diesem Ereignis übermittelt bekam, mit dem Ereignis selbst identifiziert. Auf diese Weise und auf Grund der Relativbewegungen der Systeme zueinander gestattet die Spezielle Relativitätstheorie (SRT), dass Ereignisse in einem Inertialsystem gleichzeitig und in anderen Inertialsystemen nacheinander stattfinden. Die zeitliche Reihenfolge von Ereignissen im *Einstein*schen Universum ist dementsprechend system- und beobachterabhängig (Relativität der Gleichzeitigkeit).
Wir werden nachfolgend zeigen, dass das *Einstein*sche Kriterium zur Konstatierung der Gleichzeitigkeit, auf die vom Autor in [1] gegebene Definition der Gleichzeitigkeit als Eigenschaft der Raumzeit zurückgeführt werden kann. Dabei sind auch Beobachter zugelassen, die lokal und temporär selbst von den betrachteten Ereignissen im System abhängen. Daraus ergibt sich eine von Beobachtern unabhängige zeitliche Reihenfolge der Ereignisse, die aber mit der Raumzeit systemabhängig bleibt. In der SRT muss man also weiterhin von einer Relativität der Gleichzeitigkeit sprechen. Die Systemabhängigkeit der Raumzeit in der SRT resultiert aus der verwendeten *Minkowski* – Metrik und der damit verbundenen *Lorentz* – Transformation.
Es liegt daher nahe, dass zeitliche Reihenfolgen von Ereignissen eher von den Eigenzeiten der Ereignisse als von den Uhrenzeiten bestimmt werden.
In diesen Fall wären zeitliche Reihenfolgen von Ereignissen in allen zulässigen Inertialsystemen gleich, da die Eigenzeitdauer eines Ereignisses selber Invariante der zulässigen Inertialsysteme

in der SRT ist. Allerdings sind Eigenzeiten keine Koordinatenzeiten der die Reihenfolge des Geschehens bestimmenden zeitartigen Koordinate.
Im Gegensatz zu *Einstein* sind wir der Auffassung, dass die zeitliche Reihenfolge Geschehens unmittelbar aus den Eigenschaften der Raumzeit folgen muss - unabhängig von Beobachtern und Relativbewegungen der Systeme zueinander.
Das in [1] vorgestellte *euklid*ische Universum geht davon aus.
Dazu wurde im Rahmen einer alternativen Relativitätstheorie sowohl die Metrik der *Minkowski* – Systeme als auch die systembildende *Lorentz* – Transformation geändert. Die Eigenzeit der Ereignisse in der SRT hat als *Galilei* – Zeit im *euklid*ischen Universum dabei die Funktion einer Koordinatenzeit der zeitartigen Koordinate übernommen.
Die zeitliche Reihenfolge der Ereignisse wird dementsprechend im *euklid*ischen Universum von einer *Galilei* – Zeit bestimmt.

2. Definition und Kriterium der Gleichzeitigkeit

Unser Universum lässt sich vereinfacht als Menge raumzeitlich verteilter *massebeladener Teilchen* verstehen [1]. Die Orte, an denen sich die Teilchen im Universum befinden, gehören zu einem vierdimensionalen Kontinuum, das als *Raumzeit* bezeichnet wird. Die Orte **X** einer Raumzeit N_4 des Universums sind eindeutig durch jeweils 4 reelle Zahlen x^1, x^2, x^3, x^4, den *Koordinaten* der Punkte, bestimmt und werden *Massepunkte* genannt.
Die Raumzeit N_4 von Massepunkten des Universums definiert, verbunden mit einer geeigneten Metrik G ein *System* $\mathbb{S} = (N_4, G)$ des Universums. Teilmengen einer Raumzeit beschreiben Ereignisse des Universums. Massepunkte können daher auch als Elementarereignisse des Universums angesehen werden. Jeder der Massepunkte hat 3 raumartige Koordinaten und eine zeitartige Koordinate (x^4 bezeichnet hier die zeitartige Koordinate).
Kausale Beziehungen zwischen Ereignissen im Universum setzen eine Ordnung der Ereignisse voraus. Diese Ordnung wird durch die zeitartige Koordinate der Massepunkte des vierdimensionalen Universums gewährleistet. Die zeitartige Koordinate hängt ihrerseits linear von einer Koordinatenzeit ab, die alle Ereignisse im Universum in der Reihenfolge ihres Geschehens ordnet.

In einem System $\mathbb{S} = (N_4, G)$ des Universums findet dementsprechend ein Ereignis $\{\mathbf{X}\}$ am dreidimensionalen raumartigen Ereignisort $\mathbf{x} = (x^1, x^2, x^3)$ zur Zeit τ statt, wenn das Elementarereignis $\mathbf{X} = (x^1, x^2, x^3, c \cdot \tau)$ zur vierdimensionalen Raumzeit N_4 von $\mathbb{S}$ gehört: $\mathbf{X} \in N_4$, siehe [1].

$G = (g_{i,j})$ beschreibt dabei den metrischen Tensor der Systeme und bestimmt damit die zugehörende metrische Fundamentalform dieser Systeme:

$$ds^2 = g_{i,j} \cdot dx^i \cdot dx^j , \quad dx^4 = c \cdot d\tau. \tag{1}$$

In einem System $\mathbb{S}$ des Universums geschehen Ereignisse $A = \{\mathbf{X}_A\}$ und $B = \{\mathbf{X}_B\}$ dementsprechend gleichzeitig ($=_S$) beziehungsweise voreinander ($<_S$), wenn

$$\mathbf{X}_A = (x^1_A, x^2_A, x^3_A, c \cdot \tau_{0,A}) \in N_4 \text{ und } \mathbf{X}_B = (x^1_B, x^2_B, x^3_B, c \cdot \tau_{0,B}) \in N_4$$

und die Kriterien (2)

$$A =_S B \Leftrightarrow \tau_{0,A} = \tau_{0,B} \quad \text{oder} \quad A <_S B \Leftrightarrow \tau_{0,A} < \tau_{0,B}$$

erfüllt sind.

In der SRT *Einstein*s [2] wird die im *Minkowski* – Universum mit Uhren gemessene Zeit t_S als Koordinatenzeit der zeitartigen Koordinate (und damit als Inertialzeit) angesehen ($\tau = t_S$). Im *euklid*ischen Universum, das in [1] alternativ zur Relativitätstheorie *Einstein*s auf der Grundlage einer raumzeitbezogenen *Galilei* – Transformation begründet wurde, legt dagegen die *Galilei* –

Zeit t als Koordinatenzeit der zeitartigen Koordinate die Reihenfolge des Geschehens von Ereignissen fest ($\tau = t$).

