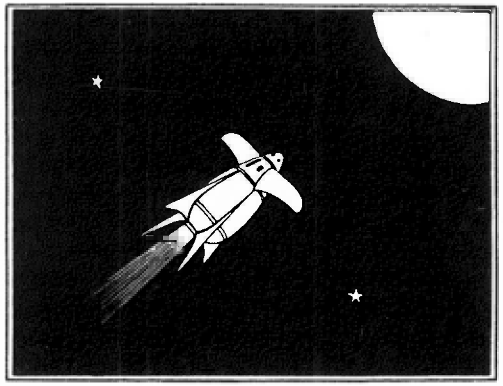
Die Rakete

Zeitschrift für Raumschiffahrt

Breslau Januar-Juni 1927

Ergänzungsheft



Der Flug zum Monde

seine astronomischen und technischen Grundlagen.

Ein alter Wunsch der Menschheit, sich zu den Sternen emporzuschwingen, scheint in Erfüllung zu gehen. Theoretisch ist das Problem der Raumschiffahrt, von welchem die Reise zum Erdmond nur einen kleinen Ausschnitt darstellt, in letzter Zeit soweit durchdacht worden, daß an der praktischen Ausführbarkeit nicht mehr gezweifelt werden kann.

Um das Problem in seiner ganzen Größe zu erfassen, tut man gut, sich die Entfernungen deutlich vor Augen zu stellen, die es zu überwinden gilt. Das geschieht zweckmäßig an einem gedachten Modell, in welchem 1000 km durch eine Strecke von 1 mm dargestellt werden. Alsdann erscheint die Erde als kleine Kugel von 13 mm Dicke, der Mond in 38 cm Entfernung als Kugel von 3 mm Durchmesser, der Mars als Kugel von 7 mm in einer wechselnden Entfernung von 50 bis 400 m, die Sonne als $1^1/_2$ m dicke Kugel in einer Entfernung von 150 m. Der nächste Fixstern würde in einer Entfernung von 15000 km, also etwa am Südpol, anzusetzen sein. Die Ozeanfahrt des Z. R. III würde in diesem Modell durch eine Strecke von kaum 1 cm dargestellt werden. Damit hat man eine annähernde Vorstellung von den Riesenentfernungen, die es zu überwinden gilt, und das ist auf den ersten Blick recht entmutigend.

Wir werden aber bald sehen, daß uns die ungeheuren Entfernungen gar nicht zu schrecken brauchen, sie sind nicht das Hindernis, sie werden vielmehr ohne jeden Aufwand an Kraft zurückgelegt, wie ja auch die Planeten ohne Kraftaufwand unaufhörlich um die Sonne kreisen, und bei einer Reise zum Planeten Mars wählt man zweckmäßig durchaus nicht etwa die kürzeste Entfernung, sondern eine sechsmal größere. Die eigentliche Schwierigkeit liegt an einer ganz anderen Stelle.

Die Größe, mit der wir bei der Raumschiffahrt in jedem Augenblick zu rechnen haben, ist die Anziehungskraft der Himmelskörper. Sie ist zunächst ihr schlimmster Feind, wird aber zu einem mächtigen Bundesgenossen, wenn man sich ihr in richtiger Weise unterwirft. Bei einer Reise zum Planeten Mars und zurück wirkt sie nur etwa 10 Minuten als Feind, dagegen etwa 16 Monate als Freund.

Das Hauptmittel, sich der gewaltigen Anziehungskraft der Himmelskörper gegenüber zu behaupten und sie in seinen Dienst zu zwingen, ist die Geschwindigkeit. Wirft man einen Stein in horizontaler Richtung, so würde er ohne die Anziehungskraft der Erde in gerader Linie weiterfliegen, durch die Erdanziehung

aber wird er in seiner Bahn abgelenkt, er fällt gleichzeitig in der ersten Sekunde um zirka 5 m herab. Nun ist die Erde bekanntlich eine Kugel, ihre Oberfläche weicht ebenfalls von der Horizontalen zurück, und zwar liegt sie in 8 km Entfernung etwa 5 m unterhalb der Horizontalen. Gibt man nun einem Körper die Geschwindigkeit von 8 km (genauer 7,91 km) pro Sekunde, so fällt er um genau dasselbe Stück zur Erde, um das die Erdoberfläche infolge ihrer Krümmung zurückweicht, d. h. der Körper fällt nicht mehr auf die Erde zurück, sondern nur an der Erdoberfläche entlang um die kugelförmige Erde herum. Das ist die erste Stufe zur Überwindung der Erdschwere. Nimmt man die Geschwindigkeit größer als 7,91 km pro Sekunde, so weitet sich die Kreisbahn zu einer Ellipse, in deren einem Brennpunkt die Erde steht und deren Scheitel die Erdoberfläche berührt. Bei einer Geschwindigkeit von 11,1 km pro Sekunde berührt der Fernpunkt dieser Ellipse die Mondbahn, bei einer Geschwindigkeit von 11,182 km pro Sekunde wird die Ellipse so groß, daß sie sich nicht mehr schließt. Das ist die Geschwindigkeit, bei welcher ein Körper dem Banne der Erdschwere entflieht. Eine ähnliche Überlegung zeigt, bei welcher Geschwindigkeit ein Körper der Sonnenanziehung entflieht. Die Erde umkreist die Sonne in einer nahezu kreisförmigen Bahn mit einer Geschwindigkeit von zirka 29,6 km pro Sekunde. Gibt man einem Körper in der Entfernung der Erde von der Sonne eine größere Geschwindigkeit, so weitet sich die Kreisbahn zu einer Ellipse, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht, die mit dem Fernpunkt die Bahn eines der äußeren Planeten zu berühren vermag. Bei einer Geschwindigkeit von 41,8 km pro Sekunde wird die Ellipse so groß, daß sie sich nicht mehr schließt. Das ist die Geschwindigkeit, bei welcher die Sonne einen Himmelskörper nicht mehr zu halten vermag, er enteilt dann zu den fernen Fixsternen. Umgekehrt wird die Bahn eine kleinere Ellipse, die mit ihrem Fernpunkt die Bahn eines der inneren Planeten zu berühren vermag, wenn die Geschwindigkeit kleiner als 29,6 km genommen wird. Man erkennt, daß durch geeignete Wahl der Fahrtgeschwindigkeit sich jede beliebige Fahrt durch das All ausführen läßt, und zwar bedarf es nach Erreichung dieser Geschwindigkeit keines weiteren Antriebes.

Die Aufgabe, die es zu lösen gilt, ist daher die: dem Raumschiff die erforderliche hohe Geschwindigkeit zu erteilen. Die Methode, wie Jules Verne sie vorschlägt, ist dafür allerdings wenig geeignet. Zwar dürfte es vielleicht möglich sein, durch eine Kombination von Geschütz und Wurfmaschine einem Körper die Geschwindigkeit von 11,2 km pro Sekunde zu erteilen, aber einmal wäre ein derartiges steuerloses Raumschiff allen Gewalten der Gravitation wehrlos ausgeliefert und daher bestimmt, schließlich an einem Himmelskörper zu zerschellen, zum andern aber würde der ungeheure Andruck beim Abschuß von mehr als dem 100000fachen der Erdschwere die Mitnahme von Lebewesen gänzlich unmöglich machen, kein menschliches Herz würde bei dieser Schwere das Blut durch die Adern zu treiben vermögen, und alle Insassen würden durch diesen Andruck auf der Stelle getötet werden.

Ein Raumschiff, das auch Menschen zu den Sternen emportragen soll, muß mit mäßiger Geschwindigkeitszunahme aufsteigen und auch draußen im leeren Raume lenkbar und treibbar bleiben. Diese Bedingungen lassen sich erfüllen mit Hilfe des Rückstoßprinzips, einer Art Umkehrung des Schießens.

Das Rückstoßprinzip, welches die Konstruktion eines brauchbaren Raumschiffes ermöglicht, tritt deutlich in Erscheinung beim Abschießen von Schußwaffen. Wer einmal mit einem Gewehr geschossen hat, der weiß, daß beim Abschießen nicht nur die Kugel in Bewegung gesetzt wird, sondern auch das Gewehr. Es erleidet einen kräftigen Rückstoß, der bei Unachtsamkeit blaue Flecke an der

Schulter zurückläßt. Frei aufgehängt würde das Gewehr durch den Rückstoß mit einer Geschwindigkeit von 1 m pro Sekunde rückwärts getrieben werden. Nach den Gesetzen der Mechanik behält ein Körper die ihm einmal erteilte Bewegung bei, wenn sie nicht durch die Luft oder etwas anderes abgebremst wird. Bei einem zweiten Abschuß würde das Gewehr zu der Geschwindigkeit von 1 m pro Sekunde eine Zusatzgeschwindigkeit von wieder 1 m erhalten, seine Geschwindigkeit würde alsdann bereits 2 m pro Sekunde betragen, nach dem hundertsten Abschuß würde es bereits eine Geschwindigkeit von 100 m pro Sekunde besitzen. Zur Erreichung einer Geschwindigkeit von 11 182 m pro Sekunde wären gleichsam 11 182 Abschüsse erforderlich. Die Geschwindigkeitszunahme ließe sich dabei durch die Zahl der Abschüsse pro Sekunde beliebig gestalten. Durch zehn Abschüsse pro Sekunde würde dem Raumschiff etwa die Beschleunigung gegeben werden können die der Erdanziehung das Gleichgewicht hält.

Ganz so einfach liegen die Dinge in Wirklichkeit freilich nicht. Das wird sofort klar, wenn man bedenkt, daß die Munition mitgeführt werden muß. 12 000 Schuß haben ein Gewicht von faßt 400 kg. Die zu treibende Masse wird dadurch sehr schwer und erfordert einen kräftigeren Rückstoß, der wiederum die Mitnahme von bedeutend mehr Munition bedingt. Immerhin zeigt die genauere Untersuchung, daß es möglich ist, einem Raumschiff soviel Energie mitzugeben, daß es auf Grund des Rückstoßprinzips die erforderlichen hohen Geschwindigkeiten bei mäßiger Geschwindigkeitszunahme erreichen kann. Man denke sich einen Stab, der durch eine Sprengladung in zwei gleiche Teile zersprengt wird mit einer Sprenggeschwindigkeit von 2000 m pro Sekunde, dann erhält jede der beiden Hälften eine Geschwindigkeit von 1000 m pro Sekunde. Wird nun die rechte Hälfte wieder in zwei gleiche Teile zersprengt, so erhält der rechts liegende Teil eine Zusatzgeschwindigkeit von wieder 1000 m pro Sekunde, und seine Gesamtgeschwindigkeit beträgt bereits 2000 m pro Sekunde. Nach der dritten Teilung hat die rechts liegende Restmasse bereits eine Geschwindigkeit von 3000 m pro Sekunde u. s. f. Da sich die Teilung in der angegebenen Weise mathematisch beliebig oft wiederholen läßt, läßt sich auf diese Weise theoretisch jede erforderliche Geschwindigkeit erreichen. Praktisch hat dieses Verfahren jedoch eine Grenze in der dadurch bedingten Größe und Bezahlbarkeit. Denn die Masse nimmt bei der wiederholten Teilung in erschreckender Weise ab. Sie ist nach der ersten Teilung $^1/_2$, nach der zweiten Teilung $^1/_4$, nach der dritten $^1/_8$ usw., nach der zwölften Teilung nur noch $^1/_{4000}$ der ursprünglichen Masse. Dies bedeutet, daß die Anfangsmasse 4000 mal größer genommen werden müßte als die zu treibende Restmasse.

Eine Verminderung der Anfangsmasse läßt sich auf zweierlei Weise erreichen. Einmal dadurch, daß man statt gleicher Teile öfter kleine Teile absprengt, also beispielsweise immer nur $^1/_{10}$ der verbleibenden Masse. Geht man vollends zu einem kontinuierlichen Ausströmen über, so genügt bei derselben Auspuffgeschwindigkeit von 2000 m/Sekunden, wie sie (nach Goddard) etwa den Explosionsgasen des Schießpulvers entspricht, eine 400 mal größere Anfangsmasse. Das ist eine Verbesserung um das Zehnfache. Eine weitere Verbesserung ist zu erreichen durch eine Steigerung der Auspuffgeschwindigkeit. Bei einer Auspuffgeschwindigkeit von nahezu 5000 m/Sekunden, wie sie bei den Explosionsgasen von Wasserstoff und Sauerstoff erreicht werden soll, genügt bereits eine zehnmal größere Anfangsmasse. Je größer die Auspuffgeschwindigkeit ist, um so geringer ist die erforderliche Anfangsmasse. Könnten wir Auspuffgeschwindigkeiten von 100 000 km/Sekunden, wie sie bei den Kathodenstrahlen vorkommen, für diesen Zweck benutzen, so würde man mit 1 kg dieser Triebmasse einem Raumschiff von zweihundert Zentnern die erforderliche Geschwindigkeit zu erteilen vermögen. Der

mathematische Ausdruck für die erforderliche Triebmasse ist:

$$T = G\,(2{,}72^{\frac{v}{c}} - 1)$$

wo T die Triebmasse, G das Gewicht des Raumschiffes ohne Triebstoff, v die erforderliche Geschwindigkeit, c die Auspuffgeschwindigkeit bedeutet.

Fortschritte in der Entwicklung der Raumschiffahrt werden in der Hauptsache auf einer Steigerung der Auspuffgeschwindigkeit beruhen. An diesem Punkte kann noch viel wertvolle Arbeit geleistet werden.

