

Übersetzung von A. K. T. Assis, „Consequences of relational time“, Proceedings of the Natural Philosophy Alliance (Lulu Press, 2011), Volume 8, pp. 36-39 (18<sup>th</sup> Annual Conference of the NPA, 6-9 July 2011 at the University of Maryland, College Park, USA). Available in pdf at: <http://www.ifi.unicamp.br/~assis/>

Übersetzung aus dem Englischen (2013):

Dr. Manfred Pohl

Mail: [unipohl@aol.com](mailto:unipohl@aol.com)

Netz: [www.unipohl.de](http://www.unipohl.de)

### **Konsequenzen der relationalen Zeit**

A. K. T. Assis

Institute of Physics 'Gleb Wataghin', University of Campinas - UNICAMP

13083-859 Campinas, SP, BRAZIL

E-mail: [assis@ifi.unicamp.br](mailto:assis@ifi.unicamp.br)

Homepage: <http://www.ifi.unicamp.br/~assis/>

Es gibt zwei konkurrierende Formulierungen der Zeit in der Physik. Newton verteidigte in der *Principia* die Nutzung der absoluten Zeit, die, wie er sagt „gleichmäßig fließt, ohne Bezug auf etwas Äußeres.“ Auf der anderen Seite war Leibniz gegen dieses Konzept und schlug vor, sie durch die relative Zeit zu ersetzen: „Meine Meinung, die ich mehr als einmal geäußert habe, ist, daß ich den Raum für etwas nur relatives halte, wie es auch die Zeit ist, daß ich ihn für eine Anordnung von Koexistenzen halte, wie ich die Zeit für eine Aufeinanderfolge von Abläufen halte.“ Leibniz' Ideen wurden von Ernst Mach in seinem Buch *The Science of Mechanics (Die Mechanik in Ihrer Entwicklung Historisch-Kritisch Dargestellt)* angenommen und entwickelt. Mach hat vorgeschlagen, Newtons absolute Zeit durch den Drehwinkel der Planeten relativ zu den Fixsternsystem zu ersetzen.

In dieser Arbeit betrachten wir die Implementierung der relationalen Zeit und ihre Folgen für die Physik. Wir konzentrieren unsere Auswertung auf ein Phänomen, nämlich die Abplattung der Erde aufgrund ihrer Tagesdrehung. Wir betrachten die Gestalt der Erde in der Newtonschen Mechanik. Wir verweisen auf einige philosophische Probleme mit den klassischen Formulierungen. Dann betrachten wir die Abplattung der Erde aus der Sicht der relationalen Mechanik, die eine mathematische Umsetzung des Mach-Prinzips unter Benutzung von Webers Gravitationsgesetz ist.

## 1. Einleitung

Isaac Newton (1642-1727) stellte zwei Konzepte der Zeit in seinem Buch *Mathematische Prinzipien der Naturphilosophie* vor, bekannt auch durch seinen früheren lateinischen Namen *Principia*, zuerst im Jahr 1687 veröffentlicht [1]: „Die absolute, wahre und mathematische Zeit, aus sich selbst und von ihrer eigenen Natur, fließt gleichmäßig, ohne Bezug auf etwas Äußeres, unter anderem Namen Dauer genannt: Die relative, scheinbare und allgemein übliche Zeit, ist ein wahrnehmbares und externes (ob richtig oder nicht) Maß der Dauer durch Bewegung, die gewöhnlich anstelle der wahren Zeit verwendet wird; wie etwa eine Stunde, ein Tag, ein Monat, ein Jahr“.

In seinen Axiomen oder Bewegungsgesetzen sollte nur die absolute Zeit verwendet werden.

