

**Zeitschrift:** Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft  
**Herausgeber:** Schweizerische Astronomische Gesellschaft  
**Band:** - (1956)  
**Heft:** 54

**Artikel:** Von den Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie  
**Autor:** Wilker, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-900404>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 16.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# ORION

Mitteilungen der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft  
Bulletin de la Société Astronomique de Suisse

---

OKTOBER — DEZEMBER 1956

No. 54

4. Heft von Band V — 4me fascicule du Tome V

---

## Von den Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie

### I. Träge und schwere Masse

Von Dr. P. WILKER, Bern

Vorbemerkung: Die allgemeine Relativitätstheorie hat auf die Astronomie tiefgreifenden Einfluss gewonnen. In ihrer einfachsten Gestalt als neue Gravitationstheorie hat sie das Newton'sche Anziehungsgesetz verschärft, die Verschiebung des Merkurperihels erklären und die Lichtablenkung am Sonnenrand voraussagen können. Entscheidend war ihr Einfluss auf die Ausgestaltung einer Kosmologie, die heute den Anspruch erhebt, den Bau des gesamten Universums klären zu können. Leider steht dem restlosen Verständnis der allgemeinen Relativitätstheorie der reichlich komplizierte mathematische Apparat gegenüber, dessen sie heute noch bedarf; dagegen sind ihre physikalischen Grundlagen recht einfach und ihre Grundgedanken durchaus einleuchtend. Von einigen dieser Grundgedanken soll im folgenden die Rede sein.

#### 1. Träge Masse

Jeder Körper, der den Einwirkungen irgendwelcher anderer Körper unterliegt, erfährt dadurch unter bestimmten Bedingungen eine gewisse Beschleunigung, also eine Aenderung seines Bewegungszustandes in Form einer Geschwindigkeitszu- oder -abnahme. Bei gleichbleibenden äusseren Einwirkungen wird aber die vermittelte Beschleunigung auf verschiedene Körper verschieden gross ausfallen und zwar werden, einer ersten groben Erfahrung nach, grössere und mehr Materie enthaltende Körper im allgemeinen schwächer beschleunigt werden als kleinere und materieärmere. Um diese Tatsache an einem einfachen Experiment zu prüfen, denken wir uns verschiedene Partikeln in ein elektrisches Feld gebracht; die Partikeln sollen alle gleiche elektrische Ladung tragen. In den elementaren Bausteinen der Materie, den Elektronen, Protonen und Mesonen haben wir solche Partikeln zur Verfügung. Das elektrische Feld wird nun auf die Probeteilchen im Sinne einer Beschleunigung einwirken, und zwar wird die wirkende Kraft bei

allen Teilchen gleich gross sein, da sie nach den Grundgesetzen der Elektrik nur von der Ladung der Teilchen abhängt und wir diese als gleich angenommen haben. Es wird sich dann zeigen, dass zum Beispiel Elektronen eine bedeutend grössere Beschleunigung erfahren als Protonen, während die der Mesonen dazwischen liegt. Betrachtet man also die Partikeln nach Durchlaufen einer bestimmten Wegstrecke, so werden die einen mit grosser, die andern mit kleinerer Geschwindigkeit dahinfliegen, was sich durch besondere physikalische Einrichtungen leicht beobachten lässt.

Das verschiedene Verhalten der Körper gegenüber der gleichen Einwirkung kann man am besten durch einen ihnen innewohnenden Widerstand beschreiben, den sie einer Aenderung ihres Bewegungszustandes entgegensetzen. Ein Körper, auf den von aussen her nichts einwirkt, fliegt mit gleichförmiger Geschwindigkeit dahin; sobald dieser Zustand gestört wird, die Geschwindigkeit also vergrössert oder verkleinert werden soll, versucht der Körper in seiner Bewegung zu verharren und sich der Störung in gewissem Grade zu widersetzen. Bei verschiedenen Körpern ist aber, wie wir gesehen haben, der Grad des Widerstandes verschieden gross, bei Protonen etwa bedeutend grösser als bei Elektronen. Man spricht von einer mehr oder weniger grossen «Trägheit» gegenüber Beschleunigungen.