Bis zur Erreichung der erforderlichen Geschwindigkeit hat das Raumschiff gegen die Erdschwere anzukämpfen. Die Aufstiegszeit muß daher möglichst abgekürzt werden, d. h. die Geschwindigkeitszunahme muß möglichst hoch genommen werden. Da der Mensch erfahrungsgemäß einen Andruck von etwa dem fünffachen der Erdschwere gerade noch auszuhalten vermag, so gibt man dem Raumschiff am besten eine Geschwindigkeitszunahme von ca. 50 m/Sekunde. Davon werden 10 m/Sekunden von der Erdschwere verschlungen, und das Raumschiff steigt mit einer Geschwindigkeitszunahme von 40 m/Sekunde empor. Ohne den Luftwiderstand würde das Raumschiff bereits nach 300 Sekunden eine Geschwindigkeit von $40 \times 300 = 12\,000$ m/Sekunde besitzen, also die erforderliche Geschwindigkeit nach 5 Minuten bereits überschritten haben. Durch den Luftwiderstand erfährt es aber eine weitere Verzögerung, die sich rechnerisch nicht in einfachen Formeln wiedergeben läßt; der Verlauf der Geschwindigkeitszunahme ist etwa folgender. Anfangs nimmt die Geschwindigkeit um 40 m pro Sekunde zu. Nach kurzer Zeit wird eine bestimmte gleichbleibende Geschwindigkeit (z. B. 200 m/Sekunde) erreicht. Mit abnehmender Luftdichte nimmt dann die Geschwindigkeit wieder zu, bei etwa 50 km Höhe darf der Luftwiderstand praktisch als überwunden gelten. Je stärker der Rückstoßdruck und die Belastung pro qcm Querschnitt ist, desto größer ist die gleichförmige Grenzgeschwindigkeit in der Luft. Da bei größeren Raumschiffen auf jeden qcm des Querschnitts eine größere Belastung kommt, vermögen sie den Luftwiderstand leichter zu überwinden als kleinere.

Die Landung des Raumschiffes erfordert an sich denselben Kraftaufwand wie der Aufstieg, da die hohe Geschwindigkeit wieder abgebremst werden muß. Die Landung auf der Erde läßt sich indessen auch ohne nennenswerten Triebstoffverbrauch durchführen, wenn man die Luft für die Bremsung benutzt. Das Raumschiff müßte zu diesem Zwecke so gelenkt werden, daß es die oberen Luftschichten eine gute Strecke durcheilt. Dadurch wird seine Parabelbahn zu einer Ellipse umgestaltet und es fährt nach einem Umlauf zum zweiten Male durch die Erdatmosphäre. Durch den wiederholten Durchgang wird die Geschwindigkeit immer geringer, die Ellipse immer kleiner, bis endlich die Kreisbahn bei einer Abbremsung auf 8 km pro Sekunde erreicht ist. Es umkreist dann die Erde in etwa $1^1/_2$ Stunden. Hat das Raumschiff die Gestalt eines Flugzeuges nach dem Typ von Pénaud, so wird es sich auch bei der ungeheuren Geschwindigkeit von selbst richtig einstellen und schließlich im Gleitfluge niedergehen können.

Wenn nun an der Möglichkeit eines Fluges durch den leeren Raum nicht mehr gezweifelt werden kann, so liegt die Frage nahe, warum denn ein solcher Flug zu einem benachbarten Himmelskörper bisher noch nicht gewagt worden ist. Man geht wohl nicht fehl, wenn man den Grund hierfür darin erblickt, daß man sich das Ziel für den Anfang etwas zu hoch gesteckt hat. Auch die Raumschiffahrt wird sich wie alles andere aus kleinen Anfängen entwickeln.

Der Ausgangspunkt liegt bei der bekannten Feuerwerksrakete. Sie beruht wie das Raumschiff, das einmal Menschen zu den Sternen empor tragen soll, auf dem früher dargestellten Rückstoßprinzip.

Der nächste Schritt vorwärts würde der sein, einen Raketenapparat zu bauen, welcher einen Fallschirmkünstler einige hundert Meter emporträge — für den Fallschirmkünstler, der sich als erster einem Raketenapparat anvertraut, übrigens eine recht günstige Gelegenheit berühmt zu werden —. Ein solcher Versuch würde sich schon mit etwa 500 RM. finanzieren lassen, er würde den Anstoß geben zu immer glänzenderen Höhenrekorden.

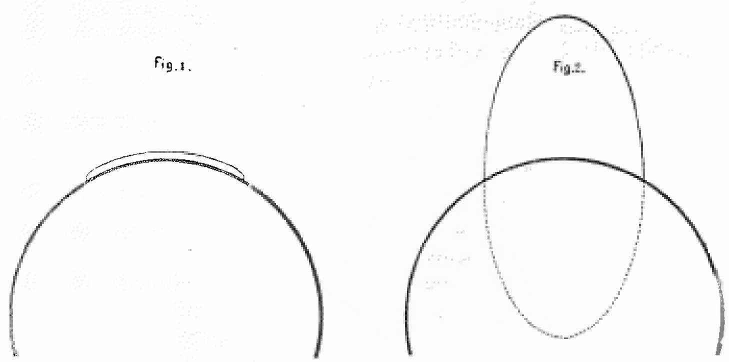
Eine praktische Anwendung würde ein solcher Raketenapparat finden können im Verkehrswesen. Er würde besonders da große Dienste leisten, wo größte Strecken in kürzester Zeit zurückgelegt werden sollen. Da der Mensch nur eine bestimmte Geschwindigkeitszunahme (ca. 50 m/Sek.) auszuhalten vermag, würde eine solche Verkehrsrakete die Strecke Berlin—Neuyork im günstigsten Falle in etwa 15 Minuten bewältigen.

Nun würde eine solche Reise nicht gerade billig sein, es empfiehlt sich deshalb, die Reise etwas anders einzurichten und sich damit zu begnügen, in 20 Minuten von Berlin nach Neuyork zu fliegen. In diesem Falle wird der größte Teil der Reise ohne Energieaufwand zurückgelegt.

Das Raketenflugzeug braucht nämlich parallel zur Erdoberfläche nur die Geschwindigkeit von 8 km pro Sekunde zu erreichen, es gravitiert alsdann wie ein kleiner Trabant um die Erde, ohne auf sie zurückzufallen. Die Reise erfolgt dann wie Fig. 1 zeigt. Das Raketenflugzeug würde zunächst senkrecht aufsteigen und bei etwa 50 km Höhe eine Geschwindigkeit von fast 2000 m/Sek. besitzen. Auch beim Aufhören des senkrechten Antriebes würde es wie ein geworfener Körper weiter emporfliegen bis zu einer Höhe von ca. 200 km. Während dieser Zeit müßte der Antrieb in horizontaler Richtung erfolgen. Die erforderliche Geschwindigkeit von 8 km/Sek. würde etwa erlangt werden, wenn das Raketenflugzeug seine größte Höhe erreicht hat.

Fig. 2 zeigt eine Fahrtkurve, die dieselben Fahrtkosten bedingt obwohl eine bedeutende Höhe von fast einem Erdhalbmesser erreicht wird, die Fahrt würde aber etwa eine Stunde dauern, also mehr für Vergnügungsreisen gewählt werden.

Fig. 1. Fig. 2.



Von der Verkehrsrakete für den Reiseverkehr auf der Erde zum Raumschiff für den Verkehr nach benachbarten Himmelskörpern ist kein allzu großer Schritt. Eine Fahrt zum Erdmonde würde eine nur um 40% größere Endgeschwindigkeit erfordern als eine Fahrt nach Neuyork.

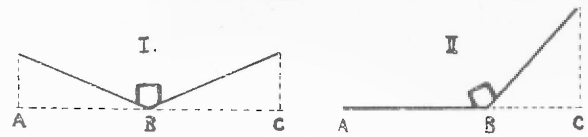
Bis dahin ist freilich noch ein weiter Weg, der noch manches Opfer an Geld und vermutlich auch an Menschenleben fordern wird. Aber das wird die Menschen nicht abschrecken. Auf eine Beteiligung des auf Erwerb eingestellten Kapitals ist zunächst nicht zu rechnen, weil die Rentabilitätsaussichten zu unbestimmt sind. Wann der Mensch zum erstenmal zu den Sternen emporsteigt, wird daher im wesentlichen davon abhängen, in welcher Weise die Freunde dieses Gedankens

sich an der Förderung desselben beteiligen. Es würde schon viel dadurch erreicht werden können, daß Preise ausgesetzt werden für die Erreichung bestimmter Punkte auf dem Wege zur Raumschiffahrt. Die Spenden würden in diesem Falle nur bei Erfolg fällig werden und bei Erfolg ja auch gern gezahlt werden. Es wäre also etwa zunächst ein Preis von 2000 RM. auszusetzen für denjenigen, welcher sich als erster durch einen Raketenapparat 100 m emportragen ließe. Der Verlag dieser Zeitschrift ist dankbar für Adressen von Personen, welche eine Verwirklichung dieses Gedankens wünschen, und wird in diesem Sinne gegebenenfalls die Werbearbeit übernehmen.

Die Stabilität des Fluges.

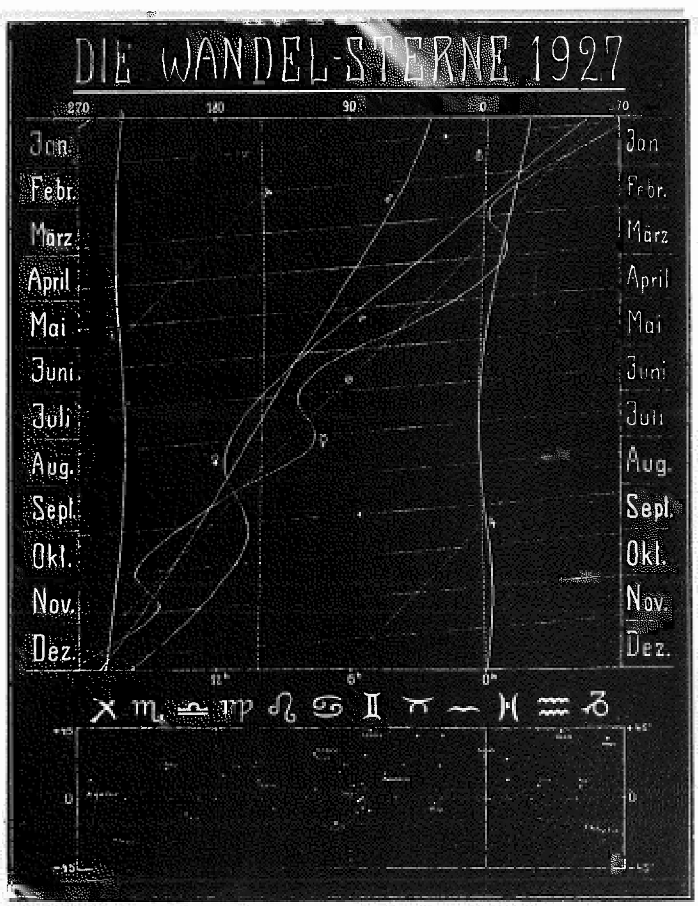
Eine der wichtigsten Fragen des Flugwesens ist die der Stabilisierung des Fluges. Man unterscheidet die Seiten- und die Längsstabilität. In den Anfängen des Flugwesens glaubte man die Stabilität des Fluges am besten dadurch zu erreichen, daß man den Schwerpunkt des Flugzeuges recht tief legte. Diese Stabilisierungsmethode bewirkt jedoch bei Windstößen gerade das Gegenteil. Die leichteren Teile mit großer Angriffsfläche werden nämlich von plötzlichen Luftstößen stärker mitgerissen als die schwereren mit geringer Angriffsfläche. Das Flugzeug kommt dadurch in eine schräge Lage und gleitet leicht ab.

Es bedeutete daher einen erheblichen Fortschritt im Flugwesen als andere Methoden zur Stabilisierung des Fluges aufkamen. Die Seitenstabilität wurde erreicht durch ein V-förmiges Anbringen der Tragflächen. Neigt sich bei dieser



Stellung der Tragflächen das Flugzeug nach links, so kommt die linke Tragfläche in die wagerechte Lage, die rechte zeigt stärker schräg aufwärts. Während bei der Normallage (I) die Angriffsflächen senkrecht zur Schwerkraft rechts und links gleich groß sind (AB = BC), wird bei der Schräglage (II) die Angriffsfläche links (AB) vergrößert, die rechte dagegen verkleinert (BC). Außerdem kann die Luft rechts ausweichen. Somit wird der Auftrieb an den rechten Tragflächen vermindert und das Flugzeug kehrt in die Normallage zurück. Für die Längsstabilisierung des Fluges war das Modell von Pénaud von großer Bedeutung.

Das Flugzeug dieses Typs war so gebaut, daß es bei wagerechtem Stande des Höhensteuers das Bestreben hat, vornüber zu kippen; diesem Bestreben wurde dadurch entgegengewirkt, daß das Höhensteuer schräg aufwärts gestellt wurde, indem die Luft auf diese Fläche drückte, wurde das Flugzeug in die wagerechte Flugrichtung gebracht. Durch diese Bauart wird folgendes bewirkt. Neigt sich das Flugzeug vornüber, so geht der Flug abwärts, infolgedessen wird auch die Geschwindigkeit größer und der Druck auf das aufwärts gerichtete Höhensteuer wird stärker; das bedeutet, daß sich das Flugzeug von selbst aufrichtet. Umgekehrt wird bei dem Flug aufwärts die Geschwindigkeit verringert, der Druck auf das Höhensteuer wird gleichfalls geringer und damit kommt das Flugzeug infolge seiner Vorderlastigkeit wieder in die normale Lage. Es stellt sich also ganz von selbst richtig ein. In neuester Zeit werden diese Stabilisierungsprinzipien nur noch in geringem Maße angewandt zugunsten einer leichteren Steuerbarkeit.



Die Wandelsterne 1927.

Die Tafel gibt den Ort der Wandelsterne an jedem Tag des Jahres 1927 wieder. Es läßt sich aus ihr mit einem Blick ablesen, in welcher Himmelsgegend der gesuchte Wandelstern zu finden ist, desgleichen wie er sich im Laufe des Jahres durch die Fixsterne bewegt, ebenso der Zeitpunkt von Zusammenkünften eines oder mehrerer Wandelsterne in derselben Himmelsgegend.

Die Sternkarte unten zeigt die Himmelsgegenden, in welchen allein die Wandelsterne ihre Bahn ziehen können. Und zwar halten sie sich vorzugsweise in der Nähe der Ekliptik auf, die als Wellenlinie eingezeichnet ist. Längs dieser Linie ziehen sie im Laufe des Jahres hin und her, und zwar in der Hauptsache von rechts nach links, und nur vorübergehend von links nach rechts.