Anmerkungen (siehe [1]):
Die *Galilei* - Zeitdauer von Ereignissen ist im Allgemeinen nicht direkt messbar, kann aber mit Hilfe der messbaren Uhrenzeitdauer berechnet werden. Die Uhrenzeitdauer fällt im e*uklid*ischen Universum bei geringen Teilchengeschwindigkeiten näherungsweise mit der *Galilei* – Zeitdauer zusammen.
Im Allgemeinen ordnen Uhrenzeiten im *euklid*ischen Universum Ereignisse aber nicht in der Reihenfolge ihres Geschehens, sondern bilden hier ein Maß für die Teilchenweglänge in der vierdimensionalen Raumzeit. Sie kontrollieren daher weder Ursache – Wirkungsbeziehungen von Ereignissen noch die Alterung der Materie. *Galilei* – Zeiten sind speziell dadurch charakterisiert, dass die *Galilei* - Zeitdauer von Ereignissen Invariante aller Systeme des Universums ist.
Bei universell – einseitiger Abhängigkeit der Koordinaten der Raumzeit von der *Galilei* – Zeit könnte man die *Galilei* – Zeit im Sinne *Newton*s auch als „*absolute Zeit*“ bezeichnen.

In einem Universum, das mit einer *Galilei* – Zeit geordnet wird, sind also sowohl Reihenfolge des Geschehens und damit die Gleichzeitigkeit von Ereignissen als auch der Ablauf der Alterung in allen Systemen gleich.

Im *euklid*ischen Universum ist die Gleichzeitigkeit von Ereignissen, die mit Hilfe einer *Galilei* – Zeit gewährleistet wird, daher systeminvariant, beruht dabei auf Definition (2), und kann als absolute Eigenschaft des Universums angesehen werden.

In der SRT ist die zeitliche Reihenfolge von Ereignissen, die hier auf Uhrenzeiten bezogen wird, schwieriger zu beurteilen.
Einstein hat in seinen Relativitätstheorien [2,3] das an einen Beobachter übermittelte Abbild eines Ereignisses mit dem Ereignis selbst identifiziert. Aus dieser Sicht ergibt sich sinngemäß daraus folgendes

Kriterium zur Feststellung der Reihenfolge des Geschehens von Ereignissen

Zwei Ereignisse $A = \{\mathbf{X}_A\}$ und $B = \{\mathbf{X}_B\}$ treten in einem System des Universums gleichzeitig (beziehungsweise voreinander) ein, wenn ein ausgewählter Beobachter im System, die von den Ereignisorten ausgesendeten Lichtsignale gleichzeitig (beziehungsweise voreinander) erhält:

$$A =_S B \Leftrightarrow \tau_A = \tau_B \text{ beziehungsweise } A <_S B \Leftrightarrow \tau_A < \tau_B, \qquad (3)$$

wobei τ_A und τ_B die Ankunftszeiten der Lichtsignale von A beziehungsweise B beim Beobachter sind.

Die Reihenfolge des Geschehens von Ereignissen hängt bei diesem Kriterium im Allgemeinen vom raumartigen Ort und von der Bewegung des Beobachters ab.
Befindet sich beispielsweise im Rahmen der SRT in jedem Inertialsystem ein Beobachter im raumartigen Koordinatenursprung, so können Ereignisse in einem Inertialsystem zur selben Uhrenzeit und in einem anderen Inertialsystem zeitlich nacheinander beobachtet werden.
Einstein nennt das *Relativität der Gleichzeitigkeit*.

Wir werden nachfolgend zeigen, dass sich unter Nutzung des Prinzips der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit ein spezielle räumliche Anordnung der Beobachter in den Inertialsystemen der SRT begründen lässt, die auf der mit (2) gegebenen Definition zur zeitlichen Reihenfolge von Ereignissen als Eigenschaft der Raumzeit beruht, siehe auch [1], und die damit zu einer von Beobachtern unabhängigen Reihenfolge des Geschehens der Ereignisse führt.

Die in diesem Zusammenhang hergeleitete Anordnung der Beobachter wurde unabhängig davon bereits in [2,3] von *Einstein* zur Konstatierung der Gleichzeitigkeit von Ereignissen vorgeschlagen.

3. Varianten der Relativität der Gleichzeitigkeit in der SRT

Die metrische Fundamentalform der *Minkowski* - Systeme

$$ds^2 = dx^\alpha \cdot dx^\alpha - c^2 \cdot dt_S^2$$

vereinfacht sich für ds = 0 bei lichtartigen Ereignissen zu

$$dt_S = |d\mathbf{x}|/c \ , \ d\mathbf{x} = (dx^1, dx^2, dx^3). \qquad (4)$$

Ein von einem raumartigen Ort $\mathbf{x}_0 = (x_0^1, x_0^2, x_0^3)$ zur Uhrenzeit t_{S0} ausgehendes Lichtsignal breitet sich bei fehlender Gravitation kugelförmig aus. Ein Lichtquant (Photon) entfernt sich dabei radial geradlinig von $\mathbf{x}_0$ mit Lichtgeschwindigkeit c.
In diesem Fall kann gezeigt werden, dass sich die Fundamentalform (4) auch in der Form

$$dt_S = \left| d|\mathbf{x} - \mathbf{x}_0| \right|/c \ , \ \mathbf{x} = \mathbf{x}(t_S) \ , \mathbf{x}_0 = \mathbf{x}(t_{S0}) \ , \ t_S \geq t_{S0} \qquad (5)$$

darstellen lässt. Daraus ergibt sich

$$d(t_S \mp |\mathbf{x} - \mathbf{x}_0|/c) = 0 \ \text{ oder } \ t_S \mp |\mathbf{x} - \mathbf{x}_0|/c = \text{const.} \qquad (6)$$

Speziell erhält man für $\mathbf{x} = \mathbf{x}_0$:

$$t_{S0} \mp |\mathbf{x}_0 - \mathbf{x}_0|/c = t_{S0} = \text{const.}$$

Da stets $t_S \geq t_{S0}$ sein muss, erhalten wir in diesem Fall

$$t_S - t_{S0} = |\mathbf{x} - \mathbf{x}_0|/c \ . \qquad (7)$$

als diskretisierte Form von (4).

Auf dieser Grundlage bestimmen wir in einem *Minkowski* – System $\mathbb{S}$ im Rahmen der SRT die Reihenfolge des Geschehens zweier Ereignisse nach Kriterium (3).