Um nun den Grad dieses Widerstandes zu messen, hat man die «träge Masse» eines Körpers eingeführt, die für jeden Körper zahlenmässig angibt, welches Mass an Trägheit er besitzt. Je grösser die träge Masse, umso kleiner wird die Beschleunigung sein, die er bei einer bestimmten Wirkung erfährt.

## 2. Schwerepotenz

Die Wirkungen der Schwerkraft auf die Körper des Weltalls sind allen gegenwärtig. Um ihre Gesetzmässigkeit anschaulich zu machen, bedarf es eines etwas kräftigen Gedankenexperiments. Wir wollen uns vorstellen, dass an einigen Punkten im Weltall, nicht zu weit weg von der Erde, Federwagen befestigt werden, an denen man verschiedene Körper aufhängen kann. Die Schwerkraft der Erde wird nun diese Körper anziehen und dadurch die Feder der Wage spannen. Je stärker die Kraft, umso mehr wird die Feder ausgezogen, so dass sich aus der Länge der gespannten Feder die ausgeübte Kraft bestimmen lässt.

Wie man weiss, wird sich dabei zuerst das Gesetz vom umgekehrten Quadrat der Entfernung zeigen, indem die Feder bei ein und demselben Probekörper umso weiter angespannt sein wird, je näher man ihn zur Erde bringt. Man wird aber feststellen, dass die Wirkung der Schwerkraft auch vom angezogenen Körper selbst abhängt. Bei gleichbleibender Entfernung von der Erde wird etwa ein Apfel viel weniger stark angezogen werden als eine Wassermelone, wovon sich jedermann, mit diesen Früchten und zwei Federwagen bewaffnet, ohne weiteres selbst überzeugen kann. Die

Körper der Natur zeigen also ein verschiedenes Verhalten gegenüber der auf sie einwirkenden Schwerkraft, indem sie diese vermehren oder vermindern, und zwar, wieder einer ersten groben Erfahrung nach, im Verhältnis zu ihrer eigenen Grösse und ihrem Materiereichtum. Man könnte diese Eigenschaft der Körper als eine ihnen innewohnende «Bereitschaft» zur Schwerewirkung deuten.

Die Grösse der Bereitschaft kann wieder zahlenmässig gemessen werden und wir wollen für unsere Zwecke ein solches Mass die «Schwerepotenz» des Körpers nennen. Je grösser die Schwerepotenz eines Körpers, umso grösser die Kraft, mit der er von einem andern, zum Beispiel von der Erde, in einer bestimmten Entfernung angezogen wird.

### 3. Träge und schwere Masse

Wir haben so in träger Masse und Schwerepotenz zwei Zahlen gefunden, die ein- und demselben Körper zukommen und die seine Trägheit gegenüber Beschleunigungen beziehungsweise seine Bereitschaft zur Schwerewirkung physikalisch exakt messen. In welchem Verhältnis stehen nun diese beiden Zahlen zueinander? Darüber kann natürlich nur die Erfahrung Auskunft geben. Sie hat eindeutig gezeigt, dass träge Masse und Schwerepotenz eines Körpers stets identisch sind und sich im Rahmen der von den Physikern erreichten Messgenauigkeit durch ein und dieselbe Zahl ausdrücken lassen<sup>1)</sup>. Auf dieser Erfahrung fussend wollen wir den nur zur besseren Unterscheidung gewählten Ausdruck Schwerepotenz fallen lassen und, wie allgemein üblich, von «schwerer Masse» im Gegensatz zu «träger Masse» sprechen.

Die behauptete Gleichheit der beiden Massenbegriffe kann man überall dort nachprüfen, wo Trägheit und Schwere gemeinsam auftreten, also bei allen von der Schwere verursachten Bewegungserscheinungen. Wir wollen hier gerade diejenigen besprechen, die auch historisch zum Nachweis der Gleichheit geführt haben.