An welcher Stelle dieser Linie der betreffende Wandelstern in einem bestimmten Zeitpunkt zu finden ist, läßt sich mit Hilfe der oberen Tafel ermitteln, in welcher für jeden Wandelstern eine besondere Schlangenlinie eingezeichnet ist, welche die seitliche Bewegung im Laufe des Jahres wiedergibt. Man braucht also nur ein Lineal an dem gewünschten Zeitpunkt, wie er rechts und links angegeben ist, anzulegen und von dem Schnittpunkt des Lineals mit der betreffenden Planetenlinie senkrecht herunter zu gehen, so hat man auf der Ekliptik den Punkt gefunden, in dessen Nähe der Planet zu suchen ist.

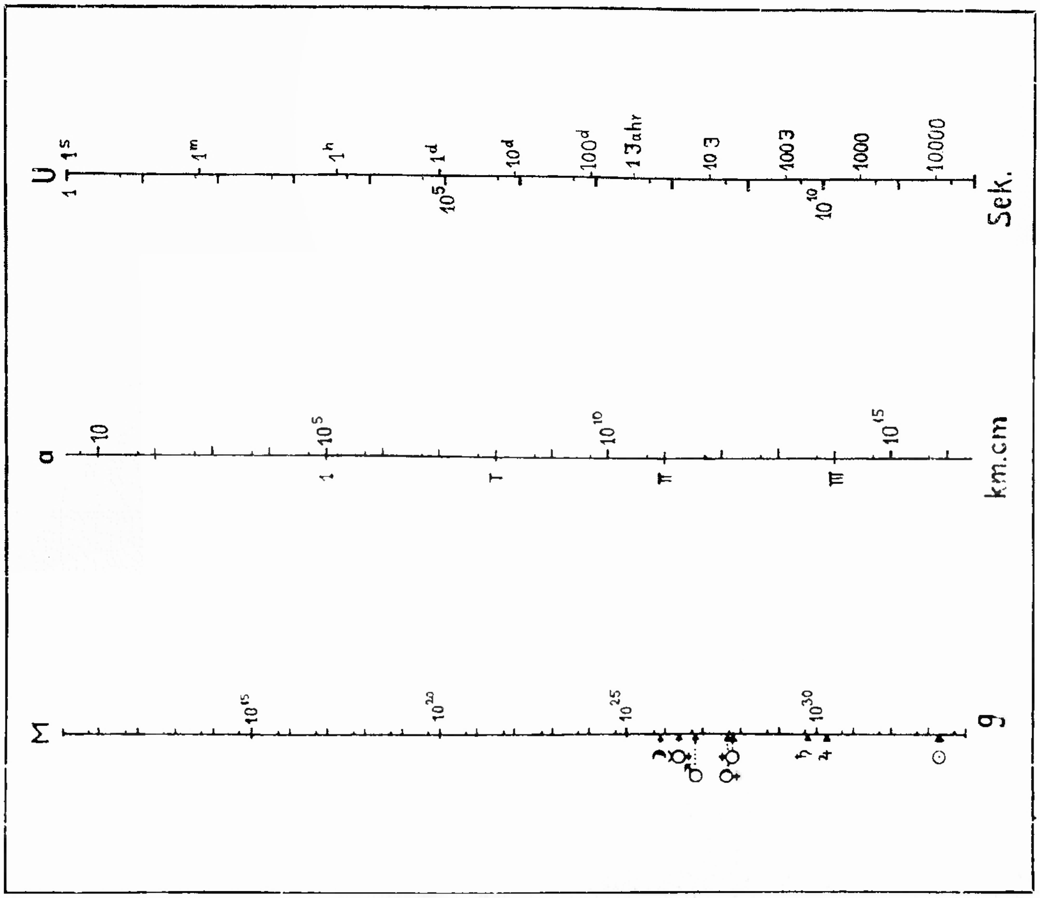
Die einzelnen Planetenlinien sind sowohl durch die angeschriebenen Zeichen (☿ für Merkur, ♀ für Venus, ♂ für Mars, ♃ für Jupiter, ♄ für Saturn, ☉ für die Sonne, ☾ für den Mond) als auch durch ihre Gestalt gekennzeichnet. Die Sonne ist als punktierte Linie gezeichnet, die von rechts oben nach links unten geht, der Mondlauf als eine Reihe schräger Linien, Merkur als Wellenlinie stets in der Nähe der Sonne, Venus als ähnliche Linie mit langsamerer Schwingung und größerem Ausschlag. Mars als stark geschwungene Linie, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun als immer schwächer geschwungene Linien. Die beiden letzteren sind mit bloßem Auge nicht sichtbar und daher punktiert gezeichnet. Auch bei den anderen Wandelsternen ist die Planetenlinie punktiert gezeichnet, soweit der Planet zeitweise unsichtbar ist.

Die der Sonne gegenüberliegende Stelle des Himmels ist durch eine der Sonnenlinie parallele punktierte Linie gekennzeichnet. Wo ein Planet diese Linie schneidet, befindet er sich in Opposition.

Nomographische Tafeln zur Raumschiffahrt.

Das graphische Rechnen hat den großen Vorzug, daß es mühelos beliebige Werte einer Gleichung zu finden gestattet. Es leistet besonders da gute Dienste, wo es auf große Genauigkeit nicht sehr ankommt. Da bei der Raumschiffahrt Rechnungen zunächst nur zur Orientierung gebraucht werden, wird man sich mit Vorteil dieses Verfahrens bedienen.

Häufig möchte man wissen, wie lange die Fahrt nach einem bestimmten Ziel im Weltall dauern würde. Da wir möglichst rationell reisen müssen, wählen wir zu allen Fahrten Gravitationsbahnen. Die Gravitationsbahnen sind nicht gerade leicht zu berechnende Gebilde. Die Rechnung wird aber sehr verein-



facht, wenn man die Bahnen angenähert als Keplersche Ellipsen ansieht. Man findet dann die Umlaufszeit mit hinreichender Genauigkeit nach der Gleichung

$$U = \frac{2\pi}{\sqrt{G}} \sqrt{\frac{a^3}{M}},$$

wo a die halbe große Achse der Ellipse, M die Masse, G die Gravitationskonstante ($= 6{,}68 \cdot 10^{-8}$) bedeutet (ausgedrückt in cm, g, Sek.). Die Fahrtzeit ist gleich der halben Umlaufszeit. Nachfolgende nomographische Tafel gestattet es, eine der Größen a, M u. U direkt abzulesen, wenn die beiden anderen gegeben sind. Zu diesem Zwecke spannt man einen Faden quer über das Blatt in der Weise, daß er durch die beiden gegebenen Werte hindurchgeht, der Schnittpunkt mit der dritten Senkrechten liefert alsdann den gesuchten Wert.

Es mögen hier noch einige viel gebrauchte Werte in einer Tabelle zusammengestellt werden.

Fahrtzeiten für Reisen von der Erde.

Ziel	Erde als Zentralkörper		Sonne als Zentralkörper	
	Entfernung	Fahrtzeit	Große halbe Achse	Fahrtzeit
Mond	380 Tausend km	4,84 Tage	—	—
Sonne	150 Millionen km	102 Jahre	75 Millionen km	64 Tage
Merkur	92,1 „ „	48,4 „	104 „ „	106 „
Venus	42,0 „ „	15,2 „	129 „ „	144 „
Mars	78,0 „ „	38,3 „	189 „ „	266 „
Jupiter	627 „ „	2460 „	464 „ „	2,71 Jahre
Saturn	1,28 Milliarden „	7210 „	790 „ „	6,02 „
Uranus	2,71 „ „	22 200 „	1,51 Milliarden „	16,0 „
Neptun	4,34 „ „	44 900 „	2,32 „ „	30,3 „

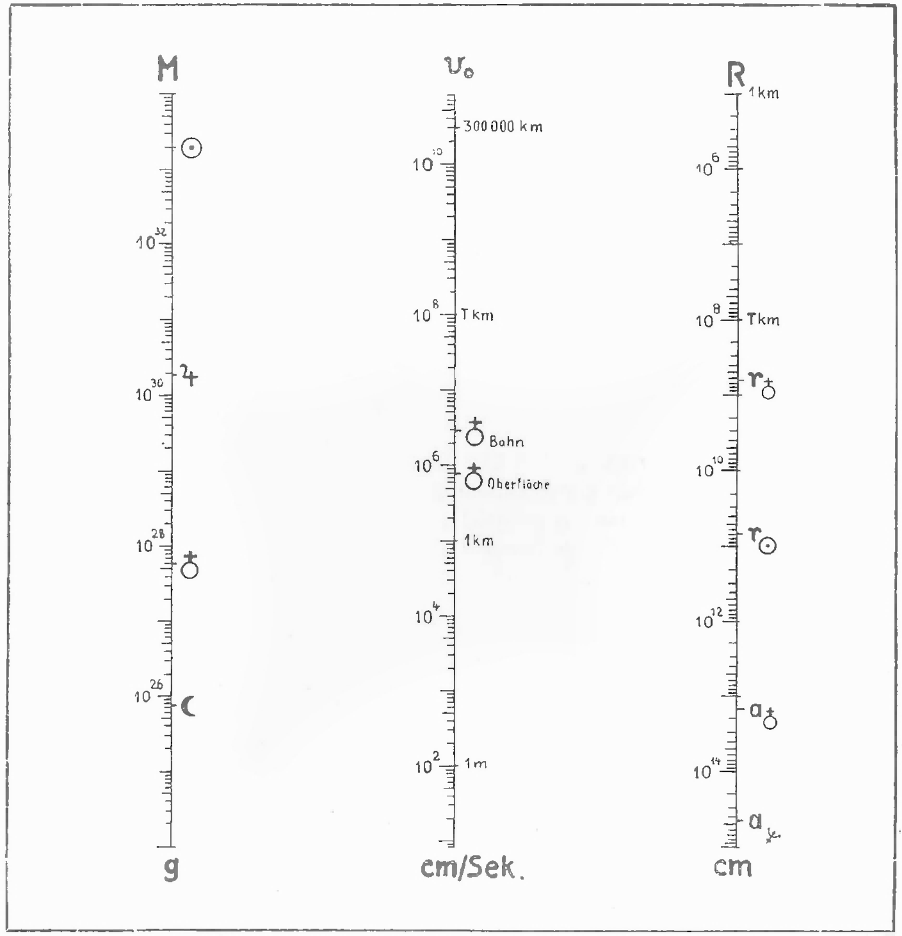
An der Erdoberfläche umkreist ein Raumschiff nach der Tafel die Erde in ca. 5000 Sekunden = 1,4 Stunden*). Man könnte daher nach den Antipoden in etwa $^3/_4$ Stunden, nach Newyork, das nur $^1/_6$ des Erdumfanges von uns entfernt ist, in $^1/_4$ Stunde gelangen. Noch ein interessantes Ergebnis läßt sich aus der Tafel finden. Es gibt nämlich eine Entfernung von der Erde, bei welcher ein Raumschiff gerade einen Tag braucht, um die Erde einmal zu umkreisen. Aus der Tafel findet man diese Entfernung zu 42000 km, also etwas mehr als sechs Erdhalbmesser. Bei dieser Entfernung würde das Raumschiff immer über demselben Ort der Erdoberfläche verbleiben, also für den Ort nie untergehen. Aus diesem Grunde würde sich die Entfernung vielleicht empfehlen für die später zu errichtende Außenstation.

Nachstehend bringen wir nun eine weitere wichtige nomographische Tafel, welche es gestattet, für jedes größere Gravitationszentrum für jede Entfernung diejenige Geschwindigkeit abzulesen, welche der Anziehung das Gleichgewicht hält, bei welcher die Bahn eines Raumschiffes ein Kreis ist, gemäß der Gleichung

$$v_0 = \sqrt{\frac{G\,M}{R}}$$

wo v_0 diese Kreisbahngeschwindigkeit, M die Masse des Gravitationszentrums, R die Entfernung von dessen Mittelpunkt und G die Gravitationskonstante ($6{,}68 \cdot 10^{-8}$) bedeutet, alles in cm Gramm Sekunden. Die Werte in diesen Einheiten sind links angeschrieben, daneben sind rechts von der Linie, praktischere Einheiten und einige vorkommende Zahlenwerte angegeben. Die abkürzende Schreibweise, z. B. 10^3 bedeutet $10 \times 10 \times 10 = 1000$ also eine 1 mit drei Nullen, 10^5 eine 1 mit fünf Nullen.

*) Dieses Ergebnis lieferte den Stoff zu unserem Titelbild „In $1^1/_2$ Stunden um die Erde". Dies gilt jedoch nur für eine Bahn dicht über der Erdoberfläche. In der Entfernung, die das Bild zeigt, würde die Erdumsegelung schon ca. 4 Stunden dauern.



Der Gebrauch der Tafel ist einfach. Um eine der Größen v_0, M und R zu finden, spannt man einen schwarzen Faden so über das Blatt, daß er durch die beiden bekannten Werte hindurchgeht, der Schnittpunkt mit der dritten senkrechten Linie liefert dann den gesuchten dritten Wert. Die Teilung auf den drei Senkrechten ist nicht die einfache 1, 2, 3 usw., sondern die logarithmische 1, 10, 100 usw. (In der Radioliteratur sind ähnliche Tafeln in Anwendung gekommen.) Die Geschwindigkeit, bei welcher ein Raumschiff die Anziehungskraft eines Himmelskörpers überwindet, ist $\sqrt{2} = 1{,}4$ mal größer als die Kreisbahngeschwindigkeit. Die Bahn ist dann eine unendlich große Ellipse oder eine Parabel.

Wenn in diesen Heften irgendwo von einer Durchschlagung der Erdschwere oder von einem Hinauskommen über die Schweregrenze die Rede ist, so ist das im allgemeinen nur in dem Sinne zu verstehen, daß die Schwergrenze jedesmal dann erreicht ist, wenn das Raumschiff die entsprechende parabolische Geschwindigkeit erlangt hat.

Nachstehend mögen noch die häufig gebrauchten Werte in einer Tabelle zusammengestellt werden. Für diese Fälle sind auch die Zahlenwerte für die parabolische Geschwindigkeit $v_p = \sqrt{2}\, v_0$ beigefügt, bei welcher die Anziehung des Himmelskörpers überwunden wird.