Angenommen, ein Ereignis $\mathbf{A} = \{\mathbf{X}_A\}$ findet an einem raumartigen Ort $\mathbf{x}_A = (x_A^1, x_A^2, x_A^3)$ statt und sendet unmittelbar zur Ereigniszeit $t_{S0,A}$ ein kurzes Lichtsignal ab. An einem raumartigen Ort $\mathbf{x}_B = (x_B^1, x_B^2, x_B^3)$ möge ein weiteres Ereignis $\mathbf{B} = \{\mathbf{X}_B\}$ stattfinden und zu seiner Ereigniszeit $t_{S0,B}$ ebenfalls ein Lichtsignal abgeben.
Ausgelöst von den Lichtsignalen bewegen sich Lichtquanten danach geradlinig mit konstanter Lichtgeschwindigkeit c von $\mathbf{x}_A$ beziehungsweise $\mathbf{x}_B$ nach $\mathbf{x}$, dem Ort eines Beobachters.
Der Beobachter kann dann am Ort $\mathbf{x}$ das Eintreffen der von $\mathbf{x}_A$ und $\mathbf{x}_B$ ausgesendeten Lichtsignale zu den Uhrenzeiten t_{SA} und t_{SB} messen. Er erhält auf diese Weise Informationen über die Ereignisse A und B, die bei ihm ein mehr oder minder vollständiges Abbild der Ereignisse formen.
Photone, die von den Orten $\mathbf{x}_A$ und $\mathbf{x}_B$ aus zum Ort $\mathbf{x}$ fliegen, benötigen dafür entsprechend (7) die Uhrenzeit

$t_{SA} - t_{S0,A} = \left| \mathbf{x} - \mathbf{x}_A \right| / c$ beziehungsweise $t_{SB} - t_{S0,B} = \left| \mathbf{x} - \mathbf{x}_B \right| / c$.

Daraus ergibt sich

$$(t_{SA} - t_{SB}) = (t_{S0,A} - t_{S0,B}) + (\left| \mathbf{x} - \mathbf{x}_A \right| - \left| \mathbf{x} - \mathbf{x}_B \right|) / c . \qquad (8)$$

Im Folgenden konkretisieren wir (8) am Beispiel des *Einstein* - Zuges und ermitteln damit die Reihenfolge der Blitzeinschläge in Abhängigkeit von Ort und Bewegung der Beobachter , siehe [2,3].
Dazu betrachten wir als *Minkowski* – Systeme den ruhenden geradlinigen Bahndamm $\mathbb{S} = (N_4, G)$ und den mit konstanter Geschwindigkeit $\mathbf{v}_S = (v_S, 0, 0)$ fahrenden Zug $S' = (N'_4, G)$.

Abhängigkeit der Reihenfolge des Geschehens von Beobachtern und Systemen

In diesem Scenario registriert ein am Bahndamm ruhender Beobachter **M** entlang des Bahndamms die Blitzeinschläge **A** und **B**, die als Ereignisse zu den Uhrenzeiten $t_{S0,A}$ und $t_{S0,B}$ in $\mathbb{S}$ eintreten. Dabei legen wir das Koordinatensystem des ruhenden Bahndammsystem so, dass **M** sich im raumartigen Koordinatenursprung $\mathbf{x}_M$ von $\mathbb{S}$ befindet und die raumartigen Einschlagsorte der Blitze $\mathbf{x}_A$ und $\mathbf{x}_B$ gleichen Abstand vom Beobachter haben, siehe **Abb. 1**:

$$\mathbf{x}_M = (0, 0, 0), \ \mathbf{x}_A = (x_A,0,0) , \mathbf{x}_B = (x_B,0,0) \text{ und } x_B = -x_A > 0 . \qquad (9)$$

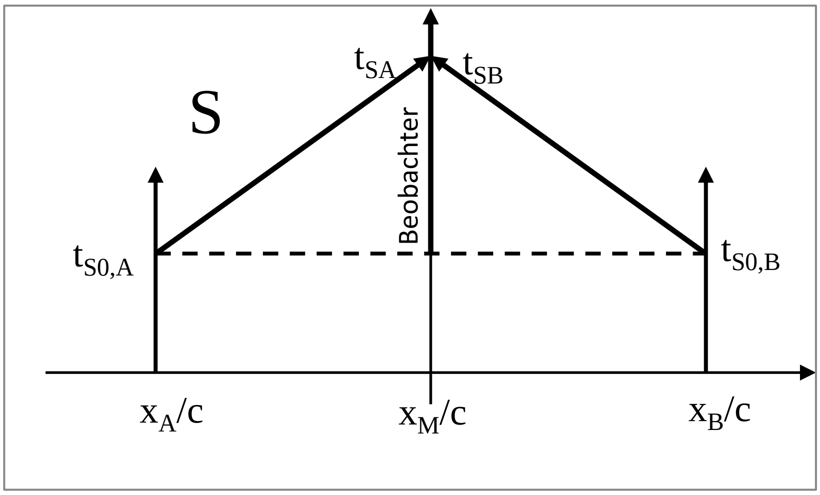

Abb. 1: Im Bahndammsystem $\mathbb{S}$ erhält der Beobachter, der in der Mitte zwischen den Blitzeinschlägen ruht, gleichzeitig das Lichtsignal der Blitzeinschläge bei x_A und x_B.

Im Zugsystem $\mathbb{S}'$ lassen sich die Blitzeinschläge von einem Beobachter **M'**, der sich hier, analog zum Beobachter in $\mathbb{S}$, im raumartigen Koordinatenursprung $\mathbf{x}'_M = (0', 0', 0')$ des Zuges $\mathbb{S}'$ befindet, zu den Zeiten t'_{SA} und t'_{SB} wahrnehmen, siehe **Abb. 2**. Die Blitzeinschläge finden dabei an den Ereignisorten $\mathbf{x}'_A = (x'_A, 0', 0')$ und $\mathbf{x}'_B = (x'_B, 0', 0')$ zu den Ereigniszeiten $t'_{S0,A}$ beziehungsweise $t'_{S0,B}$ statt.
Auf Grund von (9) erhält (8) das Aussehen:

$$(t_{SA} - t_{SB}) = (t_{S0,A} - t_{S0,B}) \text{ in } \mathbb{S}.$$

Mit *Einstein* nehmen wir nun an, dass die Blitzeinschläge **A** und **B** in $\mathbb{S}$ gleichzeitig erfolgen, dass also

$$\mathbf{A} =_S \mathbf{B}$$

gilt, siehe Abb. 1. Nach Kriterium (3) ist dann

$$t_{SA} = t_{SB} \;\text{ in } \mathbb{S}. \tag{10}$$

Der Beobachter **M** am Bahndamm $\mathbb{S}$ müsste dementsprechend das gleichzeitige Eintreffen der Blitzeinschläge messen.
Darüber hinaus ergibt sich hierbei auch, dass die Blitzeinschläge an den voneinander entfernten Ereignisorten zur gleichen Ereigniszeit erfolgen:

$$t_{S0,A} = t_{S0,B} \;\text{ in } \mathbb{S}. \tag{11}$$

Im Zugsystem $\mathbb{S}^{/}$ hat (8) das Aussehen

$$t^{/}_{SA} - t^{/}_{SB} = t^{/}_{S0,A} - t^{/}_{S0,B} + (\,|\, x^{/}_{A} \,| - |\, x^{/}_{B} \,|\,) / c\,. \tag{12}$$