### 4. Der freie Fall

Wir haben schon oben gesehen, dass verschiedene Körper von der Erde verschieden stark angezogen werden; lässt man sie frei, so werden sie dem Zug der Schwerkraft folgend nach dem Erdboden zu beschleunigt werden. Je grösser die schwere Masse eines Körpers, umso stärker wirkt auf ihn die Schwerkraft, umso mehr sollte er also beschleunigt werden; es steigt aber gleichzeitig mit der schweren Masse auch seine träge Masse an, die sich der erhöhten Beschleunigung kräftiger widersetzt und sie wieder herabzudrücken sucht. Die Identität von schwerer und träger Masse gibt sich da-

---

<sup>1)</sup> Genau genommen gilt dies nur, wenn die Masseinheiten der beiden Grössen geeignet gewählt werden. Sonst gilt Proportionalität der beiden Zahlen.

durch zu erkennen, dass bei diesem Wechselspiel die kraftsteigernde Wirkung der zunehmenden schweren Masse durch die bremsende Wirkung der ebenfalls zunehmenden trägen Masse gerade kompensiert wird, so dass allen Körpern von der Erde die *g e n a u g l e i c h e B e s c h l e u n i g u n g* erteilt wird. Etwas unscharf pflegt man zu sagen, dass unabhängig von ihrer Grösse oder Beschaffenheit alle Körper «gleich schnell fallen».

Der Nachweis dieser Tatsache ist nicht schwer, wenn man nur berücksichtigt, dass der Luftwiderstand, der auf die Körper verschieden stark einwirkt, ein ungleich schnelles Fallen vortäuschen kann. Verwendet man Körper gleicher Grösse und gleicher Oberflächenbeschaffenheit, aber verschiedener Masse, oder noch besser, lässt man zwei Körper in einer luftleer gepumpten Röhre herabfallen, so wird man ihre gleiche Beschleunigung leicht beobachten können. Der erste, der diese Erscheinung genau untersuchte, war der Vater der neuen Physik, *G a l i l e o G a l i l e i*. Allerdings kann bei Fallversuchen die Gleichheit aller Beschleunigungen nur qualitativ festgestellt werden, da die Genauigkeit der Messung nicht sehr gross ist.

### 5. *Das Pendel*

Das sogenannte mathematische Pendel kann man durch einen dünnen Faden mit einer darangehängten kleinen Kugel verwirklichen, die man, von einer gewissen Höhe ausgehend, hin- und herpendeln lässt. Als Schwingungsdauer bezeichnet man dann die Zeit eines einmaligen Hin- und Hergangs. Die Berechnung des Vorganges zeigt, dass diese Schwingungsdauer von der Fadenlänge und der Ausgangshöhe sowie, streng genommen, auch von dem Verhältnis der schweren zur trägen Masse der angehängten Kugel abhängt. Sind die beiden Massenwerte stets gleich, so wird die Schwingungsdauer sich nicht ändern, wenn Kugeln verschiedenen Materials und verschiedener Masse angehängt werden; im gegenteiligen Fall würde man eine Änderung der Schwingungsdauer feststellen. Man sieht also, wie das Pendelexperiment die Möglichkeit liefert, die Gleichheit der beiden Massen nachzuprüfen, und dies mit bedeutend grösserer Genauigkeit als beim Fallversuch.

Schon bei der Aufstellung des Gravitationsgesetzes hat *I s a a c N e w t o n* solche Pendelexperimente ausgeführt, indem er Holzkistchen an einen Faden hängte, sie mit den verschiedensten Stoffen wie Gold, Silber, Glas, Blei und sogar Weizen füllte und pendeln liess. Er gibt an, dass er dadurch bis auf ein Promille genau feststellen konnte, dass die Schwingungsdauer tatsächlich vom verwendeten Gegenstand völlig unabhängig wäre. Später hat dann *F r i e d r i c h W i l h e l m B e s s e l* diese Experimente aufgenommen und in vervollkommneter Form wiederholt. Er verwendete neben verschiedenen Substanzen auch Meteoriten als Muster einer ausserirdischen Substanz. Die Gleichheit von träger und schwerer Masse

konnte er dabei bis auf ein Hundertstel Promille genau nachweisen<sup>2)</sup>).

