

Was haben Tycho und Albert miteinander gemein ?

- Prager Reminiszenzen -

von

Joachim Meyer

„Die Geschichte lehrt uns, daß wir aus
der Geschichte nichts lernen.“

(Max Thürkauf)

Was haben Tycho und Albert miteinander gemein? – Eine allgemein anerkannte Antwort auf diese Frage ist: Beide lebten und arbeiteten eine Zeitlang in Prag. Jede andere, von der anerkannten Meinung abweichende Antwort wäre Ketzerei. In einem solchen Fall redet man besser über das Wetter.

Wenn es geregnet hat, ist die Erde naß.

Aus diesem Erfahrungssatz folgt jedoch nicht die Umkehrung. Wenn die Erde naß ist, muß es nicht unbedingt geregnet haben. Jemand könnte auch aus einer Gießkanne Wasser ausgegossen haben. Indes folgt das jeweils Entgegengesetzte der Umkehrung. Wenn die Erde trocken ist, hat es nicht geregnet. Die logische Struktur dieses Schlusses ist, kurz gesagt:

Wenn A → B ,
dann \bar{B} → \bar{A} .

(\bar{A} und \bar{B} kennzeichnen das Gegenteil von A und B).

Mit der gleichen Logik konstruierte Tycho vor rund 400 Jahren mittels eines Gedankenversuches einen „Beweis“, daß die Erde sich nicht bewegen könne (vgl. z.B. Dijksterhuis, 1956; S. 395f.). Dabei argumentierte er wie folgt. Angenommen, eine Kanone schieße Kanonenkugeln in unterschiedliche Richtungen. Wenn nun die Erde sich unter den frei fliegenden Kanonenkugeln hinweg bewegen würde, müßten die Aufschlagpunkte entgegen der Richtung der Erdbewegung verschoben sein; für eine Bewegung oder Rotation ostwärts mithin verschoben nach Westen. Die Annahme einer sich bewegenden Erde ließe eine Verschiebung der Aufschlagpunkte erwarten, von der objektiv nichts zu beobachten ist. „Und also haben wir eindeutig und mit größter Schärfe gezeigt, wie unhaltbar die Annahme einer sich bewegenden Erde ist.“

Heute wissen wir, daß Tychos Schlußfolgerung, obwohl an sich logisch, nichtsdestoweniger falsch ist. Doch bedeutet dies keineswegs, daß reine Logik in der Naturwissenschaft nicht immer anwendbar sei. Vielmehr zeigt gerade die weitere logische Analyse von Tychos Argumentierung, *warum* es sich dabei um einen Scheinbeweis handelt. Denn neben der Annahme einer sich bewegenden Erde wird von Tycho beim Schluß auf die zu erwartende Beobachtung eine zweite Annahme implizit hineingesteckt, die er für so selbstverständlich hält, daß er sie nicht einmal erwähnt. Es ist die Annahme, daß die Geschwindigkeit (und darüber hinaus der ganze Flug) der Kanonenkugel unabhängig von der Bewegung der Erde bzw. der Kanone sei. Tatsächlich ist es diese zweite Annahme, die durch den negativen Ausfall des „Versuchsergebnisses“ widerlegt ist. Die logische Struktur der modernen Interpretation von Tychos Gedankenversuch ist wie folgt. Die zwei Annahmen von der Bewegung der Erde *und* der Unabhängigkeit der Kanonenkugelgeschwindigkeit von der Bewegung der Kanone ließen eine bestimmte Beobachtung erwarten, nämlich eine Verschiebung der Aufschlagpunkte. Das Ausbleiben dieser Beobachtung widerlegt zumindest eine der beiden Annahmen (nicht notwendigerweise beide). Kurz gesagt:

Wenn A1 und A2 → B ,
dann \bar{B} → $\bar{A1}$ oder $\bar{A2}$ (oder beides).

(Wenn es geregnet hat *und* kein Dach über dem Boden ist, ist die Erde naß. Daraus folgt, daß, wenn die Erde trocken ist, es *entweder* nicht geregnet hat *oder* ein Dach über dem Boden ist; oder beides. Wenn also die Erde trocken ist und man sicher sein kann, daß es geregnet hat, dann darf man nicht nur, sondern muß man schließen, daß ein Dach über dem Boden ist.)