Auf Grund der *Zeitdilatation* besteht zwischen den Zeiten von $\mathbb{S}^{/}$ und $\mathbb{S}$ der Zusammenhang:

$$t^{/}_{S0,A} = t_{S0,A} / ß_S\,,\;\; t^{/}_{S0,B} = t_{S0,B} / ß_S\,,\; ß_S^2 = 1 - v_S^2/c^2\,. \tag{13}$$

Durch Subtraktion der Gleichungen (13) erhalten wir

$$t^{/}_{S0,A} - t^{/}_{S0,B} = (t_{S0,A} - t_{S0,B}) / ß_S \tag{14}$$

und damit wegen (11) auch im Zugsystem:

$$t^{/}_{S0,A} = t^{/}_{S0,B} \;\text{ in } \mathbb{S}^{/}. \tag{15}$$

Die Ereignisorte sind dagegen im Zugsystem nicht mehr gleich weit vom Zugbeobachter entfernt. Auf Grund der *Lorentz* – Transformation gilt:

$$x^{/}_{A} = (\, x_A - v_S \cdot t_{S0,A}\,) / ß_S \text{ und } x^{/}_{B} = (\, x_B - v_S \cdot t_{S0,B}\,) / ß_S\,. \tag{16}$$

Aus (9), (12), (13) und (15) erhalten wir

$$t^{/}_{SA} - t^{/}_{SB} = v_S/c \cdot (\, t^{/}_{S0,A} + t^{/}_{S0,B}\,)\,. \tag{17}$$

Kriterium (3) zur Konstatierung der Gleichzeitigkeit der Blitzeinschläge lautet in $\mathbb{S}^{/}$:

$$(A^{/} =_S B^{/} \Leftrightarrow t^{/}_{SA} = t^{/}_{SB}) \text{ oder } (A^{/} >_S B^{/} \Leftrightarrow t^{/}_{SA} > t^{/}_{SB}) \text{ oder } (A^{/} <_S B^{/} \Leftrightarrow t^{/}_{SA} < t^{/}_{SB}). \tag{18}$$

Daraus folgt hier:

$$A^{/} =_S B^{/} \Leftrightarrow v_S = 0\;,\; A^{/} >_S B^{/} \Leftrightarrow v_S > 0 \text{ und } A^{/} <_S B^{/} \Leftrightarrow v_S < 0. \tag{19}$$

Die Reihenfolge der Blitzeinschläge $A^{/}$ und $B^{/}$ ist, wie (19) zeigt, auf Grund der verwendeten *Lorentz* – Transformation (16) hier von der Relativgeschwindigkeit der Systeme zueinander abhängig, also system- und beobachterabhängig. Die Ereigniszeitpunkte sind gleich: $t^{/}_{S0,A} = t^{/}_{S0,B}$, während die beobachteten Zeitpunkte verschieden gemessen werden: $t^{/}_{SA} > t^{/}_{SB}$.

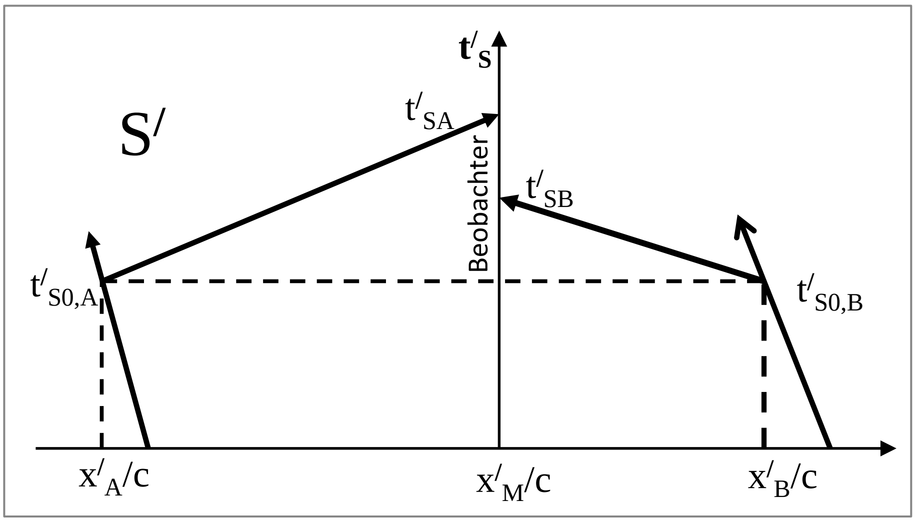

Abb. 2: Im Zugsystem $\mathbb{S}'$ erhält der Beobachter, der hier näher am vorderen Blitzeinschlag im Zug ruht ($x'_B < |x'_A|$), das Lichtsignal vom vorderen Blitz eher als das Signal des hinteren Blitzes. Der vordere Blitz-einschlag findet danach vor dem hinteren Blitzeinschlag statt.

Unabhängigkeit der Reihenfolge des Geschehens von Beobachtern

Wir modifizieren nun das vorherige Scenario, in dem wir Beobachter $\mathbf{M}'$ zulassen, die im Zug-system $\mathbb{S}'$ in Abhängigkeit von den Ereignissen anders lokalisiert sein können als in $\mathbb{S}$, siehe Abb. 3.

Gleichung (8) erhält im System $\mathbb{S}'$ allgemein die Form

$$t'_{SA} - t'_{SB} = t'_{S0,A} - t'_{S0,B} + \left(\left| \mathbf{x}'_M - \mathbf{x}'_A \right| - \left| \mathbf{x}'_M - \mathbf{x}'_B \right| \right) / c.$$

Der Beobachter $\mathbf{M}'$ im Zug kann dann in Abhängigkeit von den Einschlagsorten $\mathbf{x}'_A$ und $\mathbf{x}'_B$ der Blitze im Zug so lokalisiert sein, dass

$$\left| \mathbf{x}'_M - \mathbf{x}'_A \right| = \left| \mathbf{x}'_M - \mathbf{x}'_B \right| \tag{20}$$

gilt. Das bedeutet, er muss sich im Zug zur Realisierung von (20) in der Mitte zwischen den Er-eignissen, hier den Blitzeinschlägen, aufhalten:

$$\mathbf{x}'_M = (\mathbf{x}'_A + \mathbf{x}'_B)/2\ . \tag{21}$$

Die sich hier ergebende Lokalität (21) entspricht dem bereits in [2,3] von *Einstein* formulierten Kriterium für das Konstatieren der Gleichzeitigkeit von Ereignissen.