### 6. Die Zentrifugalablenkung

Jeder Körper auf der Erde unterliegt zweierlei Kräften: der Anziehungskraft der Erde und der Zentrifugalkraft. Die Richtung der ersteren weist ungefähr gegen den Erdmittelpunkt hin und steht daher senkrecht auf der Erdoberfläche; die Zentrifugalkraft, die von der Rotation der Erde herrührt, zeigt von der Erde weg nach Süden<sup>3)</sup> (vergleiche die ausführlichere Besprechung weiter unten in Abschnitt 9). Beide Kräfte setzen sich zu einer einzigen zusammen, welcher der Körper zu folgen strebt. Wir wollen sie zur Abkürzung die Lotkraft nennen; ihre Richtung steht senkrecht auf der Erdoberfläche mit einer kleinen Abweichung nach Süden hin.

Nun hängt aber die Grösse der Anziehungskraft von der schweren Masse, diejenige der Zentrifugalkraft von der trägen Masse des Körpers ab und man berechnet leicht, dass die Richtung der Lotkraft, insbesondere also ihre südliche Ablenkung, durch das Verhältnis der beiden Massenwerte bedingt ist. Sollte das Massenverhältnis nicht für alle Körper gleich 1 sein, so würden zwei Körper von der Lotkraft verschieden weit nach Süden gezogen. Dies liesse sich durch folgende Methode feststellen: an einem herabhängenden Faden wird ein waagrechter Balken befestigt und an dessen Enden zwei verschiedene Körper angebracht. Stimmen für diese beiden Körper träge und schwere Masse nicht überein, so haben die auf sie wirkenden Lotkräfte verschiedene Richtung, wodurch der Balken gedreht würde. Der ganze Apparat, der Torsionswaage heisst, gestattet durch Anbringen geeigneter Hilfsmittel eine ganz ausserordentlich genaue Messung auch der geringsten Drehung des Balkens. Der ungarische Physiker Roland von Eötvös hat die Torsionswaage zur Vollkommenheit entwickelt und die erwähnten Versuche angestellt. Er konnte mit der erstaunlichen Genauigkeit von einem halben Zehntausendstel Promille nachweisen, dass träge und schwere Masse aller untersuchten Körper gleich waren. Es gibt wohl nur wenige Naturgesetze, die mit ähnlicher Genauigkeit bestätigt werden konnten.

### 7. Bedeutung

Am allgemeinen Gesetz von der Gleichheit der trägen und der schweren Masse konnte demnach kein Zweifel mehr bestehen. Trotzdem wird man in den Darstellungen der Mechanik bis in

---

<sup>2)</sup> F. W. Bessel, Versuche über die Kraft, mit welcher die Erde Körper von verschiedener Beschaffenheit anzieht. Erschienen in den Astronomischen Nachrichten, Band 10, ca. 1830. Auch in den Abhandlungen von F. W. Bessel, Bd. 3, 1876 abgedruckt.

<sup>3)</sup> Auf der nördlichen Halbkugel.

unser Jahrhundert hinein vergeblich einen Hinweis darauf suchen, dass dieses Gesetz zu den grundlegenden Naturgesetzen zu zählen sei. Das ist unschwer verständlich. Newton hatte ganz einfach die Tatsache, dass die Schwerkraft auf einen Körper seiner trägen Masse proportional sei, als einen experimentell gut nachgewiesenen Bestandteil seines Gravitationsgesetzes aufgefasst. Damit erübrigte sich die Einführung des Begriffs der schweren Masse und man sprach von Masse schlechthin. Die nachfolgenden Messungen bestätigten die Newton'sche Ansicht aufs glänzendste und man erblickte in der erwähnten Tatsache überhaupt kein Problem mehr.