Leibniz (1646–1716) hat die Benutzung der absoluten Zeit Newtons in der Physik nie akzeptiert. Er behauptete, daß die Zeit von den Dingen abhängt, indem sie die Abfolge aufeinanderfolgender Erscheinungen ist. Es gibt einen bedeutenden Briefwechsel zwischen Leibniz und Clarke (1675-1729), einem Schüler von Newton, der zwischen 1715 und 1716 stattfand. Leibniz sagte im vierten Absatz seines dritten Briefes an Clarke folgendes [2]: „Meine Meinung, die ich mehr als einmal ausgedrückt habe, ist, daß ich den Raum für ausschließlich relativ halte, wie auch die Zeit, ich halte ihn für die Anordnung von nebeneinander Existierendem, so wie die Zeit eine Anordnung von Abfolgen ist.“

Ernst Mach (1838–1916) lehnte ebenfalls die Verwendung der absoluten Zeit in der Physik ab. Seine Standpunkte hinsichtlich der Zeit wurden auf den Seiten 273, 287 und 295 seines Buches *The Science of Mechanics (Die Mechanik in Ihrer Entwicklung Historisch-Kritisch Dargestellt)* deutlich, erstveröffentlicht im Jahre 1883. Er schlug vor, die Zeit, die sich in den Newtonschen Bewegungsgesetzen befindet, durch den Rotationswinkel der Planeten in bezug auf die Fixsterne zu ersetzen. Zum Beispiel schrieb er auf Seite 295 seines Buches folgendes [3]: „Wir messen die Zeit durch den Winkel der Erdrotation, aber wir könnten sie genauso gut durch den Drehwinkel eines anderen Planeten messen.“

Hinsichtlich des Zeitkonzepts stimmen wir mit Leibniz und Mach überein. Dennoch werden wir in dieser Arbeit den Ausdruck „relationale Zeit“ statt „relative Zeit.“ benutzen. Es gibt zwei Hauptgründe für diese Wahl: (a) Um Verwechslungen mit dem Zeitkonzept zu vermeiden, das in der speziellen und der allgemeinen Relativitätstheorie Einsteins erscheint. (b) Um quantitativ eine Formulierung der relationalen Mechanik zu erfüllen, die das Mach-Prinzip beinhaltet [4] und [5].

In dieser Arbeit betrachten wir die Anwendung der relationalen Zeit in der Physik. Unser Ziel ist es, die Folgen zu zeigen, die mit dieser Anwendung entstehen.

## 2. Die relationale Zeit

Wir betrachten die materiellen Objekte als die primären Einheiten der Physik. Die grundlegenden und primitiven Konzepte sind: (a) Die schwere Masse, (b) die elektrische Ladung, (c) der Abstand zwischen Materieobjekten, (d) die Kraft oder die Wechselwirkung zwischen Materieobjekten. Wir definieren diese grundlegenden Konzepte nicht, weil wir einen Teufelskreis vermeiden wollen. Die primitiven Konzepte sind notwendig, um komplexe Konzepte zu definieren.

Es steht fest, daß sich die Positionen der Objekte untereinander verändern, sie sind nicht fest. Die Änderungen der Objekte führen zu einem abstrakten Konzept, dem der relationalen Zeit. Relationale Zeit ist eine Abstraktion des Menschen, zu der wir durch die Veränderungen der Objekte kommen. Sie ist ein Maß der Laufzeit durch die gegenseitigen Bewegungen der Objekte untereinander.

Mach gibt eine sehr klare Aussage auf Seite 273 seines Buches [3]: „Es ist völlig außerhalb unserer Macht, die Änderungen der Objekte in der Zeit zu messen. Ganz im Gegenteil, die Zeit ist eine Abstraktion, zu der wir durch die Veränderungen der Objekte gelangen; sie ergibt sich, weil wir nicht auf eine bestimmte Messung begrenzt sind, die alle miteinander verbunden sind. Eine Bewegung nennt man gleichförmig, in der gleiche Inkremente des Raumes die entsprechend gleichen Inkremente des Raumes beschreiben, welche sich durch irgendeine Bewegung abbilden, mit denen wir einen Vergleich vornehmen, wie die Drehung der Erde. Eine Bewegung kann in bezug auf eine andere Bewegung gleichartig sein. Aber die Frage, ob eine Bewegung in sich gleichartig ist, ist sinnlos. Mit demselben Recht können wir auch nicht von der „absoluten Zeit“ sprechen – also von einer Zeit, unabhängig von der Änderung. Diese absolute Zeit kann durch den Vergleich mit keiner Bewegung