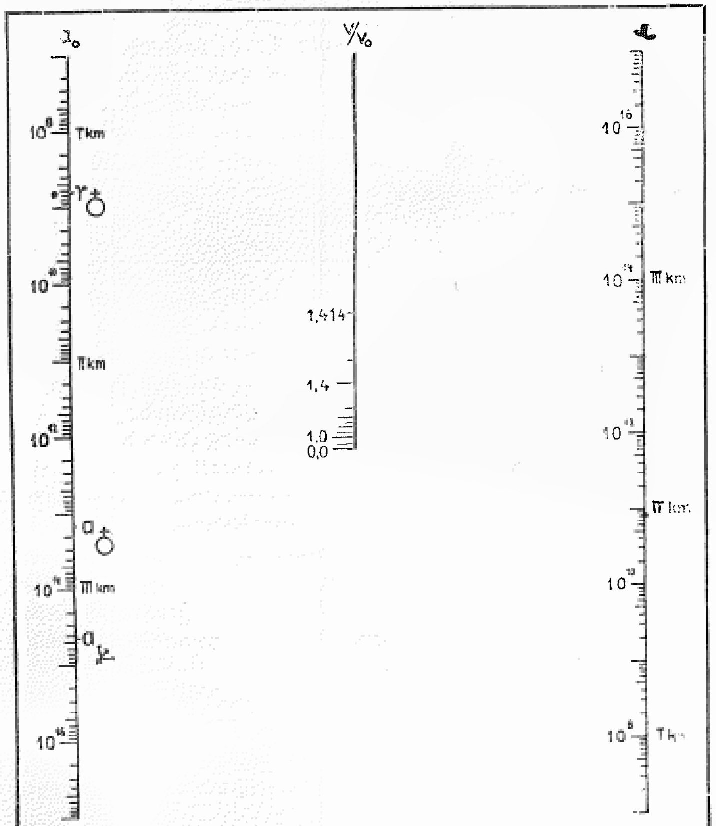
	Oberfläche		Bahn	
	v_0	v_p	v_0	v_p
Sonne	439 km	622 km	—	—
Mond.	1,69 „	2,39 „	1,02 km	1,44 km
Merkur. . . .	2,53 „	3,58 „	48,1 „	68,0 „
Venus	6,98 „	9,87 „	35,2 „	49,8 „
Erde	7,91 „	11,2 „	29,6 „	41,8 „
Mars	3,51 „	4 97 „	25,9 „	36,7 „
Jupiter	41,9 „	59,3 „	13,1 „	18,6 „
Saturn	25,1 „	35,5 „	9,67 „	13,7 „
Uranus. . . .	14,0 „	19,8 „	6,84 „	9,7 „
Neptun . . .	15,8 „	22,4 „	5,46 „	7,7 „

Zwischen den Werten v_0 für die Kreisbahn und v_p für die Parabelbahn bei welcher ein Raumschiff dem Anziehungsbereich entflieht, liegen die Werte für die elliptischen Bahnen, die um so größer sind, je mehr sich die Geschwindigkeit der parabolischen Geschwindigkeit nähert.

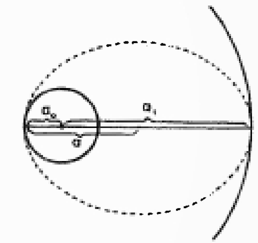
Im folgenden bringen wir eine weitere nomographische Tafel, welche für jede Steigerung der Kreisbahngeschwindigkeit bis zur parabolischen Geschwindigkeit die Größe der betreffenden Ellipse nach ihrer halben großen Achse zu ermitteln gestattet, gemäß der Gleichung

$$v/v_0 = \sqrt{2 - \frac{a_0}{a}},$$

wo a_0 die Ausgangskreisbahn, a die halbe große Achse der Raumschiffbahn, v_0 die Kreisbahngeschwindigkeit der Ausgangsbahn bedeutet.



Der Gebrauch der Tafel entspricht dem der vorigen. Auf 3 senkrechten Geraden sind im logarithmischen Maßstab die Werte für a_0, a und v/v_0 aufgetragen. Man findet einen dieser Werte, indem man einen schwarzen Faden derart über das Blatt spannt, daß er durch die beiden gegebenen Werte hindurchgeht, der Schnittpunkt mit der dritten Geraden gibt dann den gesuchten Wert. Für $a = \infty$ ergibt sich $v/v_0 = \sqrt{2} = 1.414$ . . Dieser Wert ist in der Tafel nicht darstellbar. Praktisch ist aber dieser Wert noch innerhalb der Tafel in großer Annäherung erreicht.



Für die Berechnung der Fahrtellipse zu einem bestimmten Ziel im Weltenraum findet man die große Halbachse gemäß nebenstehender Figur zu $a = \frac{a_0 + a_1}{2}$.

Ein Brief an die Marsbewohner.

In der Januar-Nummer dieser Zeitschrift war die Frage gestellt: „Was müßte eine Briefsendung, die von einem Raumschiff aus auf den Planeten Mars abgeworfen wird, enthalten, damit durch sie eine Verständigung mit den Marsbewohnern angebahnt würde?" Nachstehend wird eine brauchbare Lösung wiedergegeben.

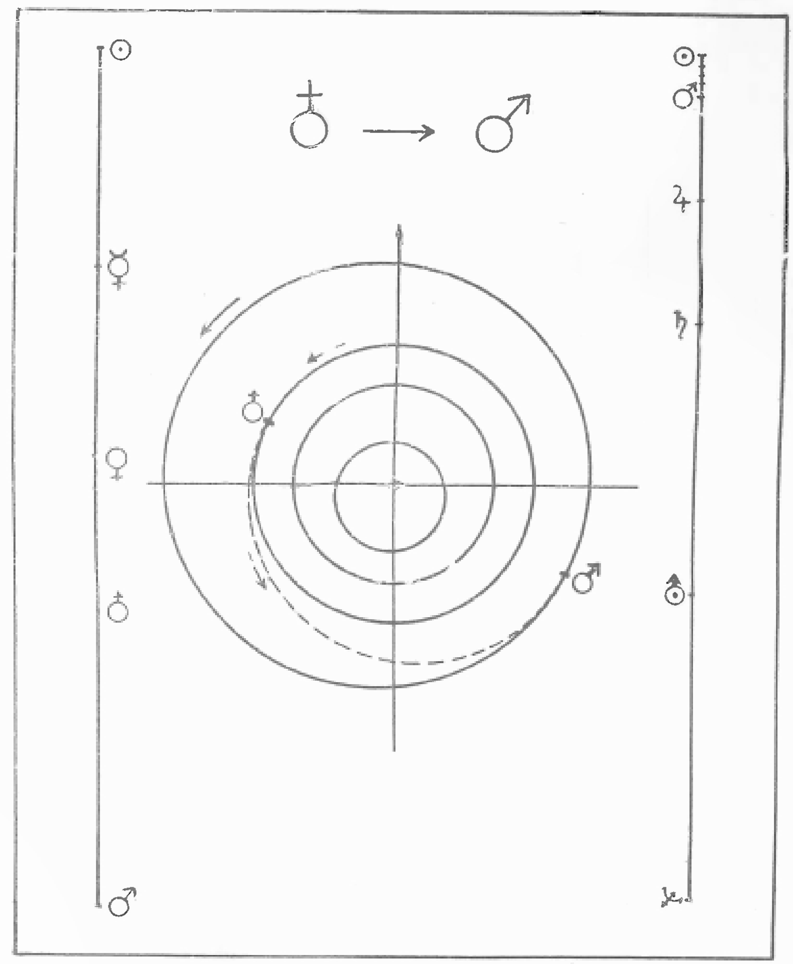


Abbildung 1

Die Herkunft der Sendung würde durch eine Zeichnung gemäß Abbildung 1 erkannt werden können. In ihr ist das Sonnensystem bis zur Marsbahn dargestellt. Die Astronomen auf dem Mars würden dann unschwer das Sonnensystem erkennen mit den Bahnen von Merkur, Venus, Erde, Mars, weil die Verhältniszahlen auf dem Mars dieselben sind wie bei uns, desgleichen fällt Mars durch seine stark elliptische Bahn sofort auf. Eine punktierte Linie verbindet die Bahn der Erde und des Mars, daraus würden die Marsbewohner auf die Herkunft der Briefsendung Schlüsse ziehen können. Die Richtung würde durch einen Pfeil angedeutet werden. Da aber dieses Zeichen zum großen Teil auf Konvention beruht und nicht allgemein im Wesen der Dinge verankert ist, so müßte eine Verdeutlichung vorgenommen werden. Dies ist z. B. dadurch möglich, daß auch an die Planetenbahnen Pfeile gezeichnet werden in der Richtung, in welcher sie um die Sonne eilen. Diese Richtung ist eindeutig bestimmt. Denn so, wie Abb. 1 zeigt, sieht das Sonnensystem nur von einer Seite betrachtet aus (von der andern Seite würde es als Spiegelbild dargestellt werden müssen) und von dieser Seite betrachtet kann die Bewegungsrichtung nur in der angegebenen Weise gesehen

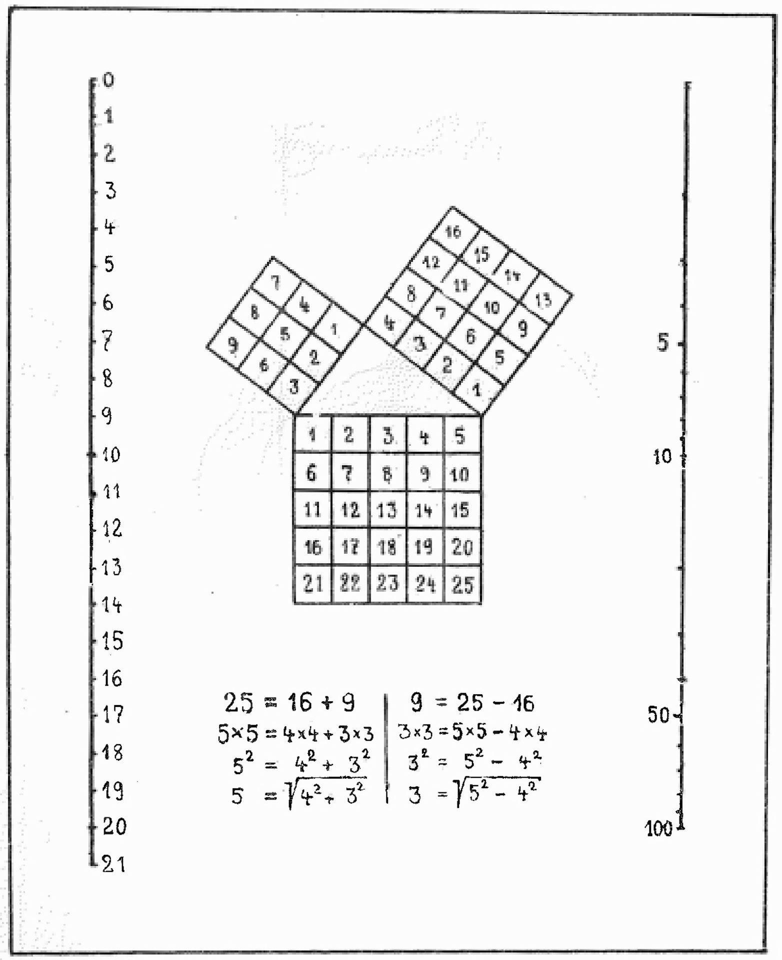


Abbildung 2.

werden. Auch ohne Pfeile würden die Marsbewohner die Richtung der Sendung erschließen können. Denn es wäre widersinnig, als Bahn der Sendung eine Ellipse zu wählen gemäß der punktierten Linie, wenn nicht um Triebstoff zu sparen. In dem umgekehrten Falle, also wenn die punktierte Linie die Briefsendung eines Marsbewohners an die Erde darstellen sollte, würde dadurch sehr viel mehr Triebstoff gebraucht werden, weil die Bahn dann der Marsbahn entgegen verliefe, so daß die Geschwindigkeit zunächst abgebremst und dann in entgegengesetzter Richtung erlangt werden müßte.

Die Bezeichnung für Erde und Mars würde durch darangeschriebene Zeichen ♁ und ♂ den Marsbewohnern mitgeteilt werden. Die übrigen Planetenzeichen können auf die Weise vermittelt werden, wie Abb. 1 zeigt. Es ist hier rechts und links eine Linie gezeichnet, auf welcher die mittleren Entfernungen der Planeten angegeben sind. Die Linie links reicht bis zum Mars, die Linie rechts in verkleinertem Maßstabe bis zum Neptun. Die Planetenzeichen sind angeschrieben.

Seite 2 des Briefes beabsichtigt eine Verständigung mit den Marsbewohnern über einiges aus den Grundlagen unserer Mathematik. Links ist die einfache Zahlenreihe gezeichnet, die Ziffern sind darangeschrieben. Die gleichmäßige Teilung läßt ihren Sinn mit einiger Sicherheit erkennen. Rechts ist die Zahlenreihe im logarithmischen Maßstab gezeichnet mit den zugehörigen Zahlen. Sofern die Marsbewohner die Logarithmen kennen, werden sie schließen können, daß wir auf der Erde in unserer Mathematik mindestens ebenso weit sind. In der Mitte des Blattes ist ein rechtwinkeliges Dreieck gezeichnet mit den Seiten 3, 4 und 5 und den Quadraten über den Dreiecksseiten. Die Marsbewohner werden darin zunächst unschwer den Lehrsatz des Pythagoras erkennen. Da die Kästchen numeriert sind und die Zahlenwerte gemäß der linken Zahlenreihe gegeben sind, so werden sie auch hinter den Sinn der darunter geschriebenen Rechenoperationen und deren Schreibweise kommen. Sie lernen dadurch unser Gleichheits-, Additions-, Subtraktions-, Multiplikations- und Wurzelzeichen kennen, desgleichen die abkürzende Schreibweise für Potenzen. Es dürfte nicht übermäßig schwer sein, den Marsbewohnern auf ähnliche Weise unsere sämtlichen mathematischen Operationen mitzuteilen.