Das *Einstein*sche Kriterium verbindet Kriterium (3) speziell mit dieser Lokalisierung der Be-obachter und kann dadurch auf die vom Autor bereits in [1] vorgeschlagene Definition (2) zu-rückgeführt werden.

Wir erhalten mit (20) und (21):

$$t'_{SA} - t'_{SB} = t'_{S0,A} - t'_{S0,B}\ . \tag{23}$$

Die zeitliche Reihenfolge des Geschehens von Ereignissen ist daraufhin als Eigenschaft der Raumzeit anzusehen.

Wir betrachten dazu die am *Einstein*schen Zugbeispiel entstehende Reihenfolge der Blitzeinschläge. Nach Definition (2) erhalten wir hier die Kriterien

$$A =_S B \Leftrightarrow t_{S0,A} = t_{S0,B} \text{ in } \mathbb{S} \quad \text{und} \quad A' =_S B' \Leftrightarrow t'_{S0,A} = t'_{S0,B} \text{ in } \mathbb{S}' \qquad (24)$$

für die Gleichzeitigkeit der Blitzeinschläge im Bahndamm- beziehungsweise im Zugsystem.

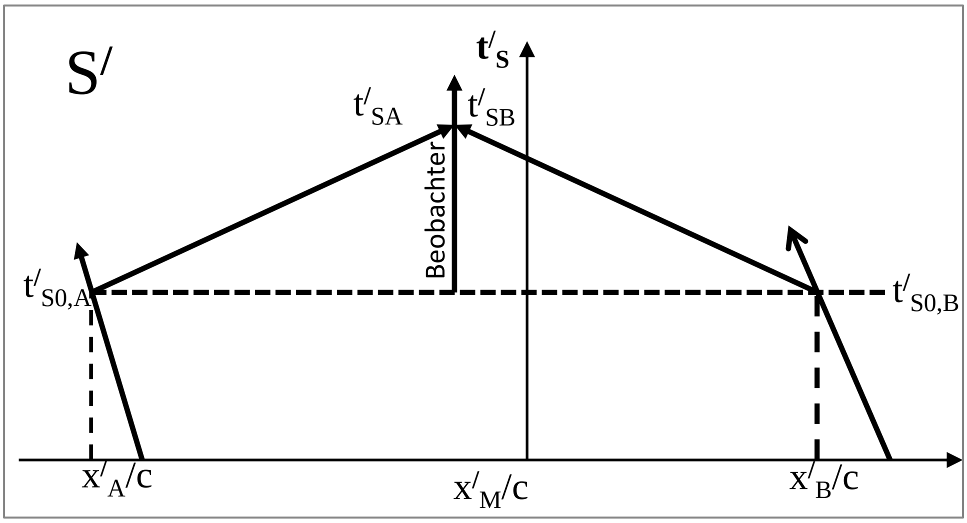

Abb. 3: Die am Bahndamm $\mathbb{S}$ ruhenden Einschlagsorte der Blitze bewegen sich im Zugsystem $\mathbb{S}'$ der Fahrtrichtung entgegengesetzt. Der Beobachter im Zug befindet sich in der Mitte zwischen den Blitzeinschlägen. Er registriert hier Gleichzeitigkeit der Blitzeinschläge.

Dementsprechend erfolgen die Blitzeinschläge auf Grund von (11) und (15) nun in beiden Systemen gleichzeitig und wegen (14) gilt darüber hinaus

$$A =_S B \Leftrightarrow A' =_S B' .$$

Auf Grund von (23) ist die Reihenfolge des Geschehens darüber hinaus unabhängig von Beobachtern.
Man könnte deshalb annehmen, die Gleichzeitigkeit der Ereignisse wäre eine Invariante der zulässigen *Minkowski* – Systeme in der SRT. Das ist jedoch nicht der Fall!
Mit der Systemabhängigkeit der Raumzeiten bleibt auch die Reihenfolge der Ereignisse, speziell die Gleichzeitigkeit, systemabhängig.

Wir illustrieren das mit Hilfe einer weiteren Modifikation des *Einstein*schen Zugbeispiels.
Dazu nehmen wir an, dass der hintere Blitz direkt in den Zug einschlägt, der dabei mit einer Geschwindigkeit $v_S > 0$ den Bahndamm entlangfährt, während der vordere Blitz zur gleichen Zeit (des Zugsystems) den Bahndamm trifft, siehe Abb. 4a:

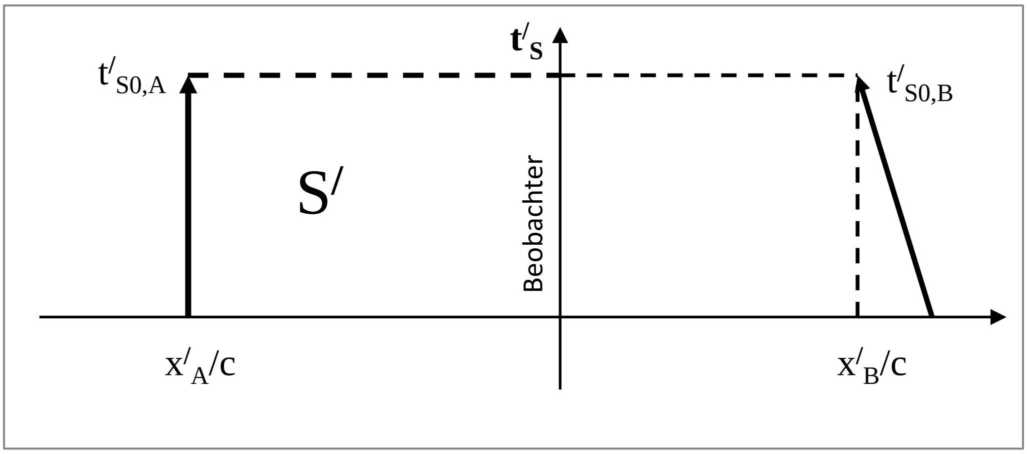

Abb. 4a: Im Einsteinschen Zugsystem kommt der Ort des vorderen Blitzeinschlages dem Beobachter näher, während der Ort des hinteren Blitzeinschlages relativ zum Beobachte ruht. Beide Blitzeinschläge erfolgen davon unabhängig gleichzeitig.

$$t'_{S0,A} = t'_{S0,B} \text{ und damit } A' =_S B' \text{ in } \mathbb{S}'. \tag{25}$$

Die Blitzeinschläge erfolgen im Zugsystem gleichzeitig.
Im Bahndammsystem schlägt Blitz A dagegen später als Blitz B ein, siehe Abb. 4b.