Tycho hält an der Annahme fest, daß die Kanonenkugelgeschwindigkeit unabhängig von der Bewegung der Kanone sei. Mithin schließt er, daß die andere Annahme, die Annahme einer Bewegung der Erde, widerlegt ist. Heute wissen wir, daß die Alternative die richtige Schlußfolgerung ist. Da wir sicher sein können, daß die Erde sich bewegt (Nachweis durch Aberration des Sternenlichtes, Foucaultsches Pendel etc.), müssen wir aus dem empirischen Befund einer nicht zu beobachtenden Verschiebung der Aufschlagpunkte (später verallgemeinert zum Galileischen „Relativitätsprinzip“) auf die *Abhängigkeit* der Kanonenkugelgeschwindigkeit von der Bewegung der Kanone schließen. Weiter müssen wir schließen, daß diese Abhängigkeit gerade so ist, daß sie einer Vektoraddition der Geschwindigkeiten entspricht. (Denn in jedem anderen Fall müßte eine gewisse Verschiebung der Aufschlagpunkte zu beobachten sein).

Mit anderen Worten: Das Relativitätsprinzip der Mechanik als empirischer Befund ist dem Prinzip von der Vektoraddition der Geschwindigkeiten äquivalent. Beides sind notwendige und hinreichende Bedingungen für einander. Physikalische (d.h. dynamische) Ursache beider ist die Trägheit der Masse.

Tycho, der nichts von der Trägheit der Masse wußte und deshalb annehmen konnte, daß die Geschwindigkeit der Kanonenkugel unabhängig von der Geschwindigkeit der Kanone sei, schloß, daß die Erde sich nicht bewegen könne. Seine kinematische Theorie des Planetensystems, die dementsprechend ausgeht von einer ruhenden Erde, aber nichtsdestoweniger in hoher Übereinstimmung steht mit den Beobachtungen, stellt somit eine formale *Eliminierung* der Erdbewegung dar, bei der jeder Effekt, der durch die tatsächliche Bewegung der Erde entsteht, transformiert wird auf ein geozentrisches, ruhendes Bezugssystem, d.h. auf das Bezugssystem des Beobachters.

Soweit dürfte wohl allgemeine Übereinstimmung herrschen. Indes, die meisten Naturwissenschaftler haben ein kurzes Gedächtnis. Sie betreiben Geschichte, wenn überhaupt, wie ein Chronist, ohne aus der Geschichte zu lernen.

Ersetzt man die Kanone durch eine Lichtquelle und die Kanonenkugel durch eine Lichtwelle, dann entspricht Tychos Gedankenversuch im Prinzip dem Versuch von Michelson und Morley. Nur ein voreingenommener Betrachter könnte meinen, einen Unterschied darin zu sehen, daß bei einem realen Kanonenschuß auf der sich drehenden Erde die Kanonenkugel auf ihrer Flugbahn zusätzlichen Trägheitskräften (Zentrifugal- und Corioliskraft) unterliegt und eben deshalb bei Tycho – anders als beim Michelson-Versuch – doch ein positiver Effekt feststellbar ist. Dem ist entgegenzuhalten, daß grundsätzlich in beiden Fällen zu unterscheiden ist zwischen der theoretischen Konzeption des Versuches bei geradliniger Bewegung (bzw. dem Gedankenversuch bei Tycho) und dessen tatsächlicher Durchführung auf der sich drehenden Erde. Die Theorie des Michelson-Versuchs involviert geradlinige Bewegungen und entspricht damit dem reinen Gedankenversuch von Tycho. Wenn unter diesen theoretischen Bedingungen beim Michelson-Versuch am strengen Nullergebnis festgehalten wird (gemäß auch der Lorentz-Transformation), dann bedeutet dies, daß letztlich auch beim realen Michelson-Versuch auf der sich drehenden Erde, bei entsprechend gesteigerter Meßgenauigkeit, ein kleiner positiver Effekt feststellbar sein muß. Erst dieser Effekt entspräche den meßbaren Abweichungen bei der Flugbahn der Kanonenkugel. Die genauere Analyse des Gedankenversuchs von Tycho und des Michelson-Versuchs ergibt somit nicht nur eine vollkommene Analogie beider, sondern führt darüber hinaus zu einer ganz konkreten Voraussage. – Trotzdem sei hier besonders betont, daß es sich im folgenden keineswegs um einen reinen Analogieschluß handelt, sondern – was wesentlich schwerer wiegt – um analoge strenge Folgerungen mit genau der gleichen logischen Struktur.