gemessen werden, sie hat also weder einen praktischen noch einen wissenschaftlichen Wert, und niemand kann sagen, daß er irgend etwas darüber weiß. Es ist eine leere metaphysische Auffassung.“

Wir sind uns einig, daß wir nur eine Bewegung mit einer anderen Bewegung vergleichen können. Hier wollen wir die Folgen dieses Standpunktes für die Physik als Ganzes zu analysieren. Unseren Vergleich führen wir mit der Newtonschen Physik, in der die Bewegung der Objekte in der absoluten Zeit gesehen wird, die keinen Bezug zu etwas Äußerem hat.

### 3. Die Bewegung in der Newtonschen Mechanik

In diesem Abschnitt betrachten wir Bewegung nach der Newtonschen Mechanik.

Lassen Sie uns die Abplattung der Erde analysieren. Die Erde hat eine durchschnittliche Massendichte  $\rho_E$  von  $\rho_E = 5,5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ . Aufgrund ihrer Tagesrotation um die Nord-Süd-Richtung nimmt die Erde im wesentlichen die Form eines Rotationsellipsoids an. Mit einer Periode von einem Tag ist die Winkelgeschwindigkeit der Erde relativ zu einem Inertialsystem durch  $\omega_d = 7,3 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$  gegeben. In dem Lehrsatz XIX des dritten Buches der *Principia* berechnet Newton die Gestalt der Erde. Er folgerte, daß ihr Durchmesser am Äquator zu ihrem Durchmesser von Pol zu Pol wie 230 zu 229 war. Das heißt, der Durchmesser von Ost nach West wäre 0,4% größer als der Durchmesser von Nord nach Süd. Nennen wir  $d_E$  den Durchmesser der Erde am Äquator,  $d_P$  ihren Durchmesser von Pol zu Pol und  $f$  ihr Abplattungsverhältnis. Nach der Newtonschen Mechanik und der Nutzung des internationalen Einheitensystems (in denen die universelle Gravitationskonstante  $G$  den Wert  $G = 6,7 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg}^1 \text{ s}^2$  hat), ist das Abplattungsverhältnis gegeben durch:

$$f \equiv \frac{d_E - d_P}{d_P} \approx \frac{15\omega_d^2}{16\pi \cdot G\rho_E} \approx 0,004 \quad (1)$$

Diese Vorhersage wurde später durch geodätische Messungen bestätigt.

Das Abplattungsverhältnis  $f$  ist umgekehrt proportional zur durchschnittlichen Massendichte der Erde. Diese Abplattung ist aber auch proportional zum Quadrat der dynamischen Winkelgeschwindigkeit der Erde relativ zum absoluten Raum, gemessen in der absoluten Zeit. Das heißt, daß sie proportional zu  $\omega_d^2$  ist.

### 4. Fragliche Aspekte der absoluten Bewegung

Es gibt mehrere Aspekte der Newtonschen Mechanik, die fragwürdig sind. Wir analysieren jeden einzelnen von ihnen, und wir konzentrieren hier unsere Analyse auf die Gestalt der Erde, da sie ein konkretes Beispiel ist.