Die Entdeckung des Coulomb'schen Gesetzes hätte allerdings die Frage wieder lebendig werden lassen können. Wir haben zu Beginn einen Versuch beschrieben, bei dem gewisse Partikeln, zum Beispiel Atombestandteile, elektrischen Kräften ausgesetzt wurden. Das Gesetz dieser Kräfte, das nach dem Physiker Coulomb benannt wird, hat nun genau dieselbe Form wie das Newton'sche Schwerkraftgesetz. Auch die elektrische Kraftwirkung hängt von einer Eigenschaft der Körper ab, die vollständig der früher so genannten Schwerepotenz entspricht: sie wird elektrische Ladung genannt. Je grösser die Ladung, umso grösser die elektrische Kraft auf den Körper.

Es hat sich aber gezeigt, dass im Gegensatz zur «Schwerepotenz» die Ladung eines Körpers nicht das Geringste mit seiner trägen Masse zu tun hat. Obwohl zum Beispiel ein Proton fast 2000-mal mehr träge Masse besitzt als ein Elektron, sind die Ladungen dieser beiden Elementarteilchen doch völlig gleich gross. Man kann einen Körper stark aufladen und damit die elektrische Wirkung auf ihn bedeutend erhöhen, ohne seine träge Masse zu verändern. Eine Erhöhung der Schwerkraftwirkung lässt sich aber, wie wir gesehen haben, nur durch eine gleichzeitige Vermehrung der trägen Masse durchführen.

Von den drei Eigenschaften eines Körpers: träge Masse, schwere Masse und elektrische Ladung sind die beiden ersten somit aufs engste verbunden, ja identisch, die letztere hingegen steht ganz abseits. Die drei Eigenschaften vertreten aber drei allgemeine Erscheinungen der Natur: die Trägheit, die Schwere und die Elektrizität. Es ist daher durchaus nicht abwegig, als Folgerung aus unserem Befund eine enge Verknüpfung von Trägheit und Schwere zu vermuten, die Elektrizität hingegen als von ihnen mehr oder weniger unabhängig zu betrachten.

Es war das grosse Verdienst A l b e r t E i n s t e i n s , dies klar erkannt und in der Gleichheit von träger und schwerer Masse ein Naturgesetz von erster Bedeutung gesehen zu haben. Seine Forschungen haben diesem Gesetz auch den ihm zukommenden Platz in den Grundlagen der Mechanik gesichert.

### 8. Einsteins Kastenexperiment

Um den eben angedeuteten Gedanken noch klarer herauszustellen und um die sich aufdrängenden Folgerungen aus der Gleichheit der beiden Massenbegriffe überblicken zu können, greifen wir zu einem berühmten Gedankenexperiment, das von Einstein stammt und hier nur «modernisiert» werden soll. Man denke sich eine Rakete im Weltraum so weit weg von allen Sternen dahinfliegen, dass sie keinerlei Kraftwirkungen ausgesetzt ist. Ihr Motor werde so betätigt, dass sie sich gleichmässig beschleunigt bewegt, das heisst dass ihre Geschwindigkeit beständig und gleichförmig zunimmt. Im Innern der Rakete befinde sich ein Beobachter mit allerlei physikalischen Instrumenten, der aber aus seiner Kabine nicht hinausblicken kann. Er versuche nun, durch Anstellen einfacher Experimente die ihn umgebende «Natur» festzustellen. Zuerst wird er fühlen, dass er gegen einen bestimmten Teil der Kabine gedrückt wird (es ist der in der Fahrtrichtung hintere Teil), und wird diesen Teil als «unten», den entgegengesetzten als «oben» befindlich bezeichnen, wie er dies von der Erde her gewohnt ist. Lässt er nun einen Körper — einen Stein etwa, den er in der Hand hält — los, so wird dieser nach unten «fallen», das heisst er wird sich wie an der Erdoberfläche mit konstanter Beschleunigung nach unten bewegen. Der Beobachter in der Kabine wird daher mit Recht denken, dass er sich in der Nähe eines Weltkörpers befindet, der ihn wie auch den von ihm losgelassenen Stein anzieht.