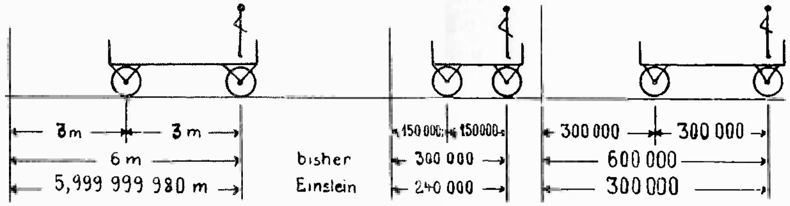
Der Briefsendung würde man ferner eine große Zahl von Abbildungen beigeben vom Menschen, von Tieren und Pflanzen, von Schöpfungen der Baukunst, der Technik, der Kunst, der Musik u. a. mehr, ferner genaue Landkarten, vielleicht auch kleinere Tiere und Pflanzen.

Voraussetzung für jede Verständigung ist freilich, daß die Marsbewohner eine ähnliche Logik haben wie wir, und daß sie auf einer ähnlichen Kulturstufe stehen. Wie weit diese Voraussetzungen erfüllt sind, wird nur die Zukunft lehren können.

Die Einsteinsche Relativitätstheorie.

Seit den Tagen des Kopernikus ist in der Naturwissenschaft kaum eine so umfassende Aussage gewagt worden, wie jüngst in der Einsteinschen Relativitätstheorie. Sie zwingt uns alle umzudenken in unseren Grundanschauungen. Zwei ihrer Folgerungen mögen dies erläutern.

1. Ein Wagen fahre von einer bestimmten Stelle des Erdbodens ab und sei nach 1 Sek. 3 m vorwärts gefahren. In derselben Zeit gehe ein Mann auf dem Wagen vom hinteren Ende um 3 m nach vorn. Wie weit ist der Mann nach 1 Sek. von der Stelle des Erdbodens entfernt, über der er bei der Abfahrt gestanden hat? Wer auch nur Volksschule besucht hat, wird darauf die Antwort geben: 3 + 3 = 6 m. Nach der E. R. ist in diesem Falle 3 m + 3 m nicht 6 m,



sondern etwas weniger. Ja wenn der Wagen und der Mann auf dem Wagen sich mit einer Geschwindigkeit von 300000 km pro Sek. fortbewegen, so ergibt sich nach Einstein die kuriose Rechnung 300000 km + 300000 km = 300000 km, nicht wie man gelernt hat = 600000 km. Es wird später gezeigt werden, wie das zu verstehen ist.

2. So unfaßbar für uns auch ein unendlicher Raum sein mag, so haben wir ihn doch bisher als nach allen Seiten hin unendlich gedacht; denn gesetzt den Fall, wir dächten ihn uns irgendwo abgegrenzt, so fragt man weiter: Was kommt denn hinter dieser Grenze? Die Antwort lautet: Wiederum Raum, und so fort bis ins Unendliche. Die E. R. stellt den Satz auf: Der Raum ist vermutich nicht unendlich! Der Gedankengang ist folgender: Man denke sich 8 von einem Punkte ausgehende gerade Linien; nach unseren bisherigen Anschauungen entfernen sich die Linien immer mehr, je weiter man von dem Punkte fortgeht. Nach der E. R. aber gehen die Linien nur bis zu einer ganz bestimmten Entfernung (etwa 25000000 Lichtjahre) auseinander, dann nähern sie sich wieder und laufen in einer Entferung von 50000000 Lichtjahren wieder in einem Punkte zusammen. Auf einer Kugel können wir uns das ohne Schwierigkeit vorstellen, aber in einer Ebene sich das vorzustellen, zwingt zu einer vollständigen Umstellung in unserem bisherigen Denken. Daß die Welt unter diesen Umständen nicht unendlich zu sein braucht, wird damit verständlich. Es gilt dann für den Raum etwas Ähnliches: Linien, die von einem Punkte des Raumes ausgehen, gehen anfangs auseinander, allmählich immer weniger, schließlich nähern sie sich wieder einander und laufen endlich wieder in einem Punkte zusammen.

An diesen beiden Folgerungen der E. R. sieht man ganz deutlich, daß sie nicht nur den Gelehrten zwingt umzulernen, sondern alle. Darum muß jeder, der nicht als ungebildet gelten will, sich mit ihr beschäftigen. Vielfach steht allerdings die E. R. in dem Ruf, sie sei nur mit schwerem mathematischem Rüstzeug zu verstehen. Das ist ein Irrtum. Im Grundgedanken ist sie jedem Volksschüler zugänglich. Da indessen die mathematischen Hilfsmittel ein genaueres Verständnis ermöglichen und in der Hand des Meisters ein gutes Veranschaulichungsmittel darstellen, so soll die Mathematik in diesem Aufsatz nicht ganz vermieden werden, jedoch soll nicht mehr davon angewandt werden, als auch einem Volksschüler geläufig ist. (Zusammenziehen, Abziehen, Malnehmen und Teilen.) Schwierig bleibt allein die Änderung in unserer bisherigen Denkweise.

Worum handelt es sich eigentlich in der Einsteinschen Relativitätstheorie? Läßt sich das vielleicht in einem Satze aussprechen? — Das ist möglich, aber es ist kaum zu erwarten, daß der Leser ihn beim ersten Hören in seiner ganzen Tragweite erkennt und überschaut, zu welch ungeheuren Konsequenzen er in Verbindung mit der Beobachtung führt. Trotzdem soll er ausgesprochen werden. Einsteins Schrift, in welcher er mit diesem neuen Gedanken hervortrat, trägt den Titel: „Zur Elektrodynamik bewegter Körper.“ Es handelt sich darin um die Frage: Wie verläuft das Naturgeschehen auf bewegten Körpern (in bewegten Systemen)? Die Antwort auf diese Frage ist der fundamentale Satz, der ausspricht, worum es sich handelt, er lautet:

„Die Gesetze für alles Naturgeschehen, die sich in irgend einem System ergeben haben, gelten genau ebenso für jedes andere dazu bewegte System.“ Das hört sich sehr einfach an, zwingt aber in Verbindung mit der Beobachtung zu den eingangs erwähnten Folgerungen.

So grundstürzend die Aussagen der E. R. auch sind, so sind sie doch schwer der direkten Beobachtung zugänglich. Das liegt daran, daß uns nur ein kleines Gebiet der Welt für die Beobachtung zur Verfügung steht, während wir Aussagen über die Welt als Ganzes machen wollen. Dieser Umstand, daß wir nur ein kleines Gebiet unserer Welt kennen (sei es in örtlichem Sinne, oder in dem Sinne, daß wir nur verhältnismäßig kleine Bewegungsgeschwindigkeiten direkt beobachten können), ist der Grund, weshalb sie nicht früher aufgestellt wurde. Da die E. R. schwer der Beobachtung zugänglich ist, muß man diejenigen Erscheinungen heraussuchen, wo sie am deutlichsten erkennbar ist. Die Beobachtungen, welche zur Aufstellung der E. R. führten, waren Beobachtungen elektrischer Vorgänge; der bekannteste Vorgang dieser Art ist die Ausbreitung des Lichtes; an diesem Vorgang wollen wir die E. R. studieren, es sei aber dem Irrtum gewehrt, als handle es sich in der E. R. nur um eine neue Theorie über die Ausbreitung des Lichtes. Der Vorgang der Lichtausbreitung sei nur gewählt als das geeignetste und bekannteste Beispiel, an welchem sich die E. R. am besten erläutern läßt. An sich ist hierfür jeder Naturvorgang geeignet.

Es ist allgemein bekannt, daß das Licht Zeit braucht, um von einer aufflammenden Lichtquelle nach einem weit entfernten Ort zu gelangen. Es legt die Strecke Basel-Königsberg in $^{1}/300$ Sek. zurück; um eine Strecke so groß wie der Durchmesser der Erdbahn (etwa 300000000 km) zurückzulegen, braucht das Licht etwa 1000 Sek. Es legt also in einer Sekunde den tausendsten Teil = 300000 km zurück. Damit ist jedoch noch nicht alles gesagt; das wird sofort deutlich werden. Man denke sich ein Auto, das mit Lichtgeschwindigkeit auf der Erde dahinfährt. Nun werde die Laterne angezündet: **Kann das Licht die Laterne verlassen?** Auf diese Frage erhielt ich stets sehr verschiedene Antworten. Die einen sagten nein, die andern ja, noch andere sagten ja und nein, je nach den Umständen. Einstein sagt ja und nein zugleich. Die Verschiedenheit der Antworten zeigt deutlich, daß hier ein ungeklärtes Problem liegt. Wir wollen dieses Problem systematisch klarstellen, indem wir die verschiedenen Möglichkeiten nennen und sehen, ob sie sich halten lassen, dabei wird uns schließlich die Einsteinsche Lösung in den Schoß fallen.

a) **Die Antwort der bisherigen Physik.** Daß das Licht ein wellenartiger Vorgang sein müsse, ist frühzeitig erkannt worden; dazu führte insonderheit die Beobachtung, daß Licht und Licht nicht immer Verstärkung des Lichtes, sondern zuweilen Dunkelheit ergibt. Diese Erscheinung wird leicht erklärbar, wenn man annimmt, daß das Licht ein wellenartiger Vorgang sei; trifft nämlich ein Wellenberg mit einem Wellenberge zusammen, so werden sie sich verstärken, trifft dagegen ein Wellenberg mit einem Wellental zusammen, so werden sie sich ausgleichen und somit Dunkelheit ergeben. Diese und andre Beobachtungen führten zur Aufstellung der sogenanntdn Äthertheorie. Denn wenn das Licht ein wellenartiger Vorgang sein sollte, so mußte irgend etwas da sein, was durch Hin- und Herschwingen Wellen bildete. Man dachte sich daher den Weltenraum erfüllt mit einem feinen Stoff, der alles durchdrang und als Träger der Lichtwellen galt, ähnlich wie das Wasser für die Wasserwellen. Die Lichtausbreitung erfolgt nun derart, daß sich die Wellen um den Punkt des Äthers ausbreiten, an welchem sich die Lichtquelle im Augenblick des Aufblitzens befand, Dabei ist es ganz gleichgültig, ob die Lichtquelle an diesem Punkte verharrt oder wie ein Kahn im Wasser durch den Äther dahinfährt; in beiden Fällen ergibt sich genau dieselbe Lichtausbreitung. Fährt nun die Lichtquelle mit Lichtgeschwindigkeit durch den Äther, so schreitet sie genau so schnell vorwärts wie die Lichtwelle, also kann das Licht die Laterne in dieser Richtung nicht verlassen. (Hier gewinnt das Problem praktische Bedeutung.) Etwas komplizierter wird die Sachlage, wenn das Auto auf der Erde mit Lichtgeschwindigkeit fährt, denn dann kommt es darauf an, ob die Erde im Äther ruht oder durch denselben dahinfährt. Angenommen nun, die Erde fährt entgegengesetzt der Fahrtrichtung des Autos mit 30 km Geschwindigkeit durch den Äther hin, so würde das Auto nicht mehr 300000 km in 1 Sek. gegen den Äther zurücklegen, sondern 30 km weniger = 299970 km, das Licht dagegen eilt in 1 Sek. 300000 km nach vorn, daher könnte in diesem Falle das Licht die Laterne verlassen, und zwar wäre es nach 1 Sek. 30 km vor der Laterne. Umgekehrt könnte man auf diese Weise feststellen, ob und mit welcher Geschwindigkeit und in welcher Richtung die Erde durch den Äther hindurchfährt. Das ist nun freilich keine so einfache Sache, denn Verkehrsmittel, die annähernd mit Lichtgeschwindigkeit fahren, gibt es nicht, aber man hat Experimente ersonnen, durch welche man diese Bewegung der Erde gegen den Äther auf 1 % genau festzustellen vermochte. Zum großen Erstaunen aller Physiker ergab ein im Jahr 1888 von Michelson in Amerika ausgeführter Versuch nicht die erwarteten Ergebnisse. Daraus lassen sich 2 Schlüsse ziehen: Entweder die Erde bewegt sich tatsächlich nicht durch den Äther, oder die Äthertheorie in dieser strengen Form ist falsch. An sich ist es freilich denkbar, daß die Erde im Äther ruhe, aber es ist im höchsten Grade unwahrscheinlich, daß gerade die Erde eine solch bevorzugte Stellung einnähme und darin verharre, während die Himmelskörper um sie her sie stets in ihrer Bahn durch die Anziehungskraft beeinflussen. Vielmehr wird man schließen müssen: Die Äthertheorie in ihrer strengen Form ist falsch, und so wird man sich nach einem anderen brauchbaren Ansatz umsehen müssen. Wollen wir noch einmal die Lichtausbreitung nach der Äthertheorie in einen Satz zusammenfassen, so lautet er: „Die Lichtausbreitung erfolgt mit der Geschwindigkeit $c = 300000$ km in einer Sek., und zwar in Kugelwellen um den Punkt des Äthers, an welchem sich die Lichtquelle im Augenblick des Aufflammens befand, die Lichtquelle braucht dabei nicht im Mittelpunkt dieser Kugelwellen zu verharren.“ Da dieser Satz also nicht gilt, wie der Versuch von Michelson zeigt, so bietet sich uns als nächste natürliche Annahme folgende:

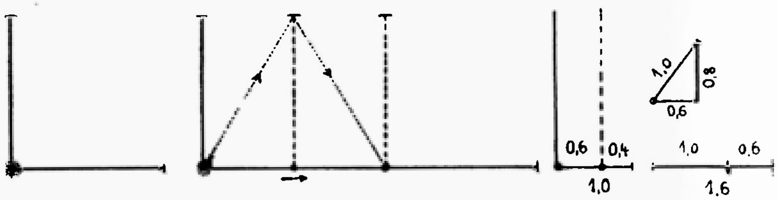
b) Die Lichtausbreitung erfolgt mit der Geschwindigkeit $c = 300000$ km in 1 Sek., und zwar in Kugelwellen um die Lichtquelle, welche stets Mittelpunkt der Kugelwellen bleibt. Mit andern Worten: Die Lichtausbreitung ist abhängig von der Bewegung der Lichtquelle, die Wellen werden gewissermaßen von der Lichtquelle mit fortgeführt, ähnlich wie das magnetische Feld von den Magneten. Bei diesem Ansatz, den wir das philosophische Relativitätsprinzip nennen könnten, würden sich alle Beobachtungen einheitlich erklären lassen; so schön aber auch diese Annahme aussieht, daß sie der E. R. durchaus vorzuziehen wäre, weil sie uns nicht in so schwierige Konsequenzen verwickelt, so läßt sich doch leicht zeigen, daß sie ein leeres Phantasiegebilde ist. Das sieht man sofort ein, wenn man etwa folgenden Fall betrachtet: Es sei eine Lichtquelle am Rande einer drehbaren Scheibe aufgestellt; bei der Drehung würden also die Lichtwellen von der Lichtquelle herumgeführt, so daß die Lichtquelle stets im Kugelmittelpunkt verharrt. Wenn die Lichtquelle erlischt, gehen die Lichtwellen trotzdem weiter (das lehrt die Erfahrung). Bleibt auch die erloschene Lichtquelle im Mittelpunkt der kugelförmigen Lichtwellen? Nach dieser Annahme müßte man wohl die Frage bejahen, denn wonach sollte sich sonst der Mittelpunkt dieser Kugelwellen richten? Was

geschieht aber, wenn nun diese Lichtquelle zerstört und als Staub in alle Winde zerstreut wird? Nach welchem dieser Stäubchen richten sich die Lichtwellen, welches dieser Teilchen bleibt im Mittelpunkt und führt die Lichtwellen mit sich fort? Daran sieht man schon die Unmöglichkeit einer solchen Annahme. Für unser mit Lichtgeschwindigkeit fahrendes Auto würde das besagen, daß das Licht nach 1 Sek. 300000 km vor der Laterne sein müßte.

c) Da aber diese Annahme sich als unmöglich erwiesen hat, hat man eine andere ähnliche Annahme gemacht, nämlich, daß der Mittelpunkt der Kugelwellen sich verhalte etwa wie eine Granate und die Lichtwellen wie die einzelnen Sprengstücke, nämlich daß den Kugelwellenmittelpunkt die Geschwindigkeit und Richtung im Augenblick des Aufblitzens beibehält und gradlinig sich fortbewegt. Das ist das Gesetz, dem die Körperwelt gehorcht, das sogenannte Galileische Relativitätsprinzip. Auch bei dieser Annahme wäre der Michelson-Versuch erklärbar, ohne daß wir zu den ungeheuerlichen Konsequenzen der E. R. gezwungen würden. Aber die Erfahrung zeigt, daß das Licht diesem Gesetz nicht gehorcht; es müßten nämlich bei dieser Annahme gewisse Verschiebungen im Spektrum der Doppelsterne anders vor sich gehen, und zwar müßten sehr starke Verschiebungen auftreten. Dies ist nicht der Fall, vielmehr erfolgt die Verschiebung so, wie sie die Äthertheorie und das philosophische Relativitätsprinzip fordert. Also auch diese Annahme für die Lichtausbreitung ist unhaltbar.

d) Es sind nun noch eine große Zahl von Annahmen aufgestellt worden, die wir übergehen wollen, weil sie zu kompliziert sind und daher wenig Wahrscheinlichkeit besitzen und zum Teil auch durch das Experiment widerlegt sind, zum Teil nicht widerlegbar, aber auch nicht beweisbar sind. Immerhin muß gesagt werden, daß an diesem Punkte die Entscheidung über die E. R. fallen wird, nicht an der Fülle gelungener Voraussagen. Wir wollen hier den Leser mit den unzähligen Dichtungen menschlicher Phantasie nicht verwirren und langweilen und wollen sogleich zu der letzten genialen Lösung übergehen, welche als Vorläufer der E. R. angesehen werden kann.

e) Diese Lösung der Schwierigkeiten in der Lichtausbreitung stammt von dem Physiker H. A. Lorentz. Sie enthält bereits die E. R. und ist nur ein Sonderfall der E. R., es ist nur noch ein Schritt von Lorentz zu Einstein, allerdings ein entscheidender. Wir wollen schon hier die Gedanken, wie sie bei Einstein in allgemeiner Form wiederkehren, entwickeln. Bei Lorentz ist alles noch konkret anschaulich und daher zur Einführung in den Gedankenkreis besser geeignet; den letzten Schritt von Lorentz zu Einstein zu tun, ist dann ein Kinderspiel, wiewohl erst dann die gedanklichen Abstraktheiten beginnen, die uns solche Schwierigkeiten bereiten und uns andere Denkgewohnheiten aufzwingen. Lorentz hielt an der Existenz eines Äthers fest, welchem in der Haupsache einzig der Michelson-Versuch widersprach, andererseits lehrte der Michelson-Versuch gerade, daß eine Bewegung gegen den Äther nicht feststellbar ist, sondern daß sich das Licht so verhalte, als ob der Äther auch in bezug auf die Lichtquelle ruht oder als ob auch eine gegen den Äther bewegte Lichtquelle scheinbar stets im Mittelpunkt dieser Kugelwellen bleibt. Von diesen beiden Gedanken ging Lorentz aus. Wenn sich also in einem gegen den Äther bewegten System dieselben Gesetze ergeben sollten wie in einem im Äther ruhenden, so brauchte man nur eine leicht übersehbare Versuchsanordnung zu treffen und daran zu studieren, was man zu machen hat, damit sich für beide Systeme dieselben Gesetze ergeben. Am geeignetsten für diesen Zweck war die Anordnung des Michelson-Versuchs, welche eben auch den Vorteil bietet, genaue Beobachtungen zuzulassen.



Man denke sich zwei zueinander senkrechte Stäbe, an deren Fußpunkt eine elektrische Birne angebracht ist und an deren Enden je ein Spiegel aufgestellt ist mit der spiegelnden Fläche der elektrischen Birne zugewandt. Zur Erleichterung des Verständnisses wollen wir einen Begriff hier einführen: den der Mikrosekunde, und wir wollen darunter verstehen die Zeit, welche das Licht braucht, um 1 cm zurückzulegen = $^1/_{30\,000\,000\,000}$ Sek. geschrieben 1 μ. Nun lassen wir die Birne aufblitzen und wollen annehmen, daß die Stäbe 10 cm lang sind. Bei gegen den Äther ruhender Anordnung braucht das Licht je 10 μ, um von der Birne zu den Spiegeln zu gelangen, dort wird es zurückgeworfen und kehrt nach 20 μ zur Lichtquelle zurück.

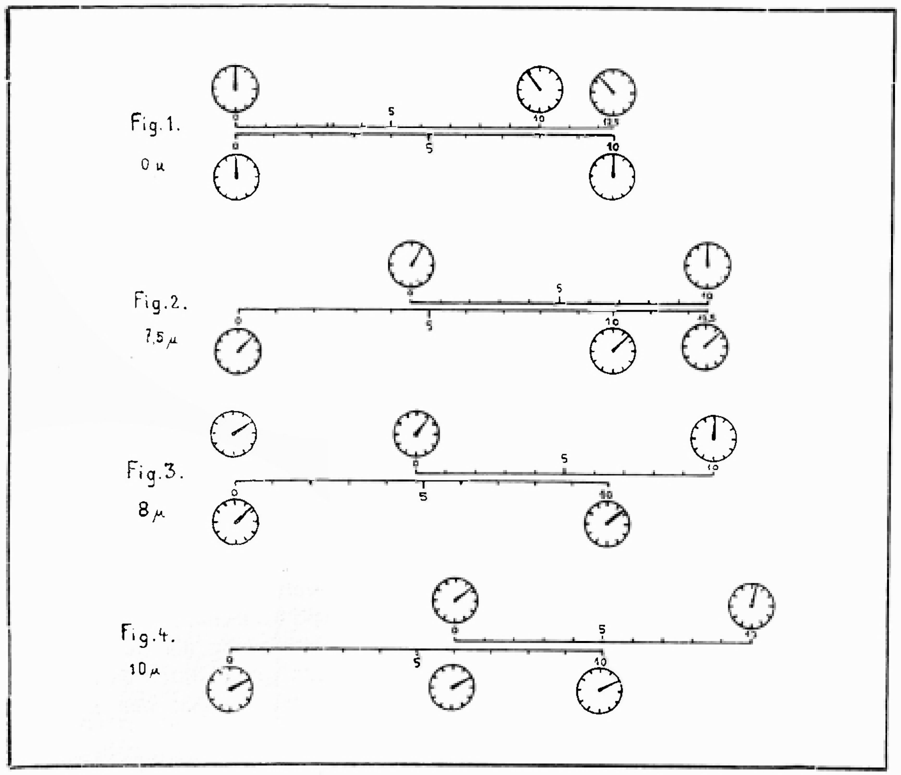
Bewegt sich nun die ganze Anordnung mit etwa 0,6 der Lichtgeschwindigkeit, also 0,6 cm in 1 μ (= 180000 km in 1 Sek.) und zwar so, daß der eine Arm in Richtung der Bewegung liegt, der andere dazu senkrecht, so wird der Lichtstrahl nach dem Spiegel auf dem senkrecht stehenden Arm nicht senkrecht verlaufen, sondern schräg, weil der Spiegel in der Zwischenzeit weitergerückt ist, somit wird auch der Weg länger sein, und der Lichtstrahl wird zum Hin- und Rückweg längere Zeit brauchen, in unserem Beispiel 25 μ (nicht wie ruhend 20 μ), damit ergibt sich eine Verschiedenheit, für das gegen den Äther bewegte System: die Erfahrung (Michelson-Versuch) aber lehrt, daß es eine solche Abweichung nicht gibt. Soll sich nun gemäß dem aufgestellten Satze für das bewegte System dasselbe ergeben, welche Annahme muß man dann machen? Lorentz sagt: Damit sich auch im bewegten System statt 25 μ nur 20 μ ergeben, müssen wir annehmen, daß die Uhren im bewegten System langsamer gehen im Verhältnis 25 : 20; denn wenn die Uhren im bewegten System tatsächlich in dieser Weise langsamer gehen, so zeigen sie nach in Wirklichkeit 25 μ erst 20 μ, genau wie bei der Rückkehr des Strahls im ruhenden System. Auf diese Weise läßt sich hier die Abweichung haben. Das ist jedoch nicht die einzige Schwierigkeit. Für den Arm, welcher in der Bewegungsrichtung liegt, ergibt sich ebenfalls für den Hin- und Rückweg des Lichtstrahls eine längere Zeit, und zwar ist dieselbe noch länger als für den Lichtstrahl senkrecht zur Bewegungsrichtung, nämlich in unserem Beispiel 31,25 μ. Die Berechnung ergibt sich folgendermaßen: Nach 1 μ ist der Lichtstrahl 1 cm nach rechts gekommen. In derselben Zeit ist die Lichtquelle 0,6 cm vorgerückt, also hat sich der Lichtstrahl 0,4 cm von der Lichtquelle in 1 μ entfernt. Wieviel μ braucht es, um sich 10 cm weit von der Lichtquelle zu entfernen? Soviel als 0,4 in 10 enthalten ist = 10 : 0,4 = 25 μ, nach dieser Zeit kommt also das Licht im Spiegel an. Dort wird es zurückgeworfen und wäre nach 1 μ 1 cm von der Stelle des Äthers entfernt, wo es den Spiegel traf. In dieser Zeit hat sich der Spiegel in entgegengesetzter Richtung 0,6 cm entfernt, das Licht hat sich also in 1 μ um 1,6 cm von dem Spiegel entfernt. Wieviel μ braucht es, um 10 cm zurückzulegen? Soviel als 1,6 in 10 cm enthalten sind, also 10 : 1,6 = 6,25 μ; das Licht kehrt mithin nach 25 + 6,25 = 31,25 μ zur Lichtquelle zurück. Es braucht also in der Bewegungsrichtung längere Zeit als senkrecht dazu und dadurch müßte sich die Bewegung im Äther verraten, was jedoch erfahrungsgemäß nicht geschieht. Welche Annahme muß man machen, um diesen

Zeitunterschied wegzuschaffen? Lorentz sagt: Wir müssen annehmen, daß ein in der Bewegungsrichtung liegender Stab sich verkürzt (in unserm Beispiel wie 31,25 : 25); denn dann wird der Lichtstrahl einen kürzeren Weg zurücklegen und dazu auch kürzere Zeit brauchen. Somit ist auch diese Schwierigkeit beseitigt. Bei dieser Annahme braucht das Licht dieselbe Zeit = 25 μ in beiden Armen und wegen des langsameren Ganges nur 20 μ also dieselbe wie im ruhenden System. Und nun ist noch eine dritte Schwierigkeit auszugleichen, was ebenfalls durch eine entsprechende Annahme gelingt. Da nämlich beim Hinweg des Lichtes in der Bewegungsrichtung der Spiegel vor dem Licht herflieht, die Lichtquelle dagegen beim Rückweg dem Licht entgegenkommt, so braucht es zum Hinweg längere Zeit, nämlich wie eben ausgerechnet 25 μ, zum Rückweg dagegen bedeutend weniger = 6,25 μ; infolge der Zeitverlangsamung sind diese 25 μ für den Hinweg auf 20 μ zu reduzieren, infolge der Stabverkürzung noch weiter auf 16 μ; im ruhenden System aber kam der Lichtstrahl nach 10 μ am Spiegel an. Soll im bewegten System genau dasselbe stattfinden, so muß man diese 16 μ noch als 10 μ bezeichnen, das gelingt durch die Annahme, daß Uhren, die in der Bewegungsrichtung vorn liegen, nachgehen (in diesem Beispiel um 6 μ); denn ist dies der Fall, so wird die Uhr am Spiegel statt 16 μ 10 μ zeigen. Damit ist das Problem in der Hauptsache gelöst. Es ist also bei dieser Lösung möglich, daß ein Äther existiert und wir doch nicht imstande sind, die Bewegung gegen den Äther festzustellen. Um den Michelson-Versuch zu erklären, reichte bereits die Stabverkürzung aus, die Änderungen an der Zeit (den Uhren) lagen außerhalb der Beobachtungsmöglichkeit, und Lorentz neigte deshalb dazu, nur die Stabverkürzung als vorhanden anzusehen; warum sollte nicht ein Stab bei der Bewegung durch den Äther ein wenig zusammengedrückt werden, etwa wie ein Gummistab, den man durch Wasser bewegt?

f) Zu derselben Zeit wie Lorentz arbeitete auch Einstein unabhängig von Lorentz an der Lösung desselben Problems, und auch er gelangte zu den drei oben abgeleiteten Sätzen: der Zeitverlangsamung, der Stabverkürzung und des Nachgehens der in der Bewegungsrichtung vorn liegenden Uhren; denn auf andere Art schien es ja kaum möglich, den Michelson-Versuch im Einklang mit der übrigen Erfahrung in einheitlicher Weise zu erklären. Im Gegensatz zu Lorentz aber hielt Einstein gerade auch an der Zeitveränderung fest.