(a) Die Abplattung  $f$  ist umgekehrt proportional zu  $\rho_E$ . Wenn wir diese Massendichte erhöhen oder verringern könnten, würde sich die Abplattung entsprechend verringern bzw. erhöhen. Aber  $\rho_E$  erhöhen oder zu verringern im Vergleich zu was? Falls es keine andere Massendichte zum Vergleichen gibt, ist diese Aussage nicht sinnvoll. Aus der Machschen Perspektive sollte die Abplattung proportional zum Verhältnis  $\rho_0/\rho_E$  sein, wo  $\rho_0$  die Massendichte eines anderen Vergleichsobjektes ist. Dieses „andere Objekt“ dürfte nicht beliebig sein. Das heißt, es müßte kausal die Abplattung der Erde bedingen.

(b) Nach Newton hängt diese teilweise Änderung vom Drehwinkel der Erde relativ zum absoluten Raum ab (oder relativ zu einem Inertialsystem, wie in modernen Lehrbüchern angegeben). Im Prinzip könnte das ferne Universum, bestehend aus Sternen und Galaxien, verschwinden, ohne Beeinträchtigung für  $f$ , das heißt, ohne Einfluss auf  $f$ . Diese Konsequenz ist nicht intuitiv. Im Grunde, wenn die Erde allein im Universum wäre, wäre es nicht sinnvoll, von ihrer Rotation zu sprechen. Nach einer Machschen Sicht müßte die Abplattung der Erde verschwinden, wenn die fernen

Sterne und Galaxien auch verschwänden. Das heißt, irgendwie wäre  $f$  direkt proportional zur mittleren gravitativen Materiedichte des Universums. Dies wäre die Bedeutung von  $\rho_0$  im vorherigen Absatz.

Dieser Aspekt wurde von Clarke eindeutig in seiner fünften Antwort an Leibniz gesehen [2]:

“Es wird [von Leibniz] bekräftigt, daß die Bewegung notwendigerweise eine relative Änderung der Lage in einem Objekt im Hinblick auf die anderen Objekte beinhaltet: und doch wird kein Weg gezeigt, die absurde Konsequenz zu vermeiden, daß dann die Mobilität eines Objektes von der Existenz eines anderen Objektes abhinge und daß jedes allein vorhandene Objekt nicht in der Lage wäre, Bewegung auszuführen, oder daß die Teile eines rotierenden Objektes (nehmen wir die Sonne) die aus *vis centrifuga* entstehende Kreisbewegung verlieren würde, wenn alle extrinsische Materie um sie annulliert würde.“

(c) Wenn sich die Erde schneller oder langsamer drehen könnte, würde sich ihre Abplattung entsprechend erhöhen bzw. verringern. Aber schneller oder langsamer drehen in bezug auf was? Wie können wir wissen, daß die Erde sich schneller oder langsamer dreht, wenn es keine andere Bewegung zum Vergleich gibt?

(d) Newton glaubte, daß es möglich wäre, absolute Bewegungen von relativen zu unterscheiden. Im Scholium am Anfang des Buches I der *Principia* führte er eine sehr interessante Diskussion im Zusammenhang mit zwei Kugeln, die durch eine Schnur verbunden sind. Wir zitieren seine Worte hier, aber anstelle der Kugeln setzen wir die Erde, und anstelle der Spannung der Schnur die Abplattung der Erde. Wegen dieses Austauschs von Wörtern schreiben wir das nächste Zitat kursiv anstelle der Verwendung von Anführungszeichen:

*Es ist in der Tat eine Angelegenheit von großer Schwierigkeit, die tatsächlichen Bewegungen der Objekte zu entdecken und von den scheinbaren wirksam zu unterscheiden. [...] Doch die Sache ist nicht ganz hoffnungslos [...] wie die Erde sich um ihren Schwerpunkt dreht, können wir aus ihrer Abplattung ihr Bestreben entdecken, von der Rotationsachse abzuweichen, und daraus können wir die Quantität ihrer Kreisbewegung berechnen. Und so finden wir sowohl die Quantität und die Bestimmtheit dieser Kreisbewegung auch in einem riesigen Vakuum, in dem es nichts Externes oder Sinnvolles gibt, mit dem die Erde verglichen werden könnte. Wenn aber nun in diesem Raum einige Objekte in bestimmte Entfernung gesetzt werden, woraus stets eine bestimmte Position zueinander entsteht wie beispielsweise mit den Fixsternen in unserer Regionen, könnten wir aus der relativen Umrechnung der Erde unter den Objekten ganz sicher nicht unterscheiden, ob die Bewegung zur Erde oder zu den Objekten gehört. Aber wenn wir die Gestalt der Erde beobachten und feststellen, daß die Abplattung die ist, die eine Bewegung der Erde erfordert, könnten wir diese Bewegung der Erde zuschreiben und annehmen, daß die Objekte in Ruhe sind.*