Die zwei Annahmen von der Bewegung der Erde *und* der Unabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit von der Bewegung der Lichtquelle ließen eine bestimmte Beobachtung erwarten, nämlich eine Verschiebung der Interferenzstreifen. Das Ausbleiben dieser Beobachtung widerlegt zumindest eine der beiden Annahmen. Da wir sicher sein können, daß die Erde sich bewegt, müssen wir aus dem empirischen Befund einer nicht zu beobachtenden Streifenverschiebung (verallgemeinert zum „Relativitätsprinzip der Optik“) auf die *Abhängigkeit* der Lichtgeschwindigkeit von der Bewegung der Lichtquelle schließen. Weiter müssen wir schließen, daß diese Abhängigkeit gerade so ist, daß sie einer Vektoraddition der beiden Geschwindigkeiten entspricht. (Denn in jedem anderen Fall müßte eine gewisse Verschiebung der Interferenzstreifen zu beobachten sein).

Mit anderen Worten: Das Relativitätsprinzip der Optik (und Elektrodynamik) als empirischer Befund ist dem Prinzip von der Vektoraddition der Geschwindigkeiten äquivalent. Beides sind notwendige und hinreichende Bedingungen für einander. Physikalische (d.h. dynamische) Ursache beider Prinzipien ist die Trägheit der Energie.

Es wäre demnach nicht nur unlogisch, sondern geradezu falsch, aus dem negativen Ausfall des Michelson-Versuchs zu *schließen*, daß die Lichtgeschwindigkeit unabhängig von der Bewegung der Lichtquelle sei, obwohl dies in den Lehrbüchern allgemein suggeriert wird (vgl. Holton, 1981). Wo diese scheinbare Schlußfolgerung

gezogen wird, beruht sie auf einer Vermischung der Beschreibungen in verschiedenen Bezugssystemen sowie auf einem falsch verstandenen Relativitätsprinzip. Das mechanische Analogon wäre: aus dem empirisch verifizierten Relativitätsprinzip der Mechanik – d.h. aus der Tatsache, daß die gemessene Geschwindigkeit der Kanonenkugel (unter den Bedingungen von Tychos Gedankenversuch) stets die gleiche ist, wie immer die Geschwindigkeit der Erde sein mag – zu schließen, daß die Geschwindigkeit der Kanonenkugel unabhängig sei von der Bewegung der Kanone, während gerade das Gegenteil die korrekte Schlußfolgerung ist. *Unabhängigkeit* von der (geradlinigen und gleichförmigen) Bewegung der Quelle *im mitbewegten Bezugssystem* (d.h. das Relativitätsprinzip) bedeutet zugleich *Abhängigkeit* im Sinne einer Vektoraddition der Geschwindigkeiten *in irgendeinem „Ruhsystem“*.

Historisch gesehen, haben jedoch weder Michelson noch Einstein diese falsche Schlußfolgerung als solche gezogen (siehe Holton, 1981). Da der Michelson-Versuch konzipiert war, um die Existenz eines Äthers nachzuweisen, dies aber nicht konnte, bezeichnete Michelson sein negatives Ergebnis zunächst als einen Fehlschlag. Lorentz war der erste, der für das Nullergebnis eine konsistente Interpretation gab, noch ganz auf der Grundlage des Ätherkonzeptes, indem er die Maßeinheiten für Länge und Zeit in einer Weise änderte – man kann auch sagen anpaßte – daß der Effekt in der Theorie *eliminiert* wird. (Es dürfte nicht unwichtig sein, darauf hinzuweisen, daß das Konzept eines Äthers in der Elektrodynamik schlechthin der Annahme einer universellen Lichtgeschwindigkeit entspricht, die unabhängig ist von der Bewegung der Lichtquelle). Das Konzept des Äthers war auch in der Folgezeit so mächtig, daß selbst Einstein das wichtigste Charakteristikum des Äthers beibehielt. Er folgerte nicht, sondern nahm ganz einfach als gegeben an bzw. „postulierte“, daß die Lichtgeschwindigkeit unabhängig von der Bewegung der Lichtquelle sei, im Gegensatz zu dem, was die korrekte Folgerung aus dem Michelson-Versuch gewesen wäre. (Inwiefern die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit als ein empirisches Prinzip hingestellt wird, beruht dies, wie beschrieben, auf einer Vermischung von Beschreibungen in verschiedenen Bezugssystemen, unbeschadet der diversen nachträglichen „Bestätigungen“. Bestätigungen, die ihrer Natur nach Interpretationen im Rahmen einer vorgegebenen Theorie sind, können niemals empirische Grundlage dieser Theorie sein; siehe auch unten. Einstein selbst hat zeitlebens einen genetischen Zusammenhang zwischen dem Michelson-Versuch und seiner Theorie geleugnet, vgl. Holton, 1981). Seine kinematische Theorie der Elektrodynamik bewegter Körper (die spezielle Relativitätstheorie), die nichtsdestoweniger in hoher Übereinstimmung mit den Beobachtungen steht, erweist sich somit ebenfalls als eine formale *Eliminierung* einer Relativbewegung der Lichtquelle, bei der jeder Effekt, der durch die Bewegung der Lichtquelle entsteht, transformiert wird auf das Bezugssystem des Beobachters mit ruhender Lichtquelle. (Bewegte Lichtquellen werden zu jedem Zeitpunkt als quasi-ruhend behandelt). Die Theorie gibt keine Beschreibung der tatsächlichen Vorgänge.