Wir wissen, dass in Wirklichkeit der freigegebene Stein seiner Trägheit folgt und sich mit derjenigen gleichförmigen Geschwindigkeit vorwärtsbewegt, die er im Augenblick des Loslassens besass. Der hintere Teil der Rakete jedoch fliegt ihm beschleunigt nach und erreicht ihn innert kurzer Zeit. Die beschleunigte Fahrt der Rakete täuscht also das «Fallen» des Körpers wie übrigens auch den Druck des Beobachters nach unten vor.

Nun das Entscheidende: Um die wahre Natur der eben gefundenen Anziehungskraft zu untersuchen und um festzustellen, dass es sich wirklich um eine Schwerkraft und nicht um eine andere, vielleicht elektrische Wirkung handelt, erinnert sich der Beobachter in der Kabine der Gleichheit von träger und schwerer Masse. Er lässt also verschiedene Körper gleichzeitig los und untersucht ihren Fall. Was wird er feststellen? Die den Körpern erteilte scheinbare Beschleunigung «nach unten zu» wird für alle gleich gross sein, da sie ja von der sie alle umschliessenden Rakete herrührt. Der Beobachter wird also finden, dass in seiner Kabine alle Körper gleich schnell fallen, genau das, was nach Abschnitt 4 für die Schwerkraft zu erwarten war. Pendelexperimente, die er anstellt, führen aus demselben Grund zu dem in Abschnitt 5 besprochenen Resultat. Der Beobachter kann es somit als bewiesen annehmen, dass seine Kabine tatsächlich der Schwerkraft ausgesetzt ist.

Wenn man ihm jetzt mitteilte, dass die von ihm eben nachgewiesene Schwerkraft nur scheinbar ist und sich in Wirklichkeit

seine Rakete beschleunigt bewegt, so kann er diese Mitteilung glauben, muss dies aber nicht tun, da ihm selbst durch keinerlei mechanische Experimente die Möglichkeit gegeben ist, den einen vom andern Fall zu unterscheiden. Die Gleichheit von träger und schwerer Masse hat eben zur Folge, dass sich in einer Kabine, die einer konstanten Schwerkraft ausgesetzt ist (also etwa auf der Erde steht), die mechanischen Vorgänge genau gleich abspielen wie in einer andern Kabine, die kräftefrei ist, aber gleichmässig beschleunigt bewegt wird.

Zwei Fragen, die unmittelbar an diese Erkenntnis anknüpfen, werden der weiteren folgerichtigen Entwicklung der Theorie den Weg weisen.

### 9. Trägheitskräfte

Wir betrachten zuerst die schon in Abschnitt 6 erwähnte Zentrifugalkraft auf der Erde. Wir haben dort gesehen, dass ein herabhängendes Pendel (Lot) sich nicht senkrecht zur Erdoberfläche einstellen, sondern etwas nach Süden weisen wird; man wird also sagen, dass das Pendel ausser der Schwerkraft noch einer zweiten Kraft unterliegt, die es nach Süden zieht. Diese zweite Kraft ist aber eine Scheinkraft, da sie lediglich von der Drehung der Erde herrührt. Ein Körper auf der Erdoberfläche dreht sich beständig mit der Erde mit und besitzt daher in jedem Augenblick eine ganz bestimmte Geschwindigkeit. Könnte man die Schwerkraft plötzlich aufheben, so würde der Körper seiner Trägheit folgen und in der im gleichen Augenblick eingenommenen Richtung und mit der ihm innewohnenden Geschwindigkeit davonfliegen. Er würde dann, von der Erde aus gesehen, im ersten Moment die Richtung nach Süden einschlagen<sup>4)</sup>. Diese dem Körper jederzeit innewohnende Tendenz zur südlichen Ausweichung verkoppelt sich nun mit der Schwere und gibt sich als scheinbare zusätzliche Kraft zu erkennen, wenn man die Erscheinung auf der Erdoberfläche selbst betrachtet. Von ausserhalb der Erde gesehen ist aber nur die Schwere als eigentliche Kraft wirksam.