Das heißt, nach Newton gibt es zwei Situationen, die kinematisch äquivalent sind: (I) Die Fixsterne sind in Ruhe und die Erde dreht sich einmal am Tag, und (II) die Erde ist in Ruhe und die Menge der Fixsterne umlaufen die Erde einmal am Tag. Betrachtet man nur diese relative Rotation zwischen der Erde und den Fixsternen, kann man nicht wissen, welche der Objekte tatsächlich in Bewegung sind.

Allerdings glaubte Newton diese beiden Situationen dynamisch unterscheiden zu können. In der Situation (I) würde die Erde an den Polen abgeflacht werden, während in Situation (II) die Gestalt der Erde kugelförmig wäre. In der Newtonschen Mechanik ist die Erdabplattung eine Funktion der absoluten Bewegung relativ zum absoluten Raum, gemessen in der absoluten Zeit.

Dies ist eine fragwürdige Interpretation dieser Abplattung. Aus einer Machschen Perspektive gibt es nur die Rotation der Erde relativ zum Bezugssystem der fernen Sterne und Galaxien. Die Abplattung der Erde ist direkt proportional zu dieser relativen Rotation. Immer, wenn die Rotation der Erde relativ zum Bezugssystem von entfernten Galaxien die gleiche ist, sollte die gleiche Abplattung entstehen, egal welche Objekte in Bewegung sind. Nehmen wir für den Augenblick die Existenz eines beliebigen Bezugssystems  $R$  an. Wenn die Anordnung der entfernten Galaxien in diesem Bezugssystem in Ruhe ist und die Erde dreht sich einmal pro Tag in diesem Bezugssystem, entsteht ihre Abplattung von 0,004 wie in Situation (I) oben. Aus Machscher Sicht müßte die gleiche Abplattung auch

entstehen, wenn die Erde in  $R$  stationär bliebe, während sich das Bezugssystem der fernen Galaxien einmal täglich um die Nord-Süd-Achse der Erde dreht, wie in Situation (II) oben.

Dies wurde durch Mach deutlich gesehen. Bei der Diskussion über Newtons Eimer-Experiment sagte er folgendes:

[3, p. 279]: „Versuchen Sie Newtons Eimer zu fixieren und drehen den Himmel der Fixsterne, und dann beweisen Sie das Fehlen von Fliehkräften.“ Die analoge Aussage unter Berücksichtigung der fernen Galaxien, die Mach nicht kannte, auf die Erde angewendet, könnte wie folgt lauten: *Versuchen Sie, die Erde zu fixieren und drehen Sie den Himmel mit den fernen Galaxien, und dann beweisen das Fehlen der Erdabplattung.*

Obwohl er kein mechanisches Arbeitsumfeld herstellen konnte, das diese Idee eingeschlossen hätte, glaubte Mach, dies sei möglich. Auf Seite 284 seines Buches sagte er [3]: „Die Prinzipien der Mechanik können in der Tat so konzipiert sein, daß auch bei relativen Rotationen Fliehkräfte auftreten.“