Hält man mit Einstein auch an der Zeitveränderung fest, so lehrt die genauere Betrachtung — was auch schon Lorentz wußte, denn die Gleichungen sind ja in diesem Sinne abgeleitet — daß auch umgekehrt von dem gegen den Äther bewegten System aus sich genau dieselbe Stabverkürzung und Zeitveränderung ergibt, nicht etwa eine Verlängerung usw., denn sonst gäbe es ja doch ein Mittel festzustellen, welches System gegen den Äther bewegt ist. Figur 1—4 zeigen das ruhende und das bewegte System gemäß den Lorentzschen Ableitungen.

Das bewegte System ist verkürzt gezeichnet, die Uhren gehen alle langsamer, die vorderen noch dazu nach. Es läßt sich aber daran zeigen, daß auch umgekehrt sich eine Verkürzung usw. ergibt, zwar nicht dem Augenschein nach aber doch, wenn man bewegte Stäbe usw. mit der Methode mißt, welche dem bewegten Beobachter allein zur Verfügung steht. Man mißt bewegte Stäbe, indem man gleichzeitig an zwei entfernten Punkten an dem vorübereilenden System Marken einschlägt oder Maßzahlen miteinander vergleicht. Da aber der Beobachter im bewegten System ganz andere Zeit hat, so wird er die Marken nicht gleichzeitig einschlagen und damit ist ohne weiteres klar, daß bei nicht gleichzeitiger Abgrenzung sich nicht dieselbe Länge ergeben wird.



Wir gehen nun die drei Fälle im einzelnen durch. Es wird jedesmal zuerst von dem ruhenden, sodann von dem bewegten System aus dasselbe getan und es ergibt sich dabei von beiden Systemen aus dasselbe Resultat. Dabei sei bemerkt, daß jedesmal der erste Schritt nur der Gegenüberstellung wegen unternommen wird, er bringt nichts anderes, als wir oben bei Lorentz gefordert haben, um den Michelson-Versuch zu erklären, das Neue ist nur dies, daß sich dabei auch vom bewegten System aus im ruhenden genau dasselbe ergibt. (Wenn dem Leser die folgenden drei Beweise zuviel Mühe machen, so möge er wenigstens Satz 2 studieren, welcher für das Verständnis der geeignetste ist.)

1. Die Uhren im bewegten System gehen vom ruhenden System aus betrachtet langsamer. Die Uhren im ruhenden System gehen vom bewegten System aus betrachtet ebenfalls langsamer.

Beweis: Vergleicht der ruhende Beobachter seine Uhr mit der im 0-Punkt des bewegten Systems aufgestellten, so findet er

zur Zeit 0 μ im bewegten System 0 μ (Fig. 1)
„ „ 10 μ „ „ „ 8 μ („ 4).

Vergleicht ein bewegter Beobachter seine Uhr mit der im 0-Punkt des ruhenden Systems aufgestellten, so findet er

zur Zeit 0 μ im ruhenden System 0 μ (Fig. 1)
„ „ 10 μ „ „ „ 8 μ („ 3).

Das kommt daher, weil in diesen 8 Mikrosekunden der 0-Punkt des bewegten Systems um 4,8 cm nach rechts gelangt ist; die Uhr im 0-Punkt des bewegten Systems zeigt in diesem Augenblick 6,4 μ. Da aber nur nebeneinanderliegende Uhren verglichen werden können und wir dasselbe machen müssen wie vom ruhenden System aus, so müssen wir die Uhr benutzen, welche der im 0-Punkt des ruhenden Systems aufgestellten Uhr gerade gegenüber liegt. Diese geht aber, da sie in der Bewegungsrichtung hinten liegt, vor, in diesem Falle um 3,6 μ, also zeigt sie $6{,}4 + 3{,}6 = 10\,\mu$, während die ruhende Uhr 8 μ zeigt.

2. Ein im bewegten System in der Bewegungsrichtung gelagerter Stab ist vom ruhenden System aus betrachtet kürzer.

Ein im ruhenden System in der Bewegungsrichtung gelagerter Stab ist vom bewegten System aus betrachtet ebenfalls kürzer.

Beweis: Schlagen zwei Beobachter des ruhenden Systems gleichzeitig zur Zeit 0 an dem vorübergleitendem System Marken ein, und zwar an den Stellen 0 und 10 cm, so treffen sie im bewegten System die Stellen 0 und 12,5 cm (Fig. 1). Die Strecke 10 cm des bewegten Systems ist kürzer als die 10 cm des ruhenden Systems.

Schlagen zwei Beobachter des bewegten Systems gleichzeitig zur Zeit 0 an dem ruhendem System im Vorübergleiten Marken ein, und zwar an den Stellen 0 und 10 cm, so treffen sie im ruhenden System die Stellen 0 und 12,5 cm (Fig. 1 u. 2). Die Strecke 10 cm des ruhenden Systems ist also ebenfalls kürzer als die 10 cm des bewegten Systems.

Das kommt daher, weil die im bewegtem System in der Bewegungsrichtung vorn bei 10 liegende Uhr 6 μ nachgeht und noch 6 μ verstreichen müssen, bis sie 0 zeigt, und da die bewegten Uhren noch dazu langsamer gehen, so verstreichen in Wirklichkeit 7,5 μ, bis die Uhr bei 10 cm die Zeit 0 zeigt; in diesen 7,5 μ ist der Anfangspunkt des bewegten Systems bis zur Stelle 4,5 cm nach rechts zurück. Der Punkt 10 liegt noch 8 cm weiter rechts (da diesen 10 cm des bewegten Systems 8 cm im ruhenden System entsprechen) und so trifft der Beobachter an der Stelle 10 im ruhenden System die Stelle $4{,}5 + 8 = 12{,}5$ cm. Die Strecke 10 cm des ruhenden Systems muß also scheinbar ebenfalls kürzer sein.

3. Eine in der Bewegungsrichtung vorn liegende Uhr des bewegten Systems geht vom ruhenden System aus betrachtet nach. Eine in der Bewegungsrichtung vorn liegende Uhr des ruhenden Systems geht vom bewegten System aus betrachtet ebenfalls nach.

Beweis: Vergleichen zwei Beobachter des ruhenden Systems ihre Uhren mit den gegenüberliegenden zur Zeit 0 μ, so findet der Beobachter

an der Stelle 0 cm im bewegten System 0 μ (Fig. 1)
„ „ „ 10 „ „ „ „ 7,5 μ („ 1).

Vergleichen zwei Beobachter des bewegten Systems ihre Uhren mit den gegenüberliegenden zur Zeit 0 μ, so findet der Beobachter

an der Stelle 0 cm im ruhenden System 0 μ (Fig. 1)
„ „ „ 10 „ „ „ „ 7,5 μ („ 2).

Das kommt daher, weil die Uhr des bewegten Systems an der Stelle 10 cm um 6 μ nachgeht, es müssen also noch 6 μ verstreichen, bis diese Uhr die Zeit 0 hat, und da die Uhren des bewegten Systems noch dazu langsamer gehen, so vergehen in Wirklichkeit 7,5 μ.

Die in der Bewegungsrichtung vorn liegende Uhr des ruhenden Systems ist in diesem Falle die linke Uhr, weil vom bewegten System aus sich das ruhende System scheinbar nach links bewegt; diese muß also nachgehen, wie es ja auch der Fall ist, da sie erst die Zeit 0 zeigt, während die rechte Uhr schon 7,5 μ angibt.

Hiermit sind wir mit dem schwierigsten Kapitel zu Ende, und brauchen nur noch die Folgerungen daraus zu ziehen.

Wir haben gesehen, daß auch vom bewegten System aus sich genau dieselbe Stabverkürzung usw. ergibt wie vom ruhenden aus, und hier tat Einstein noch den letzten Schritt, indem er sagte: Wenn auch der gegen den Äther bewegte Beobachter diese Bewegung nie ermitteln kann und sich von ihm aus dieselbe Stabverkürzung usw. ergeben und er meint, im Äther zu ruhen, so gibt es vielleicht überhaupt kein solch bevorzugtes System des Äthers, sondern alle Systeme sind gleichberechtigt, und es kommt nur auf die gegenseitige oder Relativbewegung zweier Systeme an. Davon hat die Relativitätstheorie ihren Namen erhalten. Mit diesem letzten Schritt wird die Sache reichlich abstrakt. Bei Lorentz war alles konkret denkbar: Es existierte ein bevorzugtes System des Äthers, die Stabverkürzung usw. im gegen den Äther bewegten System war wirklich, umgekehrt dagegen nur scheinbares Ergebnis der Meßmethode. Jetzt bei Einstein, wo alle Systeme gleichberechtigt sind, fragt es sich, ob die Stabverkürzung usw. wirklich oder nur Ergebnis der Meßmethode sind. Diese Schwierigkeit der Auffassung hat Einstein viele Gegner gebracht, wohl mit Unrecht, denn wenn die Lorentzsche Auffassung denkbar ist, warum nicht die Einsteinsche, welche die Erkenntnis nur noch von einem unnötigen Begriff befreit und von einer willkürlichen Beschränkung auf ein absolutes System, das doch niemals zu ermitteln ist. Es verhält sich damit ähnlich wie zur Zeit des Kopernikus, wo Regiomontanus zwar das klar herausgearbeitete System des Kopernikus gegenüber dem falschen Ptolemäischen Weltsystem anerkannte, aber doch sagte, man müsse alles dies auf die Erde beziehen, während Kopernikus behauptete, es ist gleichgültig, worauf ich die Planetenbewegung beziehe, und darum kann ich auch die Sonne als Bezugskörper wählen, dann wird nämlich die Bewegungsbeschreibung am einfachsten. Der Beschränkung der Bewegungsbeschreibung auf die absolut ruhende Erde bei Regiomontanus steht in weit höherem Sinne die Beschränkung der Raum-Zeit-Beschreibung auf den absolut ruhenden Äther bei H. A. Lorentz gegenüber. Wegen der Befreiung von dieser Beschränkung verdient die Einsteinsche Auffassung wohl den Vorzug.

Nunmehr sind wir soweit, die Antwort geben zu können auf die anfangs aufgeworfene Frage, ob das Licht die Laterne eines mit Lichtgeschwindigkeit fahrenden Autos verlassen kann. Nach Einstein muß der Mann auf der Erde finden, daß sich das Licht in Kugelwellen ausbreitet, und zwar um den Punkt auf dem Erdboden als Mittelpunkt, wo sich die Laterne im Augenblick des Aufblitzens befand, daß also nach seinem Urteil das Licht die Laterne nicht verlassen kann, weil das Auto ja mit derselben Geschwindigkeit fährt. Der Mann auf dem Auto dagegen findet, daß sich das Licht in Kugelwellen um die Laterne als Mittelpunkt ausbreitet, und daß es also sehr wohl die Laterne verläßt und nach 1 Sek. bereits 300000 km vor der Laterne ist. Nach dem Vorhergehenden ist der Widerspruch leicht zu lösen. Fährt nämlich das Auto mit Lichtgeschwindigkeit dahin, so verkürzt es sich vom Erdbeobachter aus betrachtet auf 0, auch die Strecke von 300000 km schrumpft hierbei auf 0 zusammen. Also diese Strecke, welche der Mann auf dem Auto als 300000 km bezeichnet, ist vom Erdbeobachter aus gemessen = 0; so kommt dies anfangs verwunderliche Resultat zustande: 300000 km + 300000 km = 300000 km, denn die zweiten 300000 km, die der Mann auf dem Auto findet, sind vom Erdbeobachter aus betrachtet = 0. Der Mann auf dem Auto kann freilich das Zusammenschrumpfen nicht merken, denn auch seine Maßstäbe schrumpfen zusammen. Nehmen wir an, das Auto legt in 1 Sek. 180000 km zurück, der Mann auf dem Auto messe dasselbe mit einem Meterstabe aus, er legt denselben 3 mal an und findet also 3 m. Bei der Bewegung verkürzt es sich auf 2,4 m, ebenso verkürzt sich der Meterstab auf 0,8 m, er mißt das Auto damit aus und findet,

daß er den Meterstab 3 mal anlegen kann, er findet also im Auto wiederum 3 m. Der Mann im Auto merkt also dieses Zusammenschrumpfen nicht.

Umgekehrt nun meint auch der Mann auf dem Auto, das Licht könne sich von der Stelle des Erdbodens nicht entfernen, an welcher die Laterne im Augenblick des Aufblitzens sich befand, während doch der Erdbeobachter sagt: nein, sondern das Licht ist nach 1 Sekunde, von diesem Punkte nach allen Richtungen 300000 km entfernt. Auch hier löst sich der Widerspruch dadurch, daß vom Auto aus betrachtet, sich die Erde auf 0 verkürzt hat.

Wir wollen nunmehr den Leser nicht mehr mit langwierigen Ableitungen plagen, sondern noch andere Folgerungen der E. R. ohne Ableitung erwähnen, welche hochinteressante Schlußfolgerungen gestatten. Es ergibt sich aus der E. R., daß auch die Energie, welche in einem Körper steckt, bei der Bewegung sich vergrößert. Diese Energievergrößerung ist auch in dem Betrage gefunden worden, den die E. R. fordert. Dieselbe Formel erklärt in einheitlicher Weise die sogenannte kinetische Energie eines Körpers, d. h. diejenige Energie, mit welcher ein bewegter Körper auf Widerstände wirkt. Ferner läßt diese Formel den Schluß zu, daß in jedem Gramm Materie ungeheuer viel Energie aufgespeichert ist; darnach würden 100 g Materie genügen, sämtliche Eisenbahnen Deutschlands 1 Jahr lang zu treiben. Gelingt es, diese ungeheuren Energien zu entfesseln, so haben wir damit für die Raumschiffahrt die Kraftquelle, um beliebige Fahrten ins All zu unternehmen, soweit nicht durch unser kurzes Leben dem eine Grenze gesetzt ist.