Die scheinbare zusätzliche Kraft, die sogenannte Zentrifugalkraft, kann noch mit weiteren Scheinkräften zusammen auftreten. Ihnen allen ist, wie wir am Beispiel der Zentrifugalkraft soeben gesehen haben, eine Ursache gemeinsam: die Trägheit der Körper. Man hat daher für solche Kräfte den Namen «Trägheitskräfte» eingeführt.

Erinnern wir uns nun der früheren Besprechung des Raketenexperiments. Auch dort trat eine Scheinkraft im Innern der Kabine auf, die eine Schwerkraft vortäuschte, sich aber als eine reine Trägheitskraft herausstellte. Diese ihre Natur liess sich ermitteln,

---

<sup>4)</sup> Oder genauer: auf den südlichen Schnittpunkt von Meridian und Himmelsäquator hinzielen.

sobald man «nach aussen ging», also die Rakete als beschleunigt bewegt erkannte, gleich wie man die Zentrifugalkraft «von aussen her» durch die Drehung der Erde erklären konnte.

Jetzt sind wir in der Lage, die erste entscheidende Frage zu formulieren. Wir beobachten ja hier auf der Erde oder allgemein bei allen Weltkörpern eine Schwerkraft ganz analog derjenigen in der Raketenkabine und es drängt sich damit sofort die Frage auf, ob diese Kraft nicht ebenso scheinbar sei wie die in der Rakete, das heisst, ob es nicht durch eine Veränderung des Beobachtungs-ortes, durch eine Art «nach aussen gehen» gelingen könnte, die Schwerkraft als eine reine Trägheitskraft nachzuweisen. Folgen nicht vielleicht alle Körper einzig ihrer Trägheit und sehen wir dies als Wirung einer anziehenden Kraft nur darum an, weil wir von einem irgendwie ungünstigen Ort aus beobachten? Dass der Beobachter in der Kabine eine offenkundige Trägheitskraft als Schwerkraft ansah, dafür war im Kern die experimentell nachgewiesene Gleichheit von träger und schwerer Masse verantwortlich. Weist diese Gleichheit nicht darauf hin, dass umgekehrt eine offensichtliche Schwerkraft als Trägheitskraft angesehen werden könnte? Wir fragen, alle bisherigen Erfahrungen zusammenfassend: Darf man aus der Erfahrungstatsache «Schwere Masse gleich träge Masse» die grundlegende Beziehung «Schwere gleich Trägheit» folgern?

### 10. Physik und Schwere

Bevor wir sehen, wie sich diese Frage beantworten lässt, müssen wir eine andere stellen, die unter Umständen alles bisher Gesagte über den Haufen werfen könnte. Wir haben früher dem Beobachter in der Rakete physikalische Apparate mitgegeben, damit er die ihn umgebende Natur untersuchen kann; er hatte aber nur mechanische Hilfsmittel benutzt. Wäre es nicht möglich, dass er durch andere physikalische Experimente — und es kommen vor allem elektrische in Frage — tatsächlich feststellen könnte, dass er nicht der Schwerkraft ausgesetzt ist, sondern sich beschleunigt bewegt? Damit hätte er im Prinzip die Möglichkeit, Schwerekräfte und Trägheitskräfte zu unterscheiden und alle unsere anschliessenden Ueberlegungen hätten sich wohl als mechanisch, nicht aber als allgemein physikalisch stichhaltig erwiesen.

Wir müssen somit, bevor wir an die Beantwortung der ersten Frage herangehen, ja bevor wir dieser überhaupt eine allgemeine Bedeutung zuschreiben können, zuerst eine zweite Frage klären: Ist es möglich, auf andere als rein mechanische Weise zwischen der Schwerkraft und der Trägheitskraft zu unterscheiden? Dieser Frage soll der nächste Aufsatz gewidmet sein.