## 5. Bewegung und relationale Mechanik

Wir betrachten nun die gleiche Bewegung in Bezug auf die relationale Mechanik, die auf Webers Gravitationsgesetz [6] basiert. Die Gleichung der Bewegung eines beliebigen Testteilchens ergibt sich aus seiner Interaktion mit den fernen Galaxien. Wir müssen Webers Gesetz über das ganze Universum integrieren. Die Größe des bekannten Universums wird durch Hubble Radius  $R_0 = c/H_0 \approx 10^{26} m$  gegeben, worin  $c = 3 \times 10^8 m/s$  der Wert der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum und  $H_0 \approx 3 \times 10^{-18} s^{-1}$  die Hubble-Konstante ist. Wenn das Universum unendlich ist, kann  $R_0$  eine charakteristische Länge von Gravitationswechselwirkungen darstellen. Zum Beispiel könnte  $R_0$  eine effektive Länge der Gravitationswechselwirkungen durch eine exponentielle Abnahme der Schwerkraft repräsentieren.

Die Abplattung der Erde ist gegeben mit [4] und [5]:

$$f \equiv \frac{d_E - d_P}{d_P} \approx \frac{5\alpha}{8} \cdot \frac{\omega_{EU}^2}{H_0^2} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_E} \approx 0,004 \quad (1)$$

In dieser Gleichung ist  $\alpha$  eine dimensionslose Zahl. Ihr Wert ist 6, wenn wir mit einem endlichen Universum arbeiten und Webers Gravitationsgesetz bis zum Hubble-Radius integrieren. Wenn wir mit dem Weberschen Gesetz und einer exponentiellen Abnahme der Gravitation arbeiten, integrieren wir bis unendlich. In dieser letzten Situation erhalten wir  $\alpha = 12$ .

Die Abplattung ist proportional zu  $\rho_0 \approx 3 \times 10^{-27} kg/m^3$ , der mittleren gravitativen Massendichte des fernen Universums. Die Werte von  $R_0$  und  $H_0$  sind noch nicht mit großer Präzision bekannt. Aber die Größenordnung dieser Werte stimmt mit der beobachteten Abplattung von 0,004 überein. Wir können auch den beobachteten Wert  $f$  zusammen mit den bekannten Werten für  $\rho_E$  und  $\omega_{EU}^2$ , zur Ableitung des Wertes für  $5\alpha\rho_0/8H_0^2$  benutzen.

Die Abplattung ist auch umgekehrt proportional zur mittleren Dichte der gravitativen Erdmasse  $\rho_E = 5,5 \times 10^3 kg/m^3$ . Der wichtige hier zu betonende Aspekt ist, daß nur das Verhältnis  $\rho_0/\rho_E$  für die relationale Mechanik relevant ist. Wir können die Abplattung durch Erhöhung von  $\rho_E$  verringern (vorausgesetzt, ein Planet besteht zum Beispiel aus flüssigem Quecksilber), oder auch hypothetisch durch Verringern von  $\rho_0$ . Wenn wir im Prinzip die extrinsische Materie um die Erde vernichten könnten, so daß  $\rho_0 \rightarrow 0$  gilt, so würde auch die Erdabplattung verschwinden:  $f \rightarrow 0$ . Das heißt, die relationale Mechanik implementiert mathematisch die Konsequenz, die Clarke in seiner Korrespondenz mit Leibniz als absurd bezeichnet hat.