Alles, was bisher behandelt wurde, galt streng genommen nur für gradlinig-gleichförmige Bewegungen, dagegen nicht für gebremste und krummlinige, z. B. Drehbewegungen. Im Jahre 1915 gelang es Einstein, alle diese Ergebnisse auf beliebige Bewegungen auszudehnen, jedoch erst unter Zuhilfenahme eines neuen Gedankens. Der Übergang von der sogenannten speziellen Relativitätstheorie, welche nur für gradlinig gleichförmige Bewegung galt, zur allgemeinen Relativitätstheorie, welche für beliebige Bewegungen gilt, ist an sich dadurch leicht zu vollziehen, daß man immer nur kleine Bereiche untersucht. Auf einer Scheibe von 2 m Durchmesser kann ein Randstück von 1 mm nahezu als gradlinig angesehen werden, und auf dies kleine Stück läßt sich die spezielle Relativitätstheorie anwenden. Ist die Scheibe in schneller Umdrehung, so wird jede Randstrecke von 1 mm verkürzt, während der Durchmesser derselbe bleibt, dadurch wird das Verhältnis des Umfangs zum Durchmesser, welches in der euklidischen Geometrie stets = 3,14159 . . war, geändert. Hier kommen wir bereits mit unseren alten Denkgewohnheiten und subjektiven Raumvorstellungen in schwersten Konflikt, wir müssen unsere Vorstellungen vom Raume in einer Weise ändern, wie sie in der Mathematik durch die nichteuklidische Geometrie gegeben ist. Diese Betrachtung läßt auch bereits erkennen, in welchem Sinne es grundsätzlich möglich ist, daß Linien, die von einem Punkte aus gradlinig nach allen Richtungen gehen, sich nicht unbedingt immer weiter entfernen, sondern sich auch wieder nähern können.

Während nach der speziellen Relativitätstheorie Verkürzungen von Maßstäben usw. nur in bewegten Systemen auftreten konnten, können nach der allgemeinen Relativitätstheorie auch zueinander ruhende Maßstäbe Verkürzungen aufweisen und Zeit-Veränderungen vorkommen, und zwar in einem sogenannten Schwerefelde. Alle Körper fallen zur Erde, sobald man sie losläßt; wir sagen: die Erde zieht den Körper an. Etwas ähnliches erleben wir aber auch in einem stark gebremsten Eisenbahnwagen; alle Körper fallen dabei nach vorn. Hätte der Wagen keine Fenster, so könnte ein Neuling daraus auch den Schluß ziehen: Es muß in der Nähe ein Himmelskörper vorbeigehen, welcher die Körper anzieht, so daß sie nach ihm hinfallen. Durch Gleichsetzung dieser beiden Erscheinungen, der Schwere und der beschleunigten Bewegung, war es möglich, das ganze Gebäude der Relativitätstheorie in einheitlicher Weise abzuschließen.

In Schwerefeldern, z. B. an der Erdoberfläche, werden daher dieselben Verkürzungen und Zeitveränderungen auftreten, wie in kleinen Gebieten ungleichförmiger Bewegung. Daher wird der Raum in der Nähe von Himmelskörpern eigenartige Verbiegungen aufweisen, die wir uns dadurch leicht anschaulich machen können, daß wir uns den Raum bestehend denken aus lauter Würfeln von 1 cm Kantenlänge: in der Nähe von Himmelskörpern werden die nach demselben hin gerichteten Kanten verkürzt sein, je weiter man hinausgeht, desto weniger, weil die Schwere mit der Entfernung abnimmt.

Schwierige mathematische Untersuchungen lassen es als wahrscheinlich erscheinen, daß die Massen unseres Weltalls den Raum in der eingangs erwähnten Weise verbiegen, so daß er in sich selbst zurückläuft. Sein Umfang wird auf 100 Millionen Lichtjahre geschätzt. Es ist sogar der Gedanke ausgesprochen worden, daß man u. a. an entgegengesetzten Stellen des Himmels vielleicht ein und denselben Stern sieht oder, wenn man ein genügend stark vergrößerndes Fernrohr hätte, man an der dem Monde gegenüberliegenden Stelle des Himmels den Mond von der Rückseite sehen könnte, die sonst nur durch eine Raumfahrt der Beobachtung zugänglich würde. Aus dem Umfang der Welt finden wir ihren Rauminhalt, welcher auf 7×10^{80} cm^3 (d. h. eine 7 mit 80 Nullen) geschätzt wird; auch ergibt sich daraus die Gesamtmasse der Welt 7×10^{54} Gramm, aus der sich etwa 3460 Trillionen Fix-Sterne von der Größe unserer Sonne bauen ließen, wovon wir mit unsern besten Fernrohren nur einige Millionen sehen können.

Es sind noch zwei Tatsachen zu erwähnen, welche abgesehen von dem Michelson-Versuch als eine Bestätigung der E. R. gelten können. Sie erklärt eine Unregelmäßigkeit im Laufe des Planeten Merkur, welche bisher nicht ohne Zuhilfenahme willkürlicher Hypothesen erklärt werden konnte, und zwar ergibt sich für diese Abweichung aus der E. R. der Betrag, welcher von den Astronomen bisher immer in Rechnung gesetzt wurde. Sodann ist der E. R. eine Voraussage gelungen, die am 29. Mai 1919 mit einiger Sicherheit ihre Bestätigung gefunden hat. Nach der E. R. findet nämlich eine Ablenkung des Lichtstrahls im Schwerefelde der Sonne statt, und zwar in dem doppelten Betrage, als sich nach dem Newtonschen Gesetz ergibt.

So willkommen solche Bestätigungen sind, so können sie doch nie über die Wahrheit einer Theorie entscheiden, sie können sie höchstens als sehr wahrscheinlich oder aber als falsch erweisen; die überzeugende Kraft wird nur auf Grund der experimentellen Prüfung ihrer Voraussetzungen gewonnen, in diesem Falle durch die Lösung der Schwierigkeiten in der Lichtausbreitung. Wegen der ungeheuerlichen Konsequenzen ist die E. R. vielfach angegriffen worden. Man wird jedoch jede Kritik an der E. R. ablehnen müssen, welche die Schwierigkeiten in der Lichtausbreitung nicht in ebenso einheitlicher Weise löst. Die Hauptbedeutung der E. R. liegt freilich auf physikalischem Gebiet, dort hat sie eine Fülle neuer Einsichten gebracht, der Leser wird aber auch die Überzeugung gewonnen haben, daß hier weit über den Rahmen einer gewöhnlichen physikalischen Theorie hinausgegangen wird, daß alte Denkgewohnheiten durch sie erschüttert werden, daß unser Weltbild eine tiefgehende Änderung durch sie erfährt, ja daß auch Weltanschauungsfragen an ihrem Horizont auftauchen. So wird keiner, der als Gebildeter gelten will, an der Einsteinschen Relativitätstheorie vorübergehen können.

Albert Einstein

ist am 14. März 1879 zu Ulm geboren. Er besuchte das Münchener Luitpold-Gymnasium, sodann das Gymnasium zu Aarau in der Schweiz. Seine Stärke lag mehr im selbständigen Lösen von Problemen. Am Polytechnikum in Zürich studierte er Mathematik und Physik bis 1902, übernahm dann eine Stelle als Ingenieur beim eidgenössischen Patentamt in Bern. Schon seit seinem 16. Lebensjahr fesselte ihn das Problem der Relativität, 1905 veröffentlichte er seine spezielle Relativitätstheorie, die er 1915 mit der allgemeinen Relativitätstheorie krönte. Seit 1908 stand er im Mittelpunkt der gelehrten Welt, 1909 außerordentlicher Professor in Zürich. 1911 Ordinarius in Prag. 1912 wieder in Zürich. 1914 Direktor des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Physik in Berlin.

Die wichtigste Literatur.

1. Originalabhandlungen:

Lorentz-Einstein-Minkowski: Das Relativitätsprinzip (4. Auflage 1922 Teubner. In Fortschritte der math. Wissenschaft in Monographien H. von Blumenthal, Heft 2).

Albert Einstein: Über spezielle und allgemeine Relativitätstheorie. Gemeinverständlich (Sammlung Vieweg, Heft 38, 7. Auflage, Braunschweig 1920).

2. Zur Einführung:

Hans Thirring: Die Idee der Relativitätstheorie (Berlin 1921 J. Springer).

M. Born: Die Relativitätstheorie Einsteins und ihre physikalischen Grundlagen. 1920. (Naturwiss. Monographien und Lehrbücher, Heft 3.)

Angersbach: Das Relativitätsprinzip 1920. (Math. physik. Bibliothek von Litzmann, Heft 38.)

August Kopff: Grundzüge der Einsteinschen Relativitätstheorie. Leipzig 1921.

Mitarbeit.

Wir bitten nur um solche Mitarbeit, die gern geleistet wird, und die sich ohne besondere Opfer leisten läßt. Nachstehend nennen wir einige Gelegenheiten zur Mitarbeit, aus denen jeder sich diejenigen auswählen mag, die ihm liegen:

1. Von allergrößter Bedeutung für das Gelingen des großen Werkes ist es, daß in weitesten Kreisen die Überzeugung sich Bahn bricht: Die Fahrt in den Weltenraum ist möglich, sie ist leichter als man bisher glaubte. Wer selbst begriffen hat, worauf es bei der Raumschiffahrt ankommt, und wie sich diese Erfordernisse erreichen lassen, der möge es auch andern erklären. Wenn er dazu imstande ist, möge er auch durch Vorträge für die Raumschiffahrt Interesse wecken.

2. Von großer Bedeutung ist ferner ein guter Nachrichtendienst. Der Verlag der „Rakete" ist dankbar für jeden Zeitungsausschnitt, der etwas über die Raumschiffahrt enthält. Wertvolles kann dadurch den Lesern der „Rakete" zugänglich gemacht werden.

3. Wissenschaftlich und stilistisch einwandfreie Aufsätze aus dem Leserkreise der „Rakete", welche das Problem der Raumschiffahrt in neuem Lichte zeigen, sind der Schriftleitung willkommen und können evtl. in der „Rakete" veröffentlicht werden. Auch für Anregungen aller Art ist die Schriftleitung dankbar.

4. Im Interesse einer baldigen Verwirklichung des Raumfahrtgedankens liegt ferner die Schaffung eines großen Adressenmaterials

a) von Personen, die für die Raumschiffahrt Interesse haben und eine baldige Verwirklichung wünschen;

b) von Personen, welche das Problem erfaßt haben und in der Lage sind, anderen davon Mitteilung zu machen;

c) von Personen, die sich in irgendeiner Weise für die Raumschiffahrt betätigen.

Der Verlag der „Rakete“ hat eine solche Kartothek bereits angelegt und ist dankbar für jede derartige Adresse. Bei Namen wird um deutliche Schrift höflichst gebeten.

5. Wenn Sie dieser Zeitschrift neue Abonnenten zuführen, so dienen Sie einem Werke, das sich voll für den Raumfahrtsgedanken einsetzt, und damit der Raumschiffahrt selbst. Außerdem ermöglicht eine große Leserzahl eine besonders gute Ausgestaltung der Zeitschrift.

6. Damit auch Fernerstehende die „Rakete“ lesen, empfiehlt es sich, dieselbe bei den Straßenhändlern, in Lesezirkeln und dergl. zu verlangen. Sie werden dieselbe dann anschaffen und in ihre Verzeichnisse aufnehmen.

Die Reihe solcher Gelegenheiten zur Mitarbeit ließe sich noch beliebig erweitern. Jeder wird in seinem Berufe Gelegenheit haben, dem Gedanken der Raumschiffahrt irgendwie zu dienen. Der Schriftsteller, der Zeitungsverleger, der Ingenieur, der Astronom haben ohne weiteres die Möglichkeit, aber auch andere Berufe, z. B. die Feuerwerkerei, die Spielwarenfabrikation u. a. bieten gute Gelegenheiten zur Mitarbeit. Bei einigem Nachdenken wird jeder eine Möglichkeit finden, an dem großen Werk der Raumschiffahrt mitzuarbeiten.

Vereinigung für Raumschiffahrt.

Wie Herr Valier, von dem wir in der Aprilnummer ausführlich berichteten, soeben mitteilt, ist es der Wunsch vieler interessierter Kreise, daß ein Verein für Raumschiffahrt gegründet werden möchte. Es ist keine Frage, daß ein solcher Zusammenschluß notwendig ist, damit alle vorhandenen Kräfte in einheitlichem Sinne sich auswirken können. Herr Valier hat in freundlicher Weise seine Mitarbeit an dieser Zeitschrift in Aussicht gestellt, und sie als das Organ dieser Vereinigung vorgeschlagen, die den Mitgliedern gegebenenfalls kostenlos zur Verfügung gestellt werden könnte. Eine solche Vereinigung würde aber nur dann Erfolg haben, wenn namhafte Persönlichkeiten dahinter stehen. Es wird in diesem Sinne Fühlung genommen werden. Hoffentlich kann in der nächsten Nummer schon einiges darüber berichtet werden. Die Aufgabe dieser Vereinigung würde sein, Fachleute (Ingenieure, Astronomen, Flieger, Pressevertreter u. a.) für gemeinsame Arbeit zu gewinnen und durch Eingaben an Behörden und wohlhabende Männer bzw. durch Veranstaltung von Sammlungen und Lotterien größeren Stiles die Geldmittel zu beschaffen.

Herausgeber: Johannes Winkler, Breslau 13, Hohenzollernstraße Nr. 63/65.
Postscheckkonto: Breslau 26550. Druck: Otto Gutsmann, Breslau, Schuhbrücke 32.
Bezugspreis: vierteljährlich 60 Pfg. und Postgebühr.