Der formalen Eliminierung der eigentlichen Bewegungen entspricht die Tatsache, daß die Maxwell'schen Gleichungen invariant sind gegenüber der Lorentz-Transformation. Die Invarianz selbst ist ein mathematischer *Satz*. Sie besagt, daß, wenn die Maxwell'schen Gleichungen überhaupt in irgendeinem kräftefreien Koordinatensystem (Inertialsystem) gelten, sie gleichermaßen auch in jedem anderen Inertialsystem, das sich relativ zum ersten mit konstanter Geschwindigkeit bewegt, gültig sind, sofern die Lorentz-Transformation beim Übergang vom einen zum anderen System benutzt wird. Die Invarianz als mathematischer Satz bedeutet, daß ein etwaiges widersprüchliches Beobachtungsergebnis keinesfalls die formale Gültigkeit der Transformationsformeln und deren mathematische Funktion widerlegen würde. (Mathematische Sätze können prinzipiell nicht Gegenstand experimenteller Prüfung sein). Es würde die Gültigkeit der *Maxwell'schen Gleichungen* widerlegen. Die logische Struktur dieser Schlußfolgerung ist wiederum:

$$\begin{array}{l} \text{Wenn} \quad A \rightarrow B \quad , \\ \text{dann} \quad \bar{B} \rightarrow \bar{A} \quad , \end{array}$$

wobei A die Maxwell'schen Gleichungen repräsentiert und der erste Pfeil eine Folgerung bedeutet, die mit den Formeln der Lorentz-Transformation abgeleitet worden ist; B ist das „vorhergesagte“ Beobachtungsergebnis.

Da an der grundsätzlichen Gültigkeit der Maxwell'schen Gleichungen im Laborsystem kein Zweifel besteht, sind die zahlreichen Bestätigungen der Relativitätstheorie sämtlich ohne besondere Bedeutung. Sie bestätigen die Gültigkeit der Maxwell'schen Gleichungen, nicht die physikalische Realität der Transformationsformeln oder einer ihrer Interpretationen. So wie den zahlreichen richtigen Berechnungen von Planetenörtern, Vorhersagen von Sonnen- und Mondfinsternissen etc. mit dem mittelalterlichen geozentrischen Weltbild keinerlei Beweiskraft zukam hinsichtlich der Realität der darin verwickelten Epizykeln.

Ab-schließend ergibt sich eine überraschende Antwort auf die eingangs gestellte Frage, was Tycho und Albert miteinander gemein haben: Sie beide waren nicht bereit, die Abhängigkeit der Geschwindigkeit emittierter Substanzen (Masse bzw. Lichtenergie) von der Geschwindigkeit der emittierenden Quelle zu akzeptieren und

brachten infolgedessen eine Theorie heraus, bei der die Bewegung dieser Quelle – der Kanone auf der Erde bzw. der Lichtquelle – *eliminiert* wird. Kurz:

Beide haben das Relativitätsprinzip nicht verstanden.

Trotzdem haben sie beide Ehren und Reichtümer geerntet. – Johannes Kepler, an dessen Wohnung in Prag nur eine kleine Gedenktafel erinnert, mußte sich mit wesentlich bescheideneren Verhältnissen begnügen. Er wußte, daß er auf dem richtigen Wege war, als er seine Planetengesetze ausarbeitete auf der Grundlage des heliozentrischen Weltbildes, das damals noch von den meisten Autoritäten abgelehnt wurde. Er fragte nicht nach der Meinung der Fachzunft. Er arbeitete im stillen und tat seine Pflicht. Nichts anderes tut mancher auch heut. – Die Aufgabe ist zu allen Zeiten die gleiche: „Nicht von Anfang an haben die Götter den Sterblichen alles Verborgene gezeigt, sondern allmählich finden sie suchend das Bessere“ (Xenophanes).

Literatur

Dijksterhuis, E.J.: Die Mechanisierung des Weltbildes. Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1956.

Holton, G.: Thematische Analyse der Wissenschaft. Die Physik Einsteins und seiner Zeit. Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft 293, Frankfurt/M. 1981; pp. 255-371: Einstein, Michelson und das experimentum crucis.