Die Abplattung ist proportional zu  $\omega_{EU}^2$ , das heißt, zum Quadrat von  $\omega_{EU}$ . Das Symbol  $\omega_{EU}$  stellt die Winkelgeschwindigkeit der Erde relativ zu dem fernen Universum dar. Dies bedeutet, daß in der relationalen Mechanik nur die relative Drehung zwischen der Erde und dem Bezugssystem der fernen Galaxien relevant ist. Diese Konsequenz entspricht völlig der Machschen Idee. Es wird die gleiche Abplattung der Erde eintreten, gleichgültig, ob sich die Erde relativ zu einem beliebigen Bezugssystem dreht, während das ferne Universum in diesem System stationär bleibt sein, wie in Situation (I) oben, oder ob sich das ferne Universum in die entgegengesetzte Richtung relativ zu diesem Bezugssystem dreht, während die Erde in diesem System stationär bleibt, wie in Situation (II) oben. Das heißt, sofern die quantitative relative Drehung zwischen der Erde und dem fernen Universum in beiden Fällen die gleiche ist, entsteht auch die gleiche Erdabplattung. Wenn diese Drehung eine relative Umdrehung pro Tag ist, so daß  $\omega_{EU} = 7,3 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$  ist, so gilt  $f = 0,004$  in den Situationen (I) und (II) oben. Die Erdabplattung kann nicht mehr als ein Beweis für die reale oder absolute Rotation der Erde betrachtet werden, wie Newton dachte.

Die relationale Mechanik implementiert mathematisch Machs Idee, nach der die ptolemäische und die kopernikanische Betrachtungsweise nicht nur kinematisch, sondern auch dynamisch gleichwertig sind. Das heißt, die gleiche Erdabplattung entsteht nicht nur im kopernikanischen Weltbild, in dem das ferne Universum in Ruhe ist und die Erde sich einmal am Tag dreht, sondern auch im ptolemäischen Weltbild, in dem die Erde stillsteht und sich das ferne Universum einmal pro Tag dreht.

## 6. Eine offene Frage der relationalen Mechanik

Hier wollen wir etwas diskutieren, was bisher in der relationalen Mechanik noch nicht vollständig geklärt ist.

Wenn sich die Erde in Bezug zum fernen Universum 3 mal schneller als normal drehen würde, wäre die Abplattung 9 mal größer, das heißt  $f \approx 0,036$ . Der Grund dafür ist, daß  $f$  proportional zu  $\omega_{EU}^2$  ist. Aber wenn wir sagen, daß die Erde sich 3 mal schneller als normal dreht, müssen wir sie mit etwas anderem vergleichen. Dies könnte kein Vergleich mit unserer Armbanduhr sein. Um diese Schlußfolgerung zu verstehen, können wir einen Astronauten in einem Raumschiff betrachten, der ein Video aufnimmt. Das Video sollte auch die Erdrotation und andere Bewegungen im Universum einschließen. Nehmen wir an, die normale Rate dieser Videoaufnahme sei 30 Bilder pro Sekunde (fps).

Beim Abspielen dieses Videos im Zeitraffer, also mit 90 fps, würden wir alle Geschwindigkeiten um das Dreifache ihrer normalen Werte erhöht wahrnehmen. Trotzdem würde die Erdabplattung im Zeitraffer-Video die gleiche bleiben, nämlich  $f \approx 0,004$ . Der Grund dafür ist, daß uns nicht nur die Erddrehung 3mal schneller als gewohnt angezeigt werden würde, sondern das gleiche würde auch mit allen anderen Geschwindigkeiten in diesem Video geschehen (Schallgeschwindigkeit, eine Wurfbewegung, die Geschwindigkeit eines Satelliten, die Winkelgeschwindigkeit der Galaxien usw.)

Die Abplattung würde auch beim Abspielen des Videos in Zeitlupe die gleiche bleiben. Selbst wenn der Astronaut ein Bild von der Erde aufnimmt, so daß die Erde stationär erscheint, würde ihre Abplattung erhalten bleiben.

Das gleiche Ergebnis würde durch jeden Bewohner der Erde erreicht werden. Der Boden unter unseren Füßen bewegt sich relativ zu uns während eines ganzen Tages nicht, so daß die Erde relativ zu uns als stationär erscheint. Trotz dieser Tatsache bleibt sie an den Polen abgeplattet.

Die Schlußfolgerung ist, daß die Größe der Abplattung keine Funktion der Uhr oder eines Zeitmeßgerätes ist.