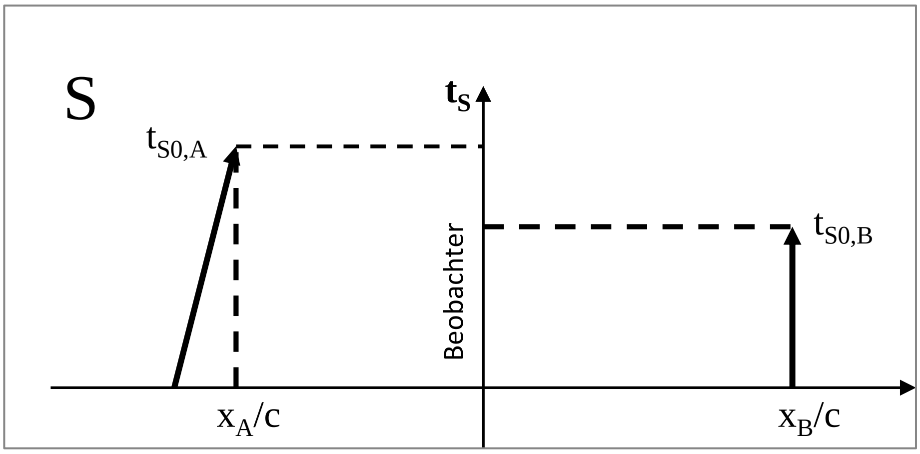

Abb. 4b: Im Bahndammsystem $\mathbb{S}$ des *Einstein*schen Universums nähert sich der Ort des hinteren Blitzeinschlags mit dem fahrenden Zug dem Beobachter, während der Ort des vorderen Blitzeinschlags relativ zum Beobachter ruht.

Es bleibt also auch dann in der SRT bei einer Relativität der Reihenfolge des Geschehens von Ereignissen, wenn die zeitliche Reihenfolge sich zwar unabhängig von Beobachtern einstellt, dafür aber immer noch vom Bezug und von relativen Bewegungen der Systeme zueinander abhängt.

Die Systemabhängigkeit kann dabei auf Grund von Dilatationen der Uhrenzeitdauer von Ereignissen hervorgerufen werden. Wir halten es daher für möglich, dass die zeitliche Reihenfolge des Geschehens im Universum nicht, wie bisher angenommen, durch die Uhrenzeit gesteuert wird, sondern durch einen systeminvarianten Zeitparameter, der keiner Zeitdilatation unterliegt.
Das trifft auf die in [1] definierte *Galilei* – Zeit t zu, die im *euklid*ischen Universum darüber hinaus auch Koordinatenzeit der zeitartigen Koordinate ist.

4. Absolutheit der Reihenfolge des Geschehens im euklidischen Universum

In einem System $\mathbb{S} = (N_4, G)$ des *euklid*ischen Universums [1] sind die Elementarereignisse **X** der Raumzeit N_4 durch vierdimensionale kartesische Koordinaten bestimmt:

$$\mathbf{X} = (x^1, x^2, x^3, x^4) \in N_4 \text{ und } G = (\delta_{i,j}) . \tag{27}$$

Dabei ist $\delta_{i,j}$ das Kronecker – Symbol und G die vierreihige quadratische Einheitsmatrix.
Bei kartesischen Koordinaten erhält die metrische Fundamentalform der Systeme dann entsprechend (1) das Aussehen:

$$ds^2 = dx^i \cdot dx^i . \tag{28}$$

Die zeitartige Koordinate x^4 hängt dabei linear von einer *Galilei* – Zeit t ab:

$$dx^4 = c \cdot dt . \tag{29}$$

Im *euklid*ischen Universum ist t damit Koordinatenzeit von x^4 und dt Invariante aller zulässigen Systeme. Die zeitliche Reihenfolge des Geschehens wird dementsprechend von der *Galilei – Zeit* t bestimmt [1].

Ereignisse A und B, die in einem System des *euklid*ischen Universums zu *Galilei* – Zeiten t_A beziehungsweise t_B stattfinden, ereignen sich in Abhängigkeit von diesen Zeiten entweder nacheinander oder gleichzeitig:

$$A <_S B \Leftrightarrow t_A < t_B \text{ oder } A =_S B \Leftrightarrow t_A = t_B .$$

Darüber hinaus treten Ereignisse in allen zulässigen Systemen des *euklid*ischen Universums in gleicher Weise entweder gleichzeitig ein oder erfolgen in gleicher Reihenfolge nacheinander:

$$A^{/} <_S B^{/} \Leftrightarrow A <_S B \text{ oder } A^{/} =_S B^{/} \Leftrightarrow A =_S B.$$

An Stelle der *Einstein*schen Relativität der Reihenfolge von Ereignissen gilt hier also wieder die Absolutheit der Reihenfolge des Geschehens.

Bei zeitabhängigen Ereignissen ist die Uhrenzeitdauer im *euklid*ischen Universum proportional zur Länge des Weges, den ein Teilchen in dieser Zeit in der vierdimensionalen Raumzeit zurückgelegt hat:

$$ds = c \cdot dt_S \geq 0. \tag{30}$$

In der Raumzeit bewegen sich also alle Körper bezogen auf die Uhrenzeit mit der konstanten Geschwindigkeit c. Da das auch für Lichtquanten (im dreidimensionalen Raum bei dt = 0) gilt, kann der Proportionalitätsfaktor c in (30) als Lichtgeschwindigkeit identifiziert werden.
Die Uhrenzeit t_S ist im *euklid*ischen Universum keine Koordinatenzeit, bestimmt hier also nicht die Reihenfolge des Geschehens und kontrolliert dementsprechend auch nicht Ursache und Wirkung von Ereignissen.

Zeitabhängige Ereignisse können zeitartig (dt > 0) oder lichtartig (dt = 0) sein.
Für zeitartige Ereignisse folgt aus (28), (29) und (30):

$$dt = dt_S \cdot ß_{Su} , \ \beta_{Su}^2 = 1 - \mathbf{u}_S^2/c^2 , \tag{31}$$

wobei $\mathbf{u}_S = d\mathbf{x}/dt_S$ mit $d\mathbf{x} = (dx^1, dx^2, dx^3)$ die auf die Uhrenzeit bezogene raumartige Teilchengeschwindigkeit ist.

Auf Grund von (31) treten auch im *Euklid*ischen Universum Dilatationen der Uhrenzeit auf. *Einstein*s Feststellung „bewegte Uhren gehen langsamer" gilt auf Grund dieser Dilatationen, siehe (13), auch im *Euklid*ischen Universum. Dilatationen der Uhrenzeit tragen hier aber nur scheinbaren Charakter. Es wird sogar vorausgesetzt, dass alle zu Messungen verwendeten Uhren im *Euklid*ischen Universum unabhängig von ihren Bewegungen in zulässigen Toleranzgrenzen stets synchron laufen. Dilatationen im *Euklid*ischen Universum gehen in Wirklichkeit darauf zurück, dass Uhren sich in der vierdimensionalen Raumzeit eines Systems mit konstanter Geschwindigkeit c aber auf Bahnen unterschiedlicher Länge bewegen und dementsprechend dafür mehr oder weniger Uhrenzeit benötigen.
Im folgenden illustrieren wir diesen Sachverhalt am *Einstein*schen Zugbeispiel.

Bei lichtartigen Ereignissen, also für dt = 0, vereinfacht sich die metrische Fundamentalform (28,29) der Systeme, wie in der SRT, siehe (4), zu

$$dt_S = |d\mathbf{x}| / c . \tag{32}$$

Im Gegensatz zur Bestimmung der Reihenfolge des Geschehens in der SRT ermittelt ein Beobachter im *Euklid*ischen Universum auf Grund der Unendlichkeit der auf die *Galilei* – Zeit bezogenen Lichtgeschwindigkeit mit der Messung der Ankunftszeiten der Blitze beim Beobachter zugleich auch die Ereigniszeiten der Blitze. Dabei sind die Messungen des Beobachters unabhängig von seinen Entfernungen zu den Ereignisorten, siehe Abbildungen 5 und 6.

Für das ursprüngliche *Einstein*sche Zugbeispiel ergeben sich im *euklid*ischen Universum auf Grund von (31) bei Festlegung geeigneter Konstanten damit folgende *Galilei* – Zeitpunkte der Blitzeinschläge:

$$t_A = t_{S0,A} \text{ und } t_B = t_{S0,B} \text{ in S , siehe Abb. 5a}$$

sowie

$$t'_A = t'_{S0,A} \cdot \beta_S \text{ und } t'_B = t'_{S0,B} \cdot \beta_S \text{ in } \mathbb{S}' \text{, siehe Abb. 5b.}$$

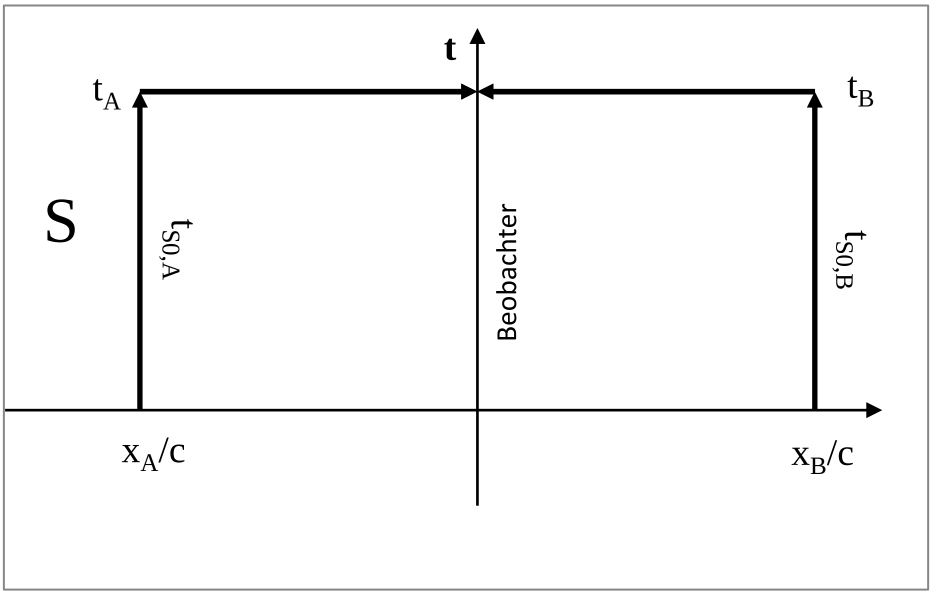

Abb. 5a: Im Bahndammsystem des *Euklid*ischen Universums erfolgen die Blitzeinschläge, auch bezogen auf die *Galilei* – Zeit, gleichzeitig. An den Einschlagsorten im Bahndammsystem stimmt der Gang der Uhren mit dem Lauf der *Galilei* – Zeit überein .

Da t eine *Galilei* – Zeit ist, können wir von $t_A = t'_A$ und $t_B = t'_B$ ausgehen. Mit $t_A = t_B$, siehe (11), gilt dann auch $t'_A = t'_B$. Für die Uhrenzeiten ergeben sich damit Zeitdilatationen (13) und bezogen auf die *Galilei* – Zeit t folgt die Reihenfolge der Ereignisse:

$$A =_S A' \text{ und } B =_S B' \text{ sowie } A =_S B \text{ in } \mathbb{S} \text{ und } A' =_S B' \text{ in } \mathbb{S}'. \qquad (33)$$

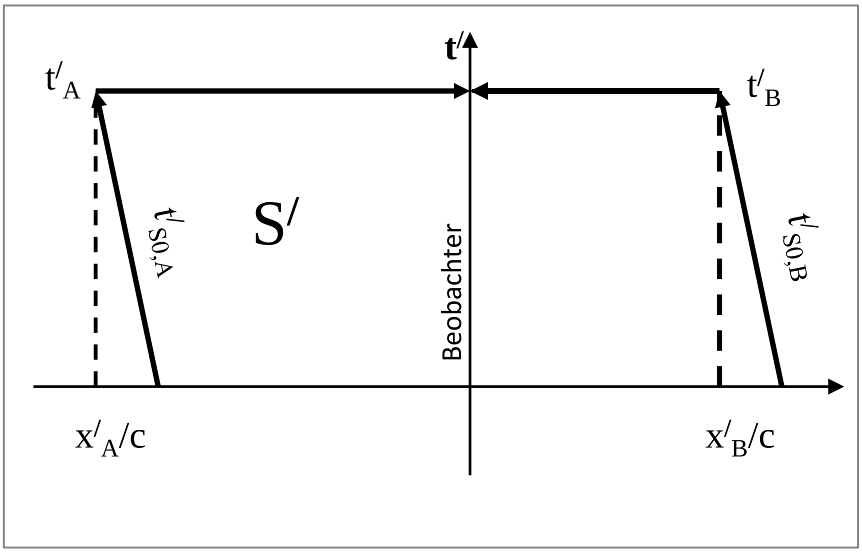

Abb. 5b: Auch im Zugsystem des Euklidischen Universums erfolgen die Blitzeinschläge gleichzeitig und unabhängig von den Entfernungen zum Beobachter. Hier zeigt sich die Beobachter- und Systemunabhängigkeit der Reihenfolge des Geschehens.

Die Blitzeinschläge treffen auf Grund von (33) in beiden Systemen des *euklid*ischen Universums gleichzeitig ein.

Wir betrachten nun das durch (25,26) modifizierte *Einstein*sche Zugbeispiel im *euklid*ischen Universum. Für *Galilei* – Zeiten erhalten wir auf Grund von (31) im Zugsystem $\mathbb{S}'$, siehe Abb. 6a:

$$t'_A = t'_{S0,A} \text{ und } t'_B = t'_{S0,B} \cdot \beta_S \tag{34}$$

sowie

$$t_A = t_{S0,A} \cdot ß_S \text{ und } t_B = t_{S0,B} \tag{35}$$

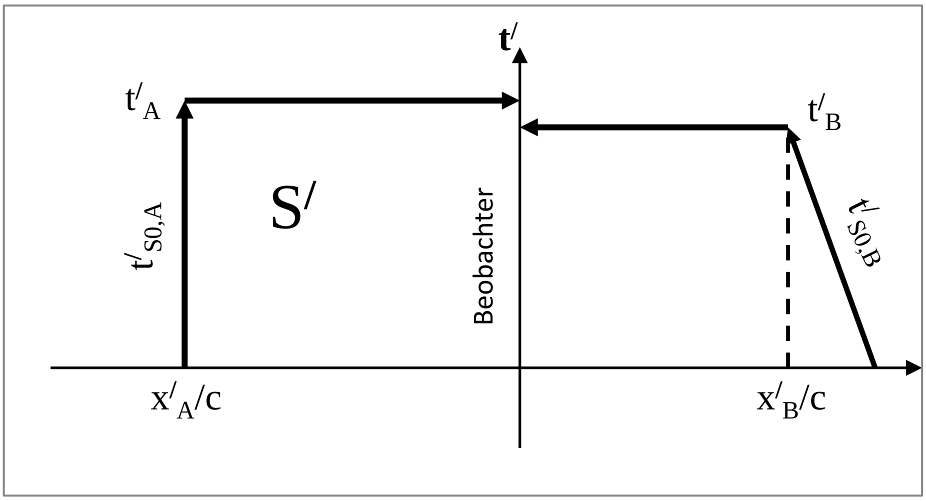

Abb. 6a: Im Zugsystem $\mathbb{S}'$ des *Euklid*ischen Universums finden die Blitzeinschläge beide zur gleichen Uhrenzeit $t'_{S0,A} = t'_{S0,B}$ statt. Da aber der Einschlagsort von Blitz B sich dem Beobachter nähert, erfolgt im Zugsystem Blitzeinschlag B eher als Einschlag A.

im Bahndammsystem $\mathbb{S}$, siehe Abb. 6b, wobei auf Grund der Zulässigkeit der Systeme

$$t'_A = t_A \text{ und } t'_B = t_B \tag{36}$$

vorausgesetzt werden kann. Wegen $t'_{S0,A} = t'_{S0,B}$ und $t_{S0,A} > t_{S0,B}$ ergibt sich daraus:

$$t_A > t_B \text{ und } t'_A > t'_B . \tag{37}$$

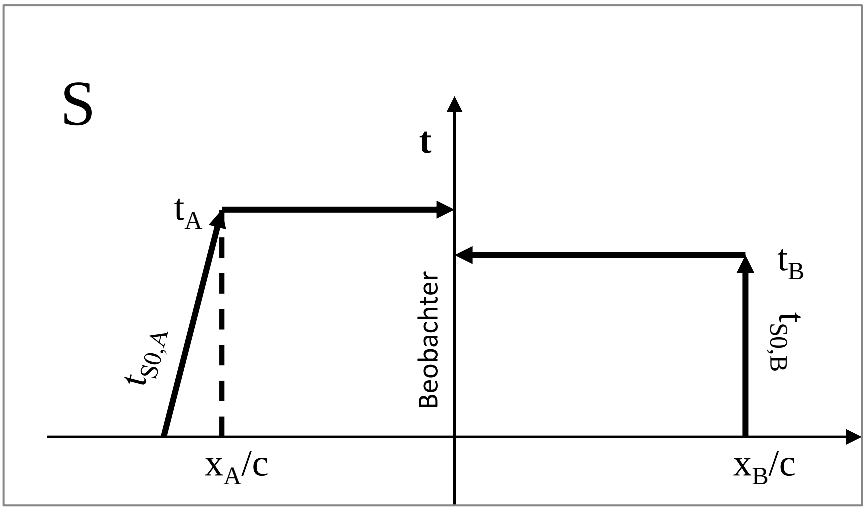

Abb. 6b: Im Bahndammsystem $\mathbb{S}$ nähert sich (mit dem Zug) der Ort des hinteren Blitzeinschlags zwar dem Beobachter. Blitzeinschlag A erfolgt trotzdem aber erst nach dem Einschlag von Blitz B: $t_A > t_B$.

Sowohl im Bahndammsystem als auch im Zugsystem erfolgt der hintere Blitzeinschlag, bezogen auf die *Galilei* - Zeiten der Ereignisse, hier nach dem vorderen Einschlag:

$$B <_S A \text{ in } \mathbb{S} \text{ und } B' <_S A' \text{ in } \mathbb{S}' . \tag{38}$$

5. Fazit

Im Gegensatz zur SRT *Einsteins* ist die zeitliche Reihenfolge des Geschehens, speziell auch die Gleichzeitigkeit von Ereignissen, im *euklid*ischen Universum unabhängig von den sich relativ zueinander bewegenden Systemen des Universums und darüber hinaus auch unabhängig von Beobachtern in den Systemen.

Die Reihenfolge des Geschehens von Ereignissen kann als absolute Eigenschaft des *euklid*ischen Universums charakterisiert werden.

Literatur

1. Prochnow, D.: *Euklid*isches Universum – alternative Relativitätstheorie.
   General Science Journal Nr. 3642 (2011)
2. Einstein, A.: Zur Elektrodynamik bewegter Körper. Ann. Phys. **17**, 891-1021 (1905)
3. Einstein, A.: Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie.
   Springer – Verlag, Berlin Heidelberg 2009 (24. Auflage)