Aus Machscher Sicht müßte die Größe der Abplattung proportional zu einem Verhältnis von zwei Bewegungen sein. (a) Dem Quadrat der Winkelgeschwindigkeit der Erde in Bezug auf das Bezugssystem ferner Galaxien. (b) Dem Quadrat einer anderen Geschwindigkeit in Bezug auf andere Bewegungen im Universum. Die offene Frage ist, daß wir bis jetzt nicht wissen, welches diese anderen Bewegungen im Universum sind, die mit der Erdabplattung verbunden werden könnten.

Die Abplattung der Erde, dargestellt in der relationalen Mechanik, ist proportional zum Quadrat der Winkelgeschwindigkeit der Erde relativ zum universellen Bezugssystem. Die Abplattung ist aber auch umgekehrt proportional zum Quadrat der Hubble-Konstanten. Dies deutet darauf hin, daß die Hubble-Konstante mit anderen Bewegungen im Universum verbunden werden könnte. Folgende Möglichkeiten für die Hubble-Konstante sind denkbar: Eine durchschnittliche Frequenz der Schwingung und/oder der Rotation der Materie im Universum sein; oder die durchschnittliche Winkelgeschwindigkeit der Galaxien im Universum; oder die durchschnittliche Winkelgeschwindigkeit von mikroskopischen Teilchen im Inneren der Erde oder verteilt im ganzen Universum; oder sie könnte auf die Lichtgeschwindigkeit bezogen werden; oder ...

Wir postulieren, daß, wenn sich alles schneller oder langsamer bewegt, wobei sich die Geschwindigkeiten im gleichen Maße verändern, keine Auswirkungen auf das Verhalten der Objekte eintreten würde. Zum Beispiel würde die Abplattung der Erde die gleiche bleiben, wenn sie sich drei Mal schneller als üblich drehen würde, sofern alle anderen Bewegungen auch ihr Tempo dreimal erhöhen.

Auf der anderen Seite ist bekannt, daß die Zentrifugalkräfte größer werden, wenn sich der rotierende Körper sich im Vergleich zu anderen Bewegungen im Universum schneller dreht. Aus einer Machschen Perspektive ergibt sich der gegenteilige Effekt. Das heißt, wenn die Erde ihre Drehgeschwindigkeit halten könnte, während alle anderen Bewegungen im Universum sich verlangsamen, müßte sich die Abplattung der Erde auch erhöhen. In einer hypothetischen Situation, in der wir alle anderen Bewegungen im Universum (die Rotation der Galaxien, die Drehung der Elektronen und so weiter) stoppen könnten, während sich die Erde im Hinblick auf ferne Galaxien noch dreht, würde die Abplattung gegen unendlich gehen. Das heißt, die Erde würde in dieser hypothetischen Situation explodieren.

Aber welche anderen Bewegungen sind speziell mit der Abplattung der Erde verbunden? Der Spin der Elektronen? Die durchschnittliche Rotation der Galaxien relativ zum Bezugssystem ferner Galaxien? Die Geschwindigkeit der Photonen? Die Schwingungen der Atome?

Dies ist eine offene Frage, die weiterer Untersuchungen bedarf.

## Literatur

- [1] I. Newton. *Mathematical Principles of Natural Philosophy*. University of California Press, Berkeley, 1934. Cajori edition.
- [2] H. G. Alexander (ed.). *The Leibniz-Clarke Correspondence*. Manchester University Press, Manchester, 1984.
- [3] E. Mach. *The Science of Mechanics – A Critical and Historical Account of Its Development*. Open Court, La Salle, 1960.
- [4] A. K. T. Assis, *Relational Mechanics*. Apeiron, Montreal, 1999. ISBN: 0968368921. Available at: <http://www.ifi.unicamp.br/~assis/>.
- [5] A. K. T. Assis, "The principle of physical proportions", *Annales de la Fondation Louis de Broglie* **29**: 149-171 (2004).
- [6] A. K. T. Assis, *Weber's Electrodynamics* (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1994). ISBN: 0